



UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPÍRITU SANTO
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

Reutilización y/o reciclaje de los materiales residuos de la construcción en la ciudad de Guayaquil y la Vía a Samborondón, mediante la instalación de un sistema de acopio y posterior procesamiento.

El trabajo de titulación que se presenta como requisito para el título de Arquitecto con concentración en Construcción.

Autor: Kenny Henry Javier Caputi

Tutor: Ing. Alex Raúl Villacrés Sánchez

Samborondón, Abril del 2014

Dedicatoria

A Dios por permitirme alcanzar una de mis grandes metas a través del don de la vida. A mis padres y hermana por su amor y apoyo incondicional. A mis abuelos Mamá Bertita y Papá Bertito. A mi tía Chanena. A mis familiares y amigos que con su presencia han alegrado mis días.

Agradecimientos

Agradezco a mis padres por la formación que me supieron dar; a mi tutor: Ing. Alex Villacrés por su excelente guía y compromiso durante este proceso; a la Arq. Lourdes Menoscal, Laurita Sánchez y Lolita Ramos por su apoyo y colaboración.

Índice general

Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Índice general	iv
Índice de tablas	vii
Índice de gráficos.....	viii
Índice de figuras.....	ix
Resumen.....	1
Abstract	2
Introducción	3
CAPÍTULO I.....	6
EL PROBLEMA.....	6
1.1 Descripción del problema.....	6
1.1.1 Alcance y delimitación del objeto.....	8
1.1.2 Preguntas de investigación	9
1.1.3 Sistematización del problema	9
1.1.4 Determinación del problema	9
1.2 Objetivos.....	9
1.2.1 Objetivo general.....	9
1.2.2 Objetivos específicos	10
1.3 Justificación	10

CAPÍTULO II.....	13
MARCO REFERENCIAL	13
2.1 Marco teórico.....	13
2.1.1 Reciclaje en el Ecuador	13
2.1.2 Destino de los desechos de la construcción	15
2.1.3 Reciclaje en el mundo.....	16
2.1.4 Composición de los residuos de construcción.....	18
2.1.5 El reciclaje y la reutilización en la construcción.....	20
2.1.6 ¿Por qué reciclar los residuos de la construcción?	26
2.1.7 Desperdicios de la construcción.....	29
2.1.8 Reciclaje del hormigón asfáltico.....	31
2.1.9 Reciclaje de la madera	46
2.1.10 Reciclaje del hormigón.....	51
2.1.11 Reciclaje del acero estructural y del acero de refuerzo	61
2.1.12 Reciclaje de la cerámica	64
2.2 Marco legal	66
2.3 Sistema de hipótesis y variables	67
2.3.1 Hipótesis.....	67
2.3.1 Variables.....	67
2.4 Marco conceptual.....	67
CAPÍTULO III.....	71
MARCO METODOLÓGICO.....	71

3.1.1 Novedad de la investigación	71
3.1.2 Diseño de investigación	71
3.1.3 Alcance de la investigación	71
CAPÍTULO IV	72
PROCESAMIENTO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	72
4.1 Hormigón asfáltico	72
4.2 Madera	78
4.3 Hormigón	82
CAPÍTULO V	92
LA PROPUESTA.....	92
CAPÍTULO VI	103
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	103
Bibliografía	104

Índice de tablas

Tabla # 1: Porcentajes de la cantidad de desechos en la construcción.....	19
Tabla # 2: Precio de los desperdicios	30
Tabla # 3: Costo de fresado de medio carril a principios de la década de los 70.	35
Tabla # 4: Costo actual de fresado de medio carril.....	36
Tabla # 5: Costo de fresado de carril completo a principios de la década de los 70.....	39
Tabla # 6: Costo actual de fresado de carril completo.	39
Tabla # 7: Costos de material virgen para un pavimento asfáltico puesto en obra.	43
Tabla # 8: Ahorro en US\$/T de mezcla de pavimento asfáltico recuperado.	43
Tabla # 9: Costo actual de fresado de carril completo	73
Tabla # 10: Producción anual de asfalto de una planta dosificadora Magnum 120	75
Tabla # 11: Producción de mini trituradora LEM 60-40 durante demolición del edificio MAGAP.....	83
Tabla # 12: Beneficio económico por venta de agregado reciclado con mini trituradora LEM 60-40.....	84
Tabla # 13: Ahorro si se recicla el acero de refuerzo.....	89

Índice de gráficos

Gráfico # 1:Tipos de basura que ingresan al Relleno Sanitario “Las Iguanas” .	7
Gráfico # 2: Porcentajes de la cantidad de desechos en la construcción.	19
Gráfico # 3: Producción per cápita de desechos de construcción y demolición (kg./hab./año).	22
Gráfico # 4: Costos de reciclar vs. desechar (Boston).	25
Gráfico # 5: Costo/hora de fresado de medio carril.	37
Gráfico # 6: Producción (m2/h) fresado medio carril.	38
Gráfico # 7: Costo/hora fresado carril completo.	40
Gráfico # 8: Producción (m2/h) fresado carril completo.	41
Gráfico # 9: Producción de cemento por regiones y países principales.	52

Índice de figuras

Figura # 1: Centro de Acopio Temporal del Norte.....	7
Figura # 2: Desechos de construcción en la vía pública.	16
Figura # 3: Desechos de madera en botadero de Villa Club.....	31
Figura # 4:Fresado y reciclaje de asfalto en sitio.	32
Figura # 5: Máquina móvil trituradora de hormigón.....	54
Figura # 6: Trituradora de hormigón. Diseño de tenaza.....	55
Figura # 7: Trituradora de hormigón. Diseño de cono.....	56
Figura # 8: Trituradora de hormigón. Diseño de impacto.....	56
Figura # 9: Calentamiento del concreto desechado.....	57
Figura # 10: Método de calentamiento y fricción.....	58
Figura # 11: Planta de método de calentamiento y fricción.	59
Figura # 12: Fundición de acero reciclado.	63
Figura # 13: Pared recubierta con cerámica reciclada.....	65
Figura # 14: Planta de asfalto Terex modelo Magnum 120.	77
Figura # 15: Desechos de madera en botadero de Villa Club.....	78
Figura # 16: Pallets desechados en botadero de Villa Club.....	79
Figura # 17: Mesas hechas con pallets en local Red Burgeuer en Quito.....	80
Figura #18: Pallets usados como decoración en local de Lee en Quito.....	81
Figura # 19: Edificio MAGAP.	82

Figura # 20: Mini trituradora LEM 60-40.	84
Figura # 21: Uso de rotomartillos hidráulicos para la separación del acero de refuerzo del hormigón en el edificio del MAGAP.	85
Figura # 25: Reciclaje de chatarra.	88
Figura # 26: Mural con cerámica en Guayaquil.....	90
Figura # 27: Implantación de proyecto “La Vista Towers”.....	96
Figura # 28: Ubicación de zona de corte y figurado de acero de refuerzo y acero estructural.	97
Figura # 29: Contenedor de 2.50 m3 para recortes de acero de refuerzo y acero estructural.	98
Figura # 30: Ubicación de contenedor de 12 m3 para madera.	99
Figura # 31: Contenedor caja abierta de 12 m3 de capacidad.	100
Figura # 32: Ubicación de contenedores de 2.50 m3 para cerámicas.	101

Resumen

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal demostrar tanto la factibilidad técnica como económica del reciclaje de ciertos materiales usados en la construcción, como el hormigón asfáltico, la madera, el hormigón, el acero de refuerzo, el acero estructural y la cerámica.

A través de un diseño explicativo y una investigación cuantitativa se logró determinar que las factibilidades deseadas son posibles en el desarrollo de la actividad de la construcción en la ciudad de Guayaquil y la Vía a Samborondón.

Para la elaboración del trabajo se recurrió a informes de datos de actividades de reciclaje de materiales de construcción que se realizan tanto a nivel internacional como a nivel nacional, a noticias

presentadas en la prensa nacional y se consultó a medios locales involucrados en la actividad de la construcción en temas de precios referentes a los materiales y procesos de reciclaje.

En la actualidad es poco lo que se realiza en materia de reciclaje y reutilización de materiales de construcción en el país, sin embargo una de las conclusiones más influyentes aclaran que definitivamente el reciclaje y la reutilización de los materiales de construcción abarcados en el presente trabajo, son una excelente opción que presenta beneficios económicos al constructor y beneficios ambientales para la sociedad en general.

Abstract

The present research had as main objective to demonstrate both the technical and economic feasibility of recycling certain materials used in construction, such as asphalt concrete, wood, concrete, reinforcing steel, structural steel and ceramics.

Through a descriptive quantitative research design, it was determined that the desired feasibilities are possible in the development of construction activity in the city of Guayaquil and the Vía a Samborondón.

To prepare the work I resorted to national and international data reporting activities of recycling building materials, news presented in the national press and consulted local media involved in the activity of the construction about pricing issues relating to materials and recycling processes.

At present there is little that is done on recycling and reuse of building materials in the country, yet one of the most influential findings definitively clarify the recycling and reuse of building materials covered in this paper, are an excellent option to the constructor, has economic benefits and environmental benefits for society in general.

Introducción

“Los residuos constituyen un grave problema ambiental en sí mismos, son el origen de otros como la contaminación de las aguas, del suelo y del aire, con los correspondientes riesgos asociados para la salud pública y la vida animal y vegetal. Además pueden ser una fuente significativa de emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo de este modo al cambio climático, uno de los problemas ambientales más importantes de la historia de la humanidad” (VV.AA., 2008).

Los desalojos de materiales de las construcciones en la ciudad de Guayaquil son un problema poco tratado en la actualidad y que puede llegar a representar diversos tipos de inconvenientes. El problema principal comienza con que no existe ninguna entidad que se haga completamente responsable de estos residuos, los

mismos que se suelen acumular, por meses, en esquinas, parques o solares vacíos y en otros casos llegan a formar parte de rellenos sanitarios.

La importancia de la investigación radica en que muchos de los materiales de construcción como el asfalto, madera, acero de refuerzo, acero estructural, hormigón y cerámica son enviados a los botaderos como desechos, son en muchos casos reutilizables y otros reciclables, sin embargo la falta de interés en los mismos no han dejado ver su potencial incluso a nivel económico.

“Frente a la creciente degradación del medio ambiente, que ha pasado de ser un tema de interés y denuncia por parte de unos pocos ecologistas, a convertirse en una realidad tan palpable en cualquier punto del planeta que incluso ha conseguido ocupar un espacio en las políticas y los discursos más conservadores, es cada vez más necesario y urgente reorientar el crecimiento ilimitado de la actividad humana y del abuso de recursos

hacia una actitud más responsable, que tenga en cuenta el impacto del consumo en el entorno vital” (Virginie, 2011).

Al Relleno Sanitario “Las Iguanas”, en Guayaquil, ingresan todo tipo de desperdicios: residuos de comida 58%, papel 11%, plástico 9%, cartón 5%, vidrio 4%, textil 3%, madera 3%, poda de jardín 2%, metales 2%, cuero – caucho 1%, otros 2%. Todo este material llega a un total de 1.700 ton/día. Por lo tanto, los desechos de la construcción que abarcan cerca del 1% del volumen total de desperdicios, representa 17 ton/día (Buchwald, 2003).

Puerto Limpio asegura que ellos no se responsabilizan por este tipo de desechos, por lo que la ciudadanía tiene la obligación de recolectar ese tipo de desechos. Por lo tanto, los ciudadanos son quienes deben llevar los desalojos hasta el centro de acopio, donde luego son enviados al depósito del Relleno Sanitario Las Iguanas.

Por su parte muchos ciudadanos se sienten inconformes con la situación, más que nada por el tema del transporte de los desalojos de la construcción hacia el centro de acopio, lo cual en algunas ocasiones requerirá de volquetas o camionetas que representan un gasto por “basura”. Esto principalmente es lo que ocasiona que los desechos se acumulen en las calles o en solares vacíos (El Universo, 2006).

La investigación busca proponer ideas sobre cómo y de qué formas se podrían reutilizar o reciclar los materiales antes mencionados usados en la construcción, a través de la recopilación de datos sobre procedimientos similares en otros países.

A partir de la investigación, se pretende obtener como resultado una viabilidad factible de las actividades de reutilización y reciclaje de

desechos de la construcción, no sólo en el aspecto técnico, sino también en el económico.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

Antiguamente Guayaquil contaba con un botadero llamado San Eduardo, ubicado al suroeste de la ciudad junto al túnel que une al suburbio oeste con la vía Guayaquil-Daule, el cual tenía varios problemas de recolección y disposición de los desechos por falta de control. Esto desencadenó un aumento de insectos, plagas, aves de rapiña, roedores y chamberos¹, quienes prácticamente vivían propensos a diversas enfermedades o infecciones. Además, este basurero creaba una muy mala imagen y mala vecindad a los ciudadanos de las cercanías, incluso contaminaba el suelo y las

¹ Personas dedicadas a la recolección de materiales reciclables entre la basura común de manera informal.

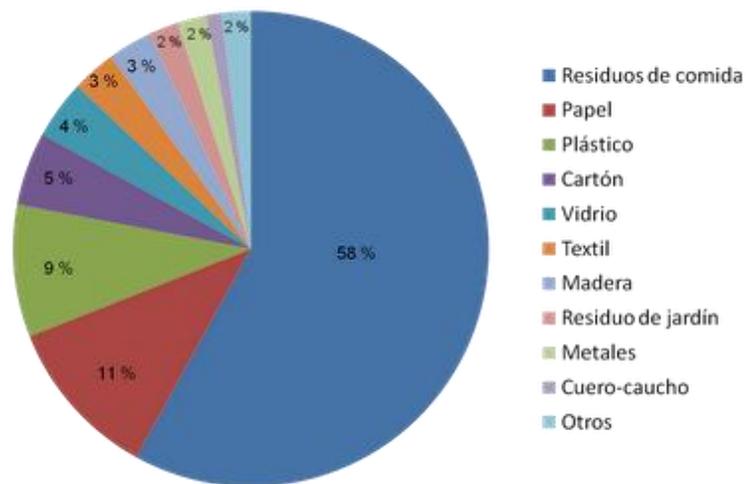
aguas subterráneas, ya que no existían programas de monitoreo.

Posteriormente, la M.I. Municipalidad de Guayaquil desarrolló el proyecto de Relleno Sanitario Las Iguanas después de una serie de estudios, el cual está ubicado en una cuenca natural, siendo así una zona apta para el desarrollo del mismo. Es a este relleno sanitario a donde no llega solo la basura común, sino también los desperdicios producto de la actividad de la construcción.

Al relleno sanitario ingresan todo tipo de desperdicios: residuos de comida 58%, papel 11%, plástico 9%, cartón 5%, vidrio 4%, textil 3%, madera 3%, poda de jardín 2%, metales 2%, cuero – caucho 1%, residuos de la construcción 1%, otros 1%. Todo este material llega a un total de 1.700 ton/día. Por lo tanto, los desechos de la construcción que abarcan cerca del 1% del volumen

total de desperdicios, representa 17 ton/día (Buchwald, 2003).

Gráfico # 1: Tipos de basura que ingresan al Relleno Sanitario “Las Iguanas”.



Fuente: (Triviño, 2011).

En la actualidad, Guayaquil cuenta con un solo lugar para depositar desechos de construcción, que es el Centro de Acopio Temporal del Norte, creado por el Municipio y Puerto Limpio, que está

ubicado en la coop. Bastión Popular, Bl 5, Mz 310, S 01, cerca de Mucho Lote. Este centro funciona como un medio de paso, ya que posteriormente los desechos son enviados al depósito del Relleno Sanitario de Las Iguanas.

Figura # 1: Centro de Acopio Temporal del Norte.



Fuente: (El Universo, 2006).

Sin embargo, a pesar de que existe este centro de acopio, los desechos de materiales de construcción se llegan a acumular, incluso durante meses, en zonas públicas. Esto se debe a que la empresa de recolección de basura, Puerto Limpio, asegura que ellos no son responsables de ese tipo de desperdicios, por lo que deben ser los mismos ciudadanos quienes se encarguen de transportar los desalojos hacia el centro de acopio. Por su parte, quienes generan estos desperdicios indican que el transporte para llevar los materiales es muy costoso, además se debe pagar a personal para cargar y descargar, motivo por el cual muchos prefieren evitarse el gasto y depositarlos en solares vacíos, parques o veredas (El Universo, 2006).

La mayor parte del material de desperdicio de la construcción es desechado como basura, sin tomar en cuenta que muchos de esos materiales pueden ser reutilizados o reciclados, pudiendo

obtener beneficios económicos y ambientales significativos.

1.1.1 Alcance y delimitación del objeto

El problema presentado en éste trabajo, tiene sus bases en los procesos de construcción y los desechos producidos durante los mismos, y se enfoca en la posibilidad de reciclar y/o reutilizar algunos de esos desechos como hormigón asfáltico, madera, acero de refuerzo y acero estructural, hormigón y cerámica.

La situación geográfica del trabajo de investigación es en Ecuador, provincia del Guayas, en la ciudad de Guayaquil y la Vía a Samborondón.

1.1.2 Preguntas de investigación

¿Es técnica y económicamente factible la reutilización y/o reciclaje de los materiales de construcción en el área geográfica determinada?

1.1.3 Sistematización del problema

- ¿Qué materiales se plantea reutilizar y/o reciclar de las construcciones?
- ¿Cuáles son los métodos de reutilización y/o reciclaje de los materiales de construcción planteados?
- ¿Cuál sería una propuesta factible de reciclaje y/o reutilización de residuos de la construcción para desarrollarse en el área geográfica determinada?

1.1.4 Determinación del problema

La reutilización y/o reciclaje de los materiales residuos de la construcción en la ciudad de Guayaquil y la Vía a Samborondón, mediante la instalación de un sistema de acopio y posterior procesamiento.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Demostrar la factibilidad técnica y económica de instalar un sistema de acopio, procesamiento, reciclaje y/o reutilización de materiales residuales de la construcción en Guayaquil y/o la Vía a Samborondón para reducir el impacto ambiental negativo que la disposición de dichos desechos está causando actualmente, al considerarlos como basura.

1.2.2 Objetivos específicos

- Definir los sistemas de aprovechamiento de desechos de la construcción que se pueden implementar en Guayaquil y/o la Vía a Samborondón.
- Contribuir a generar una práctica de conservación ambiental, evitando que los residuos de la construcción se conviertan en basura.
- Identificar los beneficios económicos o de otra índole resultantes de la reutilización y/o reciclaje de los desechos de materiales usados en la construcción.

1.3 Justificación

La sostenibilidad es uno de los conceptos que cada día se vuelve más importante en el desarrollo de diversas actividades económicas alrededor de todo el mundo. El objetivo de la sostenibilidad es poder satisfacer necesidades a través de un desarrollo del manejo de procesos a todo nivel productivo. Sin embargo, para obtener resultados óptimos, es necesario crear una visión positiva en la que la sostenibilidad sea un punto de suma importancia en cuanto al progreso económico y social (Flórez-Estrada, 2011).

Cada vez son más los gobiernos y grupos sociales los que desarrollan y promueven proyectos sostenibles en los que se resaltan los beneficios de la conservación del medio ambiente, la creación de bienestar social y la obtención de recursos económicos alternativos.

A pesar de los posibles beneficios, es necesario tratar de mejorar los esfuerzos ya que el ámbito del medio ambiente no se encuentra aislado y también se ven incluidos otros temas esenciales como salud, educación, agricultura y vivienda.

La generación de basura es un grave problema que se trata de combatir mundialmente, y una de las formas de hacerlo es mediante el reciclaje. Al reciclar, se utilizan los mismos productos una y otra vez para crear otros nuevos, obteniendo como resultado beneficios ecológicos, económicos y sociales.

El objeto de estudio de la presente investigación es definir los sistemas de aprovechamiento de residuos de la construcción en la ciudad de Guayaquil y la Vía a Samborondón, y a su vez, precisar sus beneficios.

El trabajo busca primero identificar las metodologías usadas en otros países para poder reciclar y/o reutilizar materiales de la construcción y reconocer de qué manera se pueden introducir y adaptar esas estrategias en el área geográfica delimitada.

La investigación se basa en tres aspectos: teórico, práctico y metodológico.

El aspecto teórico se desarrolla a partir de una recopilación de diversos documentos referentes al reciclado y tratamiento de residuos resultado de la construcción y demolición; maquinarias utilizadas en los procesos de reciclaje de los materiales específicos tratados y los procesos de reciclaje que se realizan en otros países, pero que podrían adaptarse a nuestro medio.

El aspecto práctico sugiere los tipos de sistemas y metodologías de reciclaje y/o reutilización de

residuos de la construcción que se pueden aplicar en el área delimitada y su beneficio a ciertos sectores sociales y organizaciones específicas que se podrían favorecer de la actividad del reciclaje y/o reutilización de los desperdicios de materiales de construcción.

Por último, el aspecto metodológico, enfatiza el aporte de la investigación con otros trabajos referentes al medio ambiente y los beneficios que conlleva la sustentabilidad de los procesos a través del reciclaje y/o la reutilización de los residuos de la construcción.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1 Marco teórico

2.1.1 Reciclaje en el Ecuador

En nuestro país alrededor de 678.000 toneladas de desechos son reciclados al año, y mientras una parte se usa en el consumo interno, la otra se exporta a Estados Unidos y países de Asia, entre otros.

Ecuador cuenta con aproximadamente 1.200 centros de acopio, 20 compañías legalmente constituidas para reciclar material y 1.000 vehículos que transportan estos materiales, según Mario Bravo, Presidente Ejecutivo de Reciclajes Internacionales – RECYNTER.

A través de cadenas de reciclaje trabajan microempresarios, centros de acopio, industrias y las pequeñas y medianas empresas, generando empleo para 50.000 personas aproximadamente, en su mayoría de escasos recursos económicos. Sin embargo, este tipo de reciclaje está más enfocado hacia las industrias papeleras, de plásticos, de vidrio, siderúrgicas y metalúrgica, dejando de lado otro sector creador de grandes desechos como es el de la construcción (Bravo, 2008).

En cuanto al cuidado del medio ambiente, la ciudad de Loja es considerada pionera dentro de nuestro país, debido a su programa de Gestión de Residuos Sólidos y sus buenos resultados. En primer lugar, se buscó la activación de un programa para la separación de desechos domésticos y la habilitación de infraestructuras de saneamiento. Los residuos orgánicos tienen como fin la fabricación de abono, mientras que los desechos no

biodegradables son reciclados y vendidos a empresas.

El proyecto consta de cuatro puntos principales: 1) la recolección de los desechos, en el que se busca clasificarlos desde los hogares y separar los desechos biológicamente peligrosos en los hospitales, así como planificar las rutas de recolección; 2) la utilización de desechos recuperables, etapa en la que se elabora el abono con los residuos orgánicos, se reciclan los desechos no biodegradables y se controla la emisión de gases de plantas de tratamientos; 3) esparcido de los desechos no recuperables; y 4) la instrucción y concienciación de la población, a través de campaña en cada hogar y talleres para personal de centros médicos.

Como resultados, las condiciones y calidad de vida de quienes clasifican basura han mejorado, las familias se han hecho responsables de la

clasificación de sus desechos, se ha gestionado de manera adecuada los desperdicios sólidos, se eliminaron vertederos de basura, contribuyendo a la descontaminación de Loja y convirtiéndola en la ciudad con más áreas verdes por habitante en el Ecuador (Salazar, 2002).

De esta manera se podría impulsar campañas y proyectos que realicen esta misma labor pero con un enfoque hacia los desechos de construcción.

Incluso, Loja incentiva y promueve que estudiantes de varios colegios participen activamente del reciclaje a través del proyecto “Loja es limpia por su gente”. El proyecto nació en 1992 después de que las Naciones Unidas convocó a los países para que cada uno tome responsabilidad en cuanto al correcto uso de los desechos.

El proyecto busca alternativas para disminuir los índices de contaminación, mejorar los procesos de recolección de desechos y mejorar la calidad del medio ambiente. Esto gracias a una alianza entre la Municipalidad de Loja y los colegios, en los cuales los estudiantes deben clasificar y recolectar materiales como papel, botellas de plástico, cartón, fundas plásticas, entre otros. Los mismos deben encontrarse en buenas condiciones y el proceso debe estar coordinado por los profesores y autoridades de cada colegio.

Como incentivo, el Municipio le compra a los estudiantes esos desechos a \$0,12 cada kilogramo de material y con el dinero recolectado por la venta de esos desechos se realizan obras para sus colegios (Crónica, 2011).

Por su parte, la empresa Andec, fabricante de productos de acero, cuenta con un centro de acopio para desechos del acero en Guayaquil,

ubicado en la Av. Dr. Raúl Clemente Huerta, Vía Las Esclusas. Algunos de estos desechos son provenientes de la construcción y clasificados en dos tipos: chatarra tipo "A", que es chatarra pesada de dimensiones máximas 40 x 40 x 40 cm, tales como partes de equipo caminero (rodillos, cadenas, etc.), retazos de ejes, planchas, varillas y vigas; y chatarra tipo "B", pesada y semipesada de dimensiones superiores a 40 x 40 x 40 cm, tales como estructuras de galpones, vigas, tubos y ángulos (ANDEC, 2009).

2.1.2 Destino de los desechos de la construcción

Durante los procesos de construcción se producen grandes cantidades de material de desperdicio, los cuales muchas veces se suelen desalojar en esquinas de parques, calles, solares vacíos, botaderos de basura o rellenos sanitarios.

En general, estos desechos se vuelven basura inservible que llega a ocupar grandes espacios sin que nadie se preocupe realmente sobre los problemas que puedan causar, y sin tomar en cuenta los procedimientos adecuados para evitar una agresión medioambiental.

Figura # 2: Desechos de construcción en la vía pública.



Fuente: (Haz, 2012).

La mayor parte de los residuos de construcción terminan en vertederos, esto ocasiona que las cargas que soportan los vertederos y sus operaciones aumenten. Además el uso de solventes, aditivos o químicos para tratar la madera pueden ocasionar contaminación del suelo y del agua.

Cerca de 8.000 libras de escombros llegan a los vertederos con la construcción de una vivienda de 600 metros cuadrados (Sustainable Sources, 2013).

2.1.3 Reciclaje en el mundo

La generación, composición, eliminación y reciclaje de desechos sólidos urbanos ha cambiado trascendentalmente en las últimas décadas. A pesar de que la generación de residuos por persona se ha incrementado de 3,66 a 4,50 libras por día entre

1980 y 2008, así mismo la tasa de reciclaje también ha aumentado del 10 a más del 33% durante el mismo período de tiempo. De igual manera, la cantidad de residuos depositada en vertederos se redujo del 89 al 54% durante esos años. (El Reciclaje, 2010)

En Estados Unidos, hasta antes de 1973, no existían programas de separación de desechos producidos en los hogares para reciclaje; sin embargo, hasta el año 2006 ya existían por lo menos 8.660 programas con esa finalidad.

De acuerdo a datos de la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés), el reciclaje producido a nivel mundial equivale a sacar de las calles alrededor de 39,60 millones de vehículos, grandes causantes del calentamiento global (La Onda Verde, 2009).

Las consecuencias de tener una gran cantidad de residuos afectan directamente a los habitantes de las ciudades, ya que tiene efectos económicos adversos, contaminan y pueden llegar a producir situaciones sanitarias graves (Inspiration, 2009).

La Unión Europea impuso como objetivo reciclar el 50% de los desechos domésticos hasta el 2020. Durante el 2010, en Europa se recicló el 35% de los residuos domésticos, en comparación al 23% que se registró en el 2001.

Los países europeos que más residuos urbanos reciclaron durante el 2010 en Europa fueron Austria con el 63%, seguido por Alemania con el 62%, Bélgica con 58%, los Países Bajos con 51% y Suiza de igual manera con el 51%.

Según el informe emitido por la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), en Europa se

promueve de manera efectiva la gestión de reciclaje, aunque no al ritmo que se requiere. Sin embargo, en un corto período de tiempo, desde el 2001 al 2010, algunos países lograron fomentar una cultura de reciclaje, con incentivos e infraestructura adecuada, además de contar con campañas de sensibilización pública (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2013).

2.1.4 Composición de los residuos de construcción

Los residuos de la construcción son generados en el medio urbano y no forman parte del grupo de los residuos sólidos urbanos² (domiciliarios y comerciales). Su composición es distinta, tanto en cantidad como en cualidades.

Los residuos de la construcción están principalmente compuestos por materiales inertes como tierra y áridos mezclados, madera, ladrillos, plásticos, restos de hormigón, yeso, entre otros. Son todos aquellos residuos que se generan a partir de los movimientos de tierras, construcciones de nuevos edificios o infraestructuras y demoliciones o reparaciones de edificaciones (Romero, 2006).

Las gravas, restos de ladrillos, residuos de hormigón, arena, asfalto y tierra, representan hasta un 50% de los residuos generados en una construcción; en algunos casos pueden llegar a más. Luego cerca de un 20 o 30% de los desechos son conformados por madera o productos derivados, como tablas o formaletas. El porcentaje restante está conformado por restos de aluminio, vidrio, metales, desechos de materiales sanitarios o eléctricos (Flórez-Estrada, 2011).

² Residuos que se originan en la actividad doméstica y comercial de ciudades y pueblos.

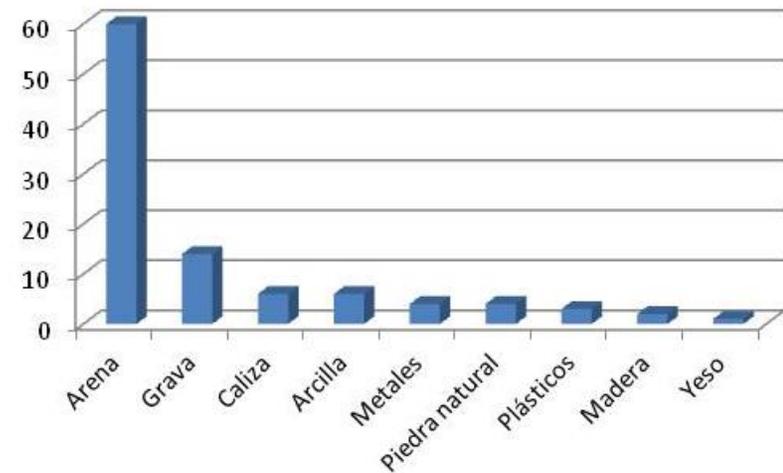
A continuación se detallan los porcentajes en volúmen de los materiales que conforman los desechos de la construcción:

Tabla # 1: Porcentajes de la cantidad de desechos en la construcción.

CANTIDAD DE DESECHOS DE CONSTRUCCIÓN	
MATERIAL	%
Arena	60
Grava	14
Caliza	6
Arcilla	6
Metales	4
Piedra natural	4
Plásticos	3
Madera	2
Yeso	1

Fuente: Elaboración propia a partir de (Flórez-Estrada, 2011).

Gráfico # 2: Porcentajes de la cantidad de desechos en la construcción.



Fuente: Elaboración propia a partir de (Flórez-Estrada, 2011).

En volúmen, los residuos de la construcción constituyen la fuente más grande de residuos industriales en un país desarrollado. Se estima que en esos países se produce cerca de 450kg de esos residuos por habitante cada año (Molina, 1997).

2.1.5 El reciclaje y la reutilización en la construcción

El tema de la construcción en los países juega un papel muy importante dentro de la economía de los mismos, ya que se relaciona directamente con el crecimiento y desarrollo de los pueblos. A pesar de esto, la misma actividad puede llegar a generar grandes riesgos para el medio ambiente, debido a los recursos naturales que se usan y a los volúmenes de desechos que se producen (Flórez-Estrada, 2011).

Una de las opciones que se tiene para el tratamiento de los desechos de la construcción es la reutilización. Esta es la alternativa más deseable, ya que por esta vía se evitan los residuos, dado que todo sobrante forma parte de un nuevo proceso de producción.

Los desechos a reutilizarse se pueden usar dentro de la misma obra en la que se producen o en otras obras, pero se debe hacer una previa selección y limpieza de los mismos. De esta forma, los materiales originales no se alteran y mantienen sus propiedades (Romero, 2006).

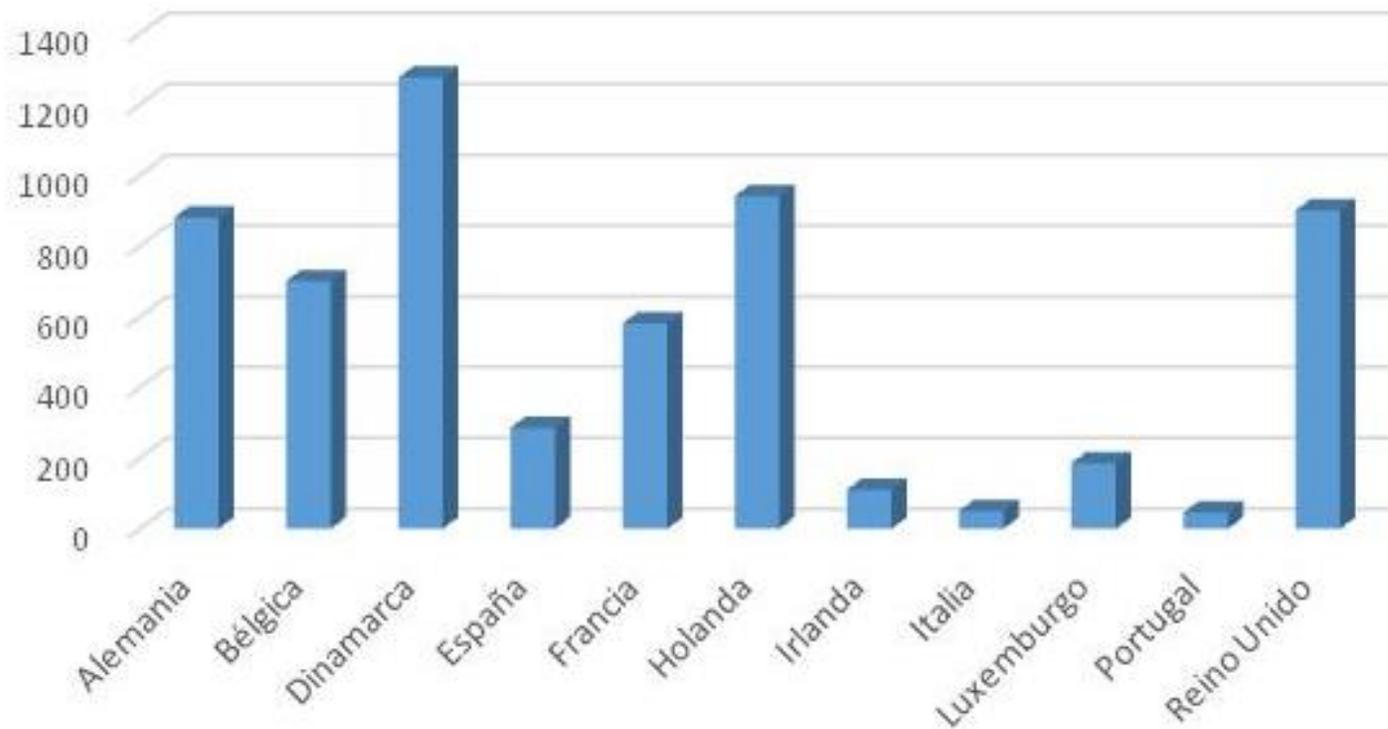
Por su parte, “la limitación y reciclaje de los residuos está considerada como la tecnología más limpia y amiga de los recursos naturales,” según el informe Naciones Unidas 1990, presentado por el Consejo Nórdico en su Plan de Acción Nórdico (Lauritzen, 2009).

La opción del reciclaje consiste en convertir los residuos producidos en nuevos materiales que se puedan usar como materia prima para la fabricación de otros productos y ser empleados en nuevas obras.

La diferencia entre el reciclaje y la reutilización, es que en el reciclaje los productos originales se transforman a través de una alteración de sus formas y propiedades, mientras que en la reutilización no se los altera. Por lo tanto es una buena opción primero reutilizar y luego reciclar (Romero, 2006).

A continuación se detalla la producción de residuos de construcción y demolición en algunos países de la Unión Europea.

Gráfico # 3: Producción per cápita de desechos de construcción y demolición (kg./hab./año).



Fuente: Elaboración propia a partir de (Aguilar A. , 1997).

Por lo general, muchos países importan las técnicas de reciclaje usadas en Estados Unidos, lo cual no ayuda de mucho, ya que los

norteamericanos no se preocupan suficientemente por los escombros, debido a que sus sistemas

constructivos residenciales se basan en el uso de madera (Molina, 1997).

En casi todos los casos (en Estados Unidos), el costo de reciclaje es más bajo que el costo de simplemente botar los desperdicios, por mucho que esta última práctica sea más cómoda. Por lo que día tras día, para el arquitecto, propietario y contratista, el reciclaje tiene cada vez mayor sentido económico.

Este es un punto crítico. Si los costos de reciclaje fueran mayores que los costos de enviar los desechos a un botadero, entonces siempre va a haber una muy buena razón para no reciclar, desde el punto de vista del provecho del constructor. Pero si el reciclaje tiene un costo competitivo o menos caro que desechar, el reciclaje debe ser considerado como parte de cada trabajo.

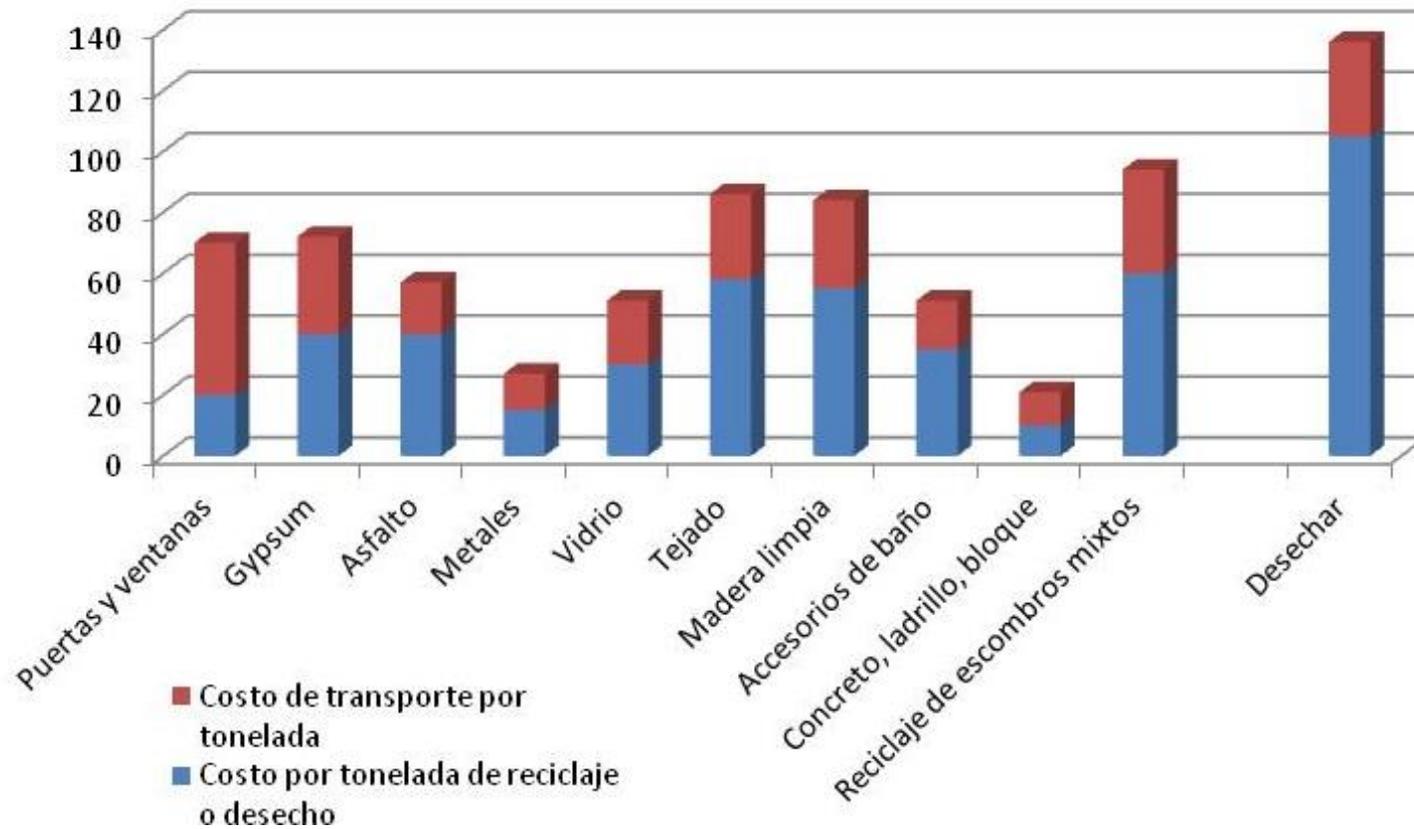
Para cada material, el costo total de la gestión, ya sea por eliminación o reciclaje, tiene dos componentes. El costo de reciclado es el costo por tonelada para procesar y reciclar un material una vez que alcanza un mercado o, en el caso de material que es desechado, de la tasa de descarga en vertederos (al igual que en Boston, algunas ciudades de Estados Unidos cobran tarifas a las constructoras por el uso de vertederos para descargar los desechos de las construcciones). El costo del transporte es el costo por tonelada para obtener un material para el mercado; este costo varía con la distancia al mercado y con la cantidad de material que puede ser transportada en una sola carga (Lennon, 2005).

Para dar un uso adecuado a los escombros de la construcción, es necesario considerar varios conceptos como diseño, localización, tipo de construcción y las áreas de desalojo dentro de la obra y su disposición final. Todo esto se debería

considerar desde las primeras etapas del proyecto o planificación del proyecto, con el fin de controlar los impactos propios de la actividad.

Desde el inicio, se debe tomar en cuenta la magnitud de la obra, ya que es necesario realizar una proyección de cuántos desechos se van a producir durante la etapa de construcción. Esto, para obtener información sobre si existe espacio suficiente dentro de la obra para la disposición de los desechos o si es necesario ubicarlos en un vertedero externo (Flórez- Estrada, 2011).

Gráfico # 4: Costos de reciclar vs. desechar (Boston).



Fuente: Elaboración propia a partir de (Lennon, 2005).

En el gráfico podemos apreciar como en la zona de Boston, Massachusetts, los costos de desechar los materiales llegan a ser mucho más elevados que los costos del reciclaje, mientras los costos de transporte se mantienen.

Si tomamos, por ejemplo, “concreto, ladrillo y bloque,” vemos que como un componente de los residuos mezclados para “desecho,” cuesta alrededor de \$105 por tonelada disponer de estos materiales en un vertedero , además de alrededor de \$31 por tonelada para el transporte al vertedero. Si están separados y reciclados por separado, el cargo de reciclaje es de \$10 por tonelada, y el costo de transporte es de \$11 por tonelada. El costo total del reciclaje (la suma de las dos barras, o \$ 21/ton) es menos de una sexta parte del costo de su eliminación. La historia es similar para otros materiales comunes: madera, paneles gypsum, metales, vidrio. En el peor de los casos, el costo de reciclar no es mucho más de la mitad del costo de

la eliminación. Cuando se suman los costos a través de casi cualquier proyecto de construcción, la cantidad de ahorro llega a miles, y a menudo a decenas de miles de dólares.

Incluso si los materiales no pueden ser separados para su reciclaje, aún así dicha práctica no costaría más que desecharlos. A pesar de esto, el reciclaje también tiene otra gran ventaja: del 75% a 90% de los escombros mixtos se pueden clasificar, recuperar y utilizarse de nuevo (Lennon, 2005).

2.1.6 ¿Por qué reciclar los residuos de la construcción?

Las ventajas del reciclaje es que no tiene problemas de financiación ya que puede llegar a ser en muchos casos un negocio rentable, además de que goza de una buena aceptación pública, por lo

que el constructor que recicla ofrece una imagen positiva hacia el cliente (Sustainable Sources, 2013).

A nivel internacional la construcción sostenible se ha convertido en un lema. En las oficinas de arquitectos y en obras de construcción en varios países hay cada vez más insistencia en la reducción de los impactos ambientales de renovación y nueva construcción. Los sistemas certificaciones LEED (por sus siglas en inglés, *Leadership in Energy & Environmental Design*) y *Green Guidelines for Healthcare* ayudan a que el reciclaje en la construcción cobre impulso cada vez más.

El reciclaje de residuos de construcción y demolición es uno de los compromisos más visibles que un desarrollador puede hacer a la construcción sostenible, visibles a todos los trabajadores del lugar y para todos quienes pasen por la obra.

El reciclaje de los residuos de la construcción genera empleos y actividad económica en la provisión de materiales para los vendedores y procesadores locales, que ayudan a sostener las economías locales. Y quizás lo más importante, en una base del ciclo de vida, el reciclaje produce materiales útiles a un costo mucho menor hacia el medio ambiente que los materiales de fuentes primarias. Es decir, además de la conservación de materias primas, el reciclaje conserva la energía y el agua, y reduce la producción de emisiones de efecto invernadero y otros contaminantes. Dentro y fuera del lugar de trabajo, el reciclaje es uno de los compromisos más importantes que se pueden hacer a la construcción sostenible (Lennon, 2005).

Empresas como *Construction Materials Recycling* con sede en Forest Grove y Woodburn, Oregon, en Estados Unidos, se encargan de reciclar concreto, asfalto, vidrio, piedra y mampostería y convertirlos en materiales de construcción de alta

calidad. Aceptan todo este tipo de desechos, incluso si el volumen es pequeño o grande. La única condición es entregar los desechos debidamente separados y limpios. Además ofrecen asesorías sobre cómo el reciclaje y los esfuerzos por reutilización puede ayudar a contribuir con la obtención de una certificación LEED para el proyecto a construirse o en etapa de construcción (Construction Materials Recycling, 2011).

El reciclaje es bueno para dos o más puntos LEED. Uno de los puntos LEED se concede por una tasa de reciclado del 50%, una segunda para una tasa de reciclado del 75 %. Algunas estrategias de reducción de residuos y reciclaje (por ejemplo, devolver los residuos a la obra en nuevos productos) también pueden calificar para los puntos de innovación adicionales. Estos son algunos de los más simples y fácilmente entre las más rentables puntos LEED eficaces.

Así que por muchas razones, como el cumplimiento ambiental, económico, LEED -práctico y ambientales, el reciclado es, y debe ser, el centro de la construcción sostenible.

Sin embargo, el reciclaje es sólo una de las varias formas de conservar los recursos y materiales en la construcción y renovación. Para cada material que se puede reutilizar en un trabajo, el reciclaje no es ni siquiera necesario. Lo mismo vale para la reducción de fuentes; usando menos material, o el uso de materiales de manera más eficiente (eliminando así los residuos). Y, por último, el uso de productos reciclados o con contenido reciclado. El reciclaje se desmoronaría si no existieran mercados para los materiales que se desvían de la corriente de desechos, y la mejor manera de asegurar los mercados fuertes es especificar el uso de productos reciclados siempre que sea posible (Lennon, 2005).

2.1.7 Desperdicios de la construcción

En un proyecto se suele considerar un 5% de desperdicio del hormigón, sin embargo, no existen datos reales sobre si ese estimado es el correcto. Incluso muchas veces o siempre se ignora que no solamente se desperdicia material, sino también maquinarias, personal de obra, capital y demás recursos utilizados para cierto proceso determinado de la construcción. Aquellos recursos que no producen un valor extra al producto terminado, son desperdicios.

Durante la etapa de construcción de la estructura de una obra, se puede identificar residuos de acero estructural, de acero de refuerzo, madera, plástico, papel, trozos de bloques, ladrillos y concreto, principalmente.

El flujo de residuos en la construcción es tan grande, que los que se generan durante la construcción de un edificio nuevo son más que los residuos que los residentes de ese edificio podrían producir en uno o dos años de ocupación (Soibelman, 2000).

Los residuos de la construcción están compuestos principalmente de rebabas de hormigón (20%), tierra contaminada con otros materiales (40%), sobrantes de hormigón (5%), trozos de ladrillos (25%), trozos de bloques (5%) y otros (5%) (Construction Materials Recycling, 2011).

En el siguiente cuadro podemos apreciar los valores de ciertos materiales y su valor de desperdicio.

Tabla # 2: Precio de los desperdicios

MATERIAL	U	PRECIO	DESPERDICIO CONSIDERADO	VALOR DE DESPERDICIO
Hormigón premezclado f'c=210 Kg/cm ² , Corr.Piedra 12 mm.	m ³	80,9	5%	4,05
Varillas grado interm. corr. 8,10,12 mm	qq	47,2	15%	7,08
Bloq. 8H Rayado de Pared 10x20x41(12xm ²)	u	0,45	10%	0,05
Cuartones de encofrado	u	1,5	5%	0,08
Tablas de encofrado de 1"x 4m.	u	2	5%	0,10
Tiras de encofrado de 1"x 4m.	u	1	5%	0,05
Caña rolliza 6 Mt.	u	1,2	5%	0,06

Fuente: Elaboración propia a partir de (Cámara de la Construcción de Guayaquil, 2013).

En el caso de la madera usada en la construcción de las estructuras como tablas, cuartones, listones y en general, madera de encofrados y apuntalamiento, cabe destacar que en cuanto a “basura” producida, no debemos considerar solo el porcentaje de desperdicio, ya que después de un cierto número de usos esa madera es desechada en su totalidad; a diferencia del hormigón, el acero o la mampostería, los cuales terminan formando parte de la edificación.

Figura # 3: Desechos de madera en botadero de Villa Club.



Fuente: Elaboración propia.

2.1.8 Reciclaje del hormigón asfáltico

El reciclaje del asfalto es una manera lógica y práctica de conservar nuestra decadente reserva de materiales de construcción y de ayudar a reducir los costos de mantenimiento de las redes de carreteras. Cuando el asfalto reciclado es

debidamente diseñado y preparado, tiene la capacidad de comportarse tan bien como el asfalto preparado con materiales nuevos. La industria mundial del asfalto recicla aproximadamente 73 millones de toneladas de material cada año. Esta cantidad es más del doble de lo que se recicla en papel, vidrio, plástico y aluminio juntos (Santucci, 2007).

El reciclaje de pavimentos asfálticos para la rehabilitación del pavimento o la reconstrucción de vías tiene las siguientes ventajas: reducción de los costos de construcción, conservación de asfalto, la conservación global del pavimento existente, la conservación del medio ambiente, y la conservación de la energía.

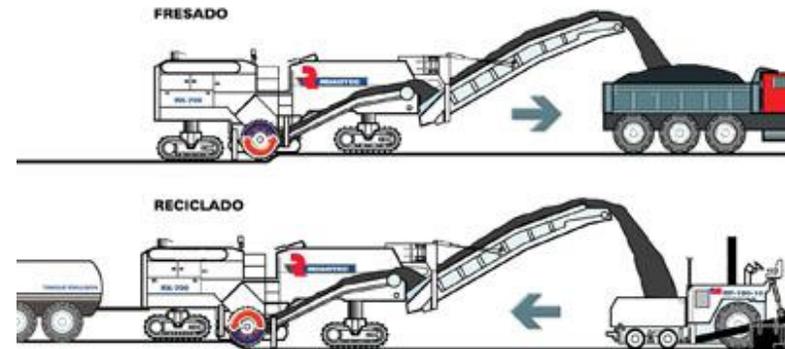
El reciclaje ya no es considerado un proceso experimental por muchos organismos viales. Estas agencias reciclan basándose en especificaciones de construcción de carreteras y/o disposiciones

especiales. Hay una necesidad de capacitar a funcionarios de vías del gobierno y a ingenieros en el tema del pavimento reciclado, para de esta manera expandir sus beneficios (Mallick, 1997).

Existen varias técnicas para reciclar el asfalto como la de mezclado en caliente, mezclado caliente en sitio, mezclado en frío, mezclado frío en sitio y recuperación de profundidad completa. Todos estos procedimientos han evolucionado en los últimos 35 años (Santucci, 2007).

En la actualidad existen máquinas fresadoras con cargadora frontal, que cortan el asfalto y lo recogen automáticamente. Al usar este tipo de sistema, la mayoría de los trozos grandes de material pasan directamente a un cilindro de corte para luego ser colocados en el sistema transportador y después de un tratamiento ser usado como nuevo asfalto (Brock, 2006).

Figura # 4: Fresado y reciclaje de asfalto en sitio.



Fuente: (Construcción Pan-Americana, 2010).

Esta técnica es conocida como mezclado caliente en sitio, y consiste en calentar, escarificar, mezclar, colocar y compactar la capa superior del pavimento asfáltico existente en el sitio. Normalmente, del 70 al 100% del material de una mezcla que ha sido reciclada en sitio proviene del pavimento ya existente en el mismo. Este proceso requiere de varios equipos como pre-calentadores, calentadores, fresadoras, mezcladores, pavimentadoras y rodillos.

Los rangos de tratamiento van desde $\frac{3}{4}$ hasta 3 pulgadas, dependiendo del procedimiento. El proceso más común de la técnica de mezclado caliente en sitio es el de reciclar la superficie, volver a mezclar y repavimentar (Santucci, 2007).

Siguiendo este procedimiento se obtienen numerosas ventajas, ya que se logra recuperar y reutilizar los materiales, aplicando rapidez en el trabajo y por lo tanto, menor tiempo de obstrucción parcial del tráfico; evita costos de transporte de nuevo material y supone un costo igual o menor que el de aplicar una nueva capa ligante, ya que al fresar queda una capa de material fino en la calle, la cual se derrite muy rápidamente al aplicar la mezcla caliente, actuando como una capa ligante.

Otros beneficios de este procedimiento son que no se requiere elevar las cotas del pavimento, ya que los niveles se mantienen iguales. De igual manera, no se necesita elevar barreras, ni reforzar

puentes, ya que la carga del hormigón asfáltico permanece igual (Brock, 2006).

A pesar de los beneficios, aún existen dudas con respecto a la duración a largo plazo del asfalto reciclado. La tecnología existente en el pasado, basada en plantas mezcladoras de asfalto, limitaba la practicidad y la cantidad de pavimento reciclado, el cual podía ser usado del 15 al 40%. La tecnología actual está siendo desarrollada y evaluada para incrementar ese porcentaje al 100%. Por lo tanto, dependiendo del uso final planificado, la calidad del asfalto reciclado debe ser la indicada por los requerimientos de las especificaciones (Shoenberger, 1993).

Las fresadoras no sólo sirven como excavadoras y disgregadoras de material reciclable, sino que también sirven como niveladoras finas, excavadoras y cargadoras de material. Esto le

permite realizar trabajos en los que anteriormente se necesitaban dos o tres maquinarias diferentes.

En la década de los 70 se empezaron a usar máquinas fresadoras de pavimento asfáltico de pequeño tamaño, las cuales tenían un ancho de corte estrecho. Sin embargo, su desarrollo fue acelerado y ya para 1976 estas máquinas podían cortar anchos de 4 metros, es decir, un carril completo.

En un comienzo, las máquinas fresadoras eran costosas, sus repuestos duraban poco y también eran costosos; sin embargo con el paso del tiempo se volvieron equipos mucho más asequibles, confiables y simples, además de tener una gran capacidad de trabajo. De igual manera, se han mejorado y desarrollado dientes de corte más resistentes, lo cual aumenta la producción y reduce costos de mantenimiento (Brock, 2006).

Los agentes de reciclaje se han definido como los materiales orgánicos con características químicas y físicas seleccionados para restaurar el asfalto envejecido con las especificaciones deseadas. Al seleccionar los agentes de reciclaje, las características de viscosidad de la combinación de ligante asfáltico viejo y el agente de reciclaje son factores determinantes. Estos agentes son también conocidos como agentes suavizantes, agentes de recuperación, modificadores, aceites fundentes y aceites extensores. El grupo *Pacific Coast User-Producer*, de Estados Unidos, ha definido a los agentes de reciclaje como “un producto de hidrocarburos con características físicas seleccionadas para restaurar la carpeta de asfalto envejecido a las necesidades actuales de las especificaciones de ligantes asfálticos”. Los agentes de reciclaje en forma de emulsión tienen la ventaja potencial de una mejor fundición, mezcla y control de temperatura para evitar el sobrecalentamiento localizado en mezcladores de tambor (U.S.

Department of Transportation Federal Highway Administration, 2011).

A continuación se muestran cuadros y gráficos con datos sobre el fresado de medio carril y carril completo a finales de los años 70 con una máquina de medio carril de 450 HP, comparado con las fresadoras que se usan en la actualidad.

Tabla # 3: Costo de fresado de medio carril a principios de la década de los 70.

COSTO DE FRESADO DE MEDIO CARRIL A PRINCIPIOS DE LA DECADA DE LOS 70		
25,4 mm	COSTO/HORA	US\$315,00
	PRODUCCION (m2/h)	1045
	PRODUCCION (t/h)	63,5
	COSTO/m2	US\$ 0,30
	COSTO/t	US\$ 5,03
50,8 mm	COSTO/HORA	US\$320,00
	PRODUCCION (m2/h)	727
	PRODUCCION (t/h)	99,2
	COSTO/m2	US\$ 0,44
	COSTO/t	US\$ 3,92
76,2 mm	COSTO/HORA	US\$345,00
	PRODUCCION (m2/h)	585
	PRODUCCION (t/h)	100
	COSTO/m2	US\$ 0,59
	COSTO/t	US\$ 3,45
101,6 mm	COSTO/HORA	US\$390,00
	PRODUCCION (m2/h)	502
	PRODUCCION (t/h)	113
	COSTO/m2	US\$ 0,78
	COSTO/t	US\$ 3,45

Basado en el uso de una máquina fresadora de medio carril BG RX-40 ó CMI PR 450 (modelo de los años 70) funcionando 750 horas/año.

Fuente: (Brock, 2006).

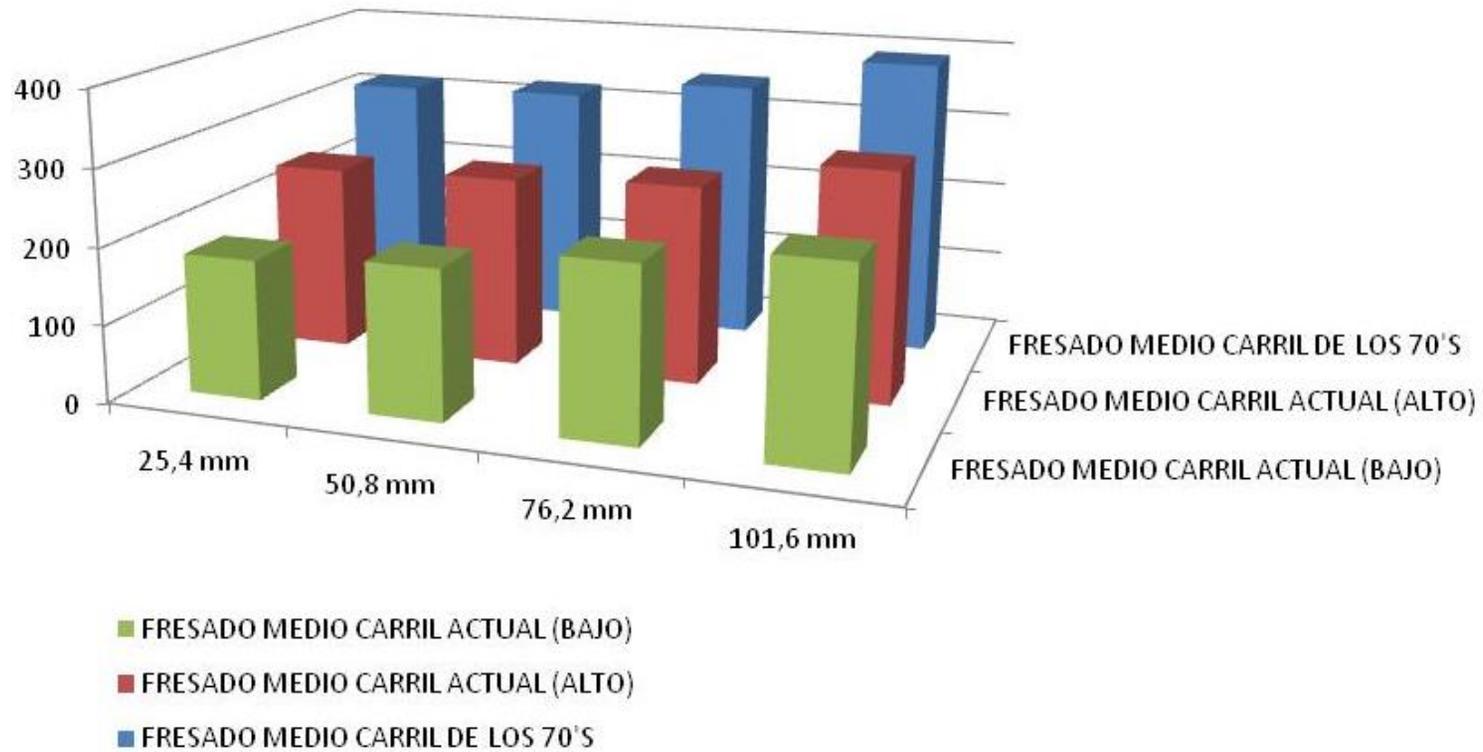
Tabla # 4: Costo actual de fresado de medio carril.

COSTO ACTUAL DE FRESADO DE MEDIO CARRIL			
		ALTO*	BAJO**
25,4 mm	COSTO/HORA	US\$244,00	US\$182,00
	PRODUCCION (m2/h)	1566	2090
	PRODUCCION (t/h)	90,7	118
	COSTO/m2	US\$ 0,16	US\$ 0,09
	COSTO/t	US\$ 2,69	US\$ 1,54
50,8 mm	COSTO/HORA	US\$250,00	US\$195,00
	PRODUCCION (m2/h)	1129	1421
	PRODUCCION (t/h)	127	163
	COSTO/m2	US\$ 0,22	US\$ 0,14
	COSTO/t	US\$ 1,97	US\$ 1,20
76,2 mm	COSTO/HORA	US\$260,00	US\$225,00
	PRODUCCION (m2/h)	1066	1338
	PRODUCCION (t/h)	181	227
	COSTO/m2	US\$ 0,24	US\$ 0,17
	COSTO/t	US\$ 1,44	US\$ 0,99
101,6 mm	COSTO/HORA	US\$300,00	US\$250,00
	PRODUCCION (m2/h)	1087	1296
	PRODUCCION (t/h)	254	295
	COSTO/m2	US\$ 0,28	US\$ 0,19
	COSTO/t	US\$ 1,18	US\$ 0,85

Basado en el uso de una máquina fresadora de medio carril Roadtec RX-60 funcionando 750 horas/año.
 * Mano de obra de alto costo y agregado abrasivo (granito)
 ** Mano de obra de bajo costo y agregado suave (piedra caliza)

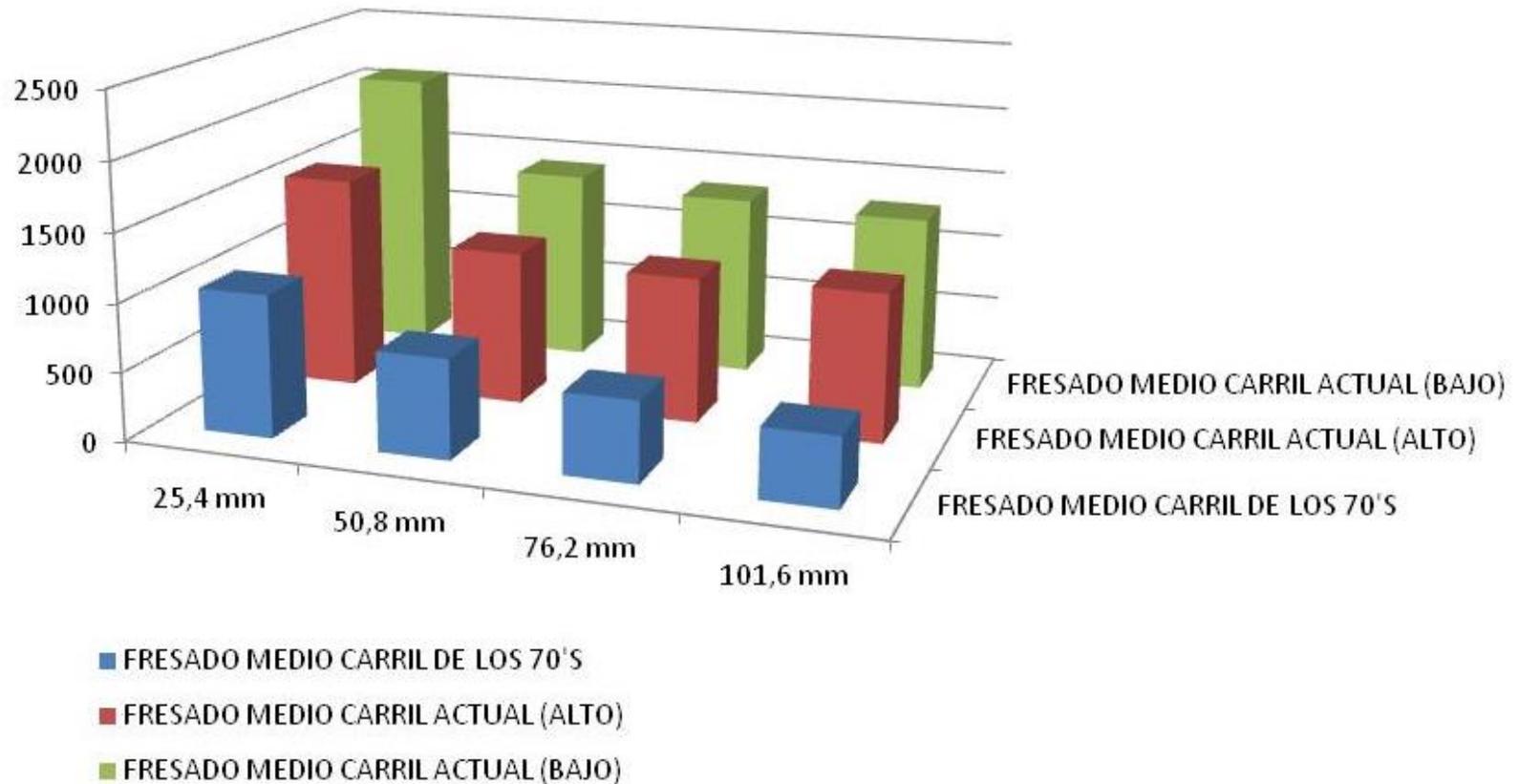
Fuente: (Brock, 2006).

Gráfico # 5: Costo/hora de fresado de medio carril.



Fuente: Elaboración propia a partir de (Brock, 2006).

Gráfico # 6: Producción (m²/h) fresado medio carril



Fuente: Elaboración propia a partir de (Brock, 2006).

Tabla # 5: Costo de fresado de carril completo a principios de la década de los 70.

COSTO DE FRESADO DE CARRIL COMPLETO A PRINCIPIOS DE LA DECADA DE LOS 70		
25,4 mm	COSTO/HORA	US\$630,00
	PRODUCCION (m2/h)	2090
	PRODUCCION (t/h)	127
	COSTO/m2	US\$ 0,60
	COSTO/t	US\$10,06
50,8 mm	COSTO/HORA	US\$640,00
	PRODUCCION (m2/h)	1454
	PRODUCCION (t/h)	198,4
	COSTO/m2	US\$ 0,88
	COSTO/t	US\$ 7,84
76,2 mm	COSTO/HORA	US\$690,00
	PRODUCCION (m2/h)	1170
	PRODUCCION (t/h)	200
	COSTO/m2	US\$ 1,18
	COSTO/t	US\$ 6,90
101,6 mm	COSTO/HORA	US\$780,00
	PRODUCCION (m2/h)	1004
	PRODUCCION (t/h)	226
	COSTO/m2	US\$ 1,56
	COSTO/t	US\$ 6,90

Basado en el estimado de uso de una máquina fresadora de carril completo funcionando 750 horas/año.

Fuente: (Brock, 2006).

Tabla # 6: Costo actual de fresado de carril completo.

COSTO ACTUAL DE FRESADO DE CARRIL COMPLETO			
		ALTO*	BAJO**
25,4 mm	COSTO/HORA	US\$388,00	US\$337,00
	m/min	22,9	26
	PRODUCCION (m2/h)	4354	4932
	PRODUCCION (t/h)	260	295
	COSTO/m2	US\$ 0,09	US\$ 0,07
50,8 mm	COSTO/HORA	US\$388,00	US\$337,00
	m/min	12,2	15
	PRODUCCION (m2/h)	2322	2903
	PRODUCCION (t/h)	278	347
	COSTO/m2	US\$ 0,17	US\$ 0,12
76,2 mm	COSTO/HORA	US\$388,00	US\$337,00
	m/min	8,5	11
	PRODUCCION (m2/h)	1625	2032
	PRODUCCION (t/h)	291	364
	COSTO/m2	US\$ 0,24	US\$ 0,17
101,6 mm	COSTO/HORA	US\$388,00	US\$337,00
	m/min	7,6	9,1
	PRODUCCION (m2/h)	1451	1741
	PRODUCCION (t/h)	347	416
	COSTO/m2	US\$ 0,27	US\$ 0,19
	COSTO/t	US\$ 1,12	US\$ 0,81

Basado en el uso de una máquina fresadora de carril completo

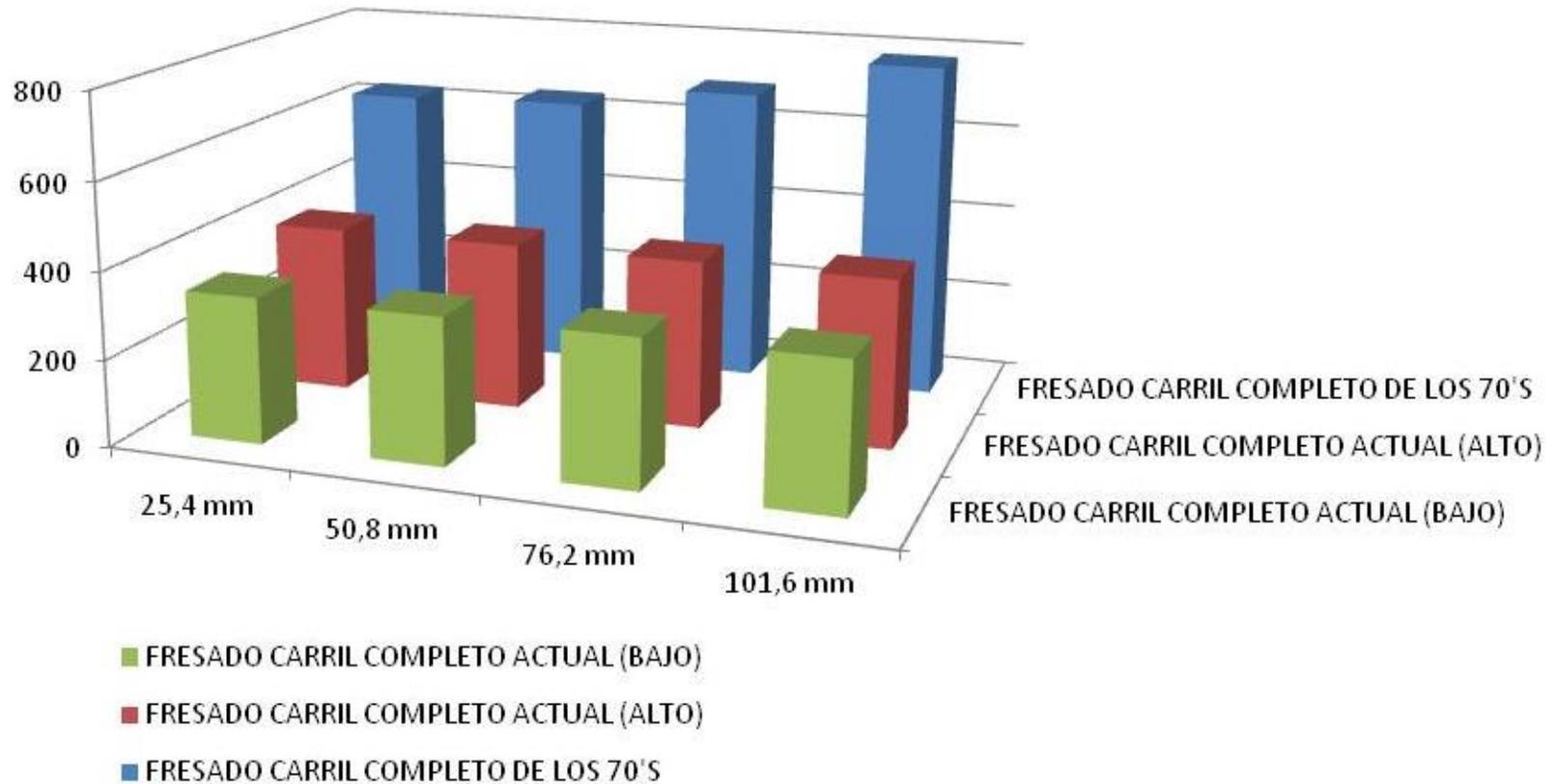
Roadtec RX-70 funcionando 750 horas/año.

* Mano de obra de alto costo y agregado abrasivo (granito)

** Mano de obra de bajo costo y agregado suave (piedra caliza)

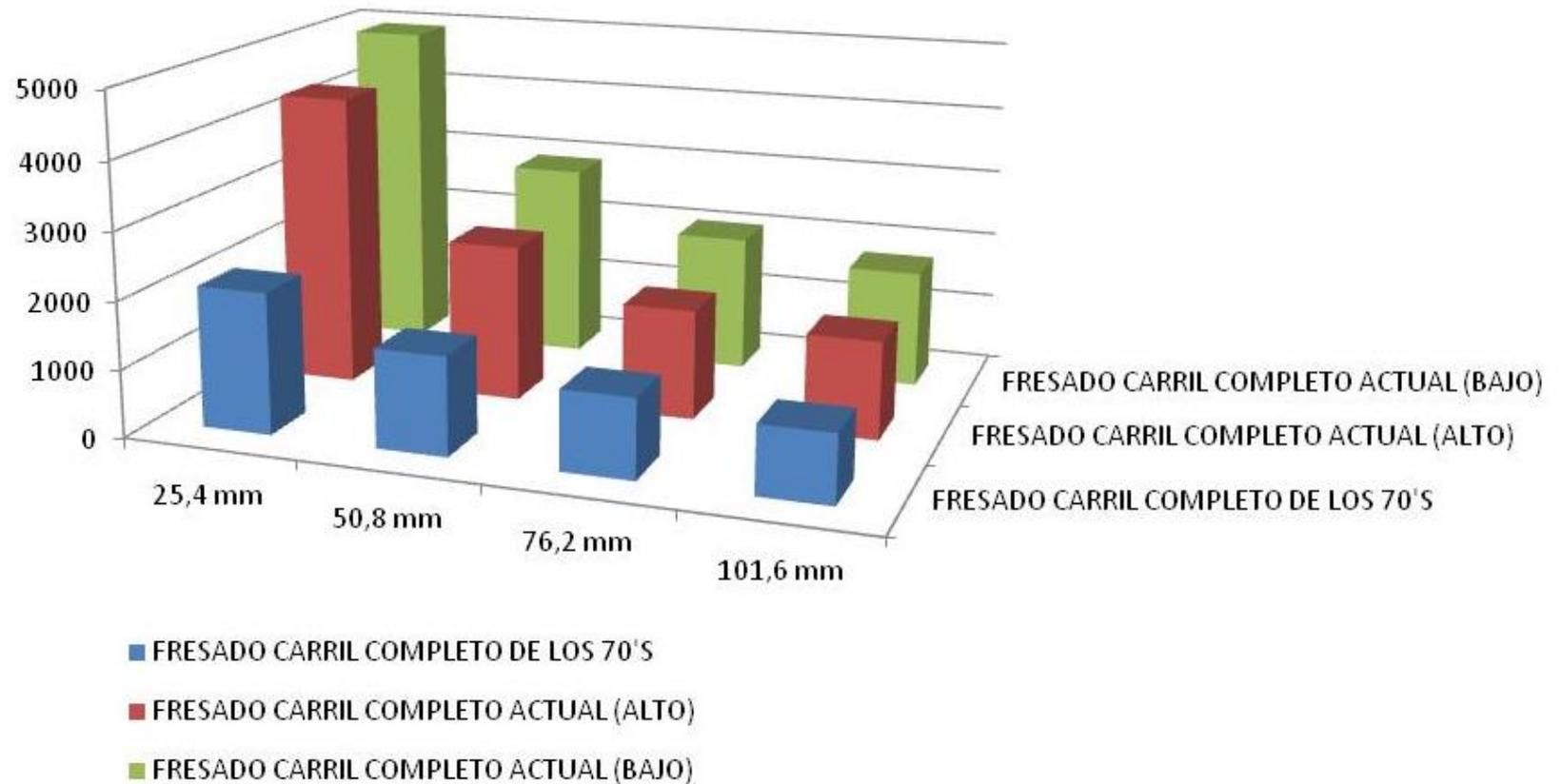
Fuente: (Brock, 2006).

Gráfico # 7: Costo/hora fresado carril completo.



Fuente: Elaboración propia a partir de (Brock, 2006).

Gráfico # 8: Producción (m²/h) fresado carril completo.



Fuente: Elaboración propia a partir de (Brock, 2006).

Después del fresado, se debe realizar una apropiada evaluación y caracterización de los materiales, lo cual es una parte clave en el proceso de reciclaje. La cantidad de la muestra y el tipo de prueba dependen, en gran parte, del método de reciclaje seleccionado.

En el proceso más sencillo de reciclaje en mezcla caliente se usa el 15% o menos del material fresado, es decir asfalto, grava y arena. El material de un pavimento existente se suele moler y es llevado a un centro de mezcla de asfalto en caliente, donde se tritura, se protege y almacena. El contratista debe monitorear la calidad del hormigón asfáltico reciclado para asegurar la uniformidad a través de la gradación y pruebas de aglutinante. El reciclado de mezcla en caliente que implica el uso de 15-25 % de asfalto reciclado es probable que requiera un ajuste en el asfalto virgen seleccionado, el uso de grado más suave. Para mezclas que usen más del 25% de asfalto reciclado, se necesita de un

proceso más amplio, un mejor seguimiento y de un programa de pruebas para el asfalto reciclado y para la mezcla reciclada terminada.

El reciclado en sitio requiere un muestreo de campo y las pruebas del pavimento existente. El muestreo de campo se realiza normalmente por extracción de muestras, generalmente núcleos de diámetro de 6 pulgadas. Se prefiere muestras en seco con aire comprimido o nitrógeno sobre la extracción de muestras húmedas, ya que para los procesos de reciclaje en frío y caliente en sitio, es necesario determinar con exactitud el contenido de humedad. El número de puntos de muestreo de campo puede variar de 3 al 5 en áreas uniformes y pequeñas a 20 o más, para áreas más grandes y menos uniformes. El número de núcleos recogidos en cada lugar depende de la cantidad de pruebas de laboratorio necesarias y el tipo de las pruebas de diseño de la mezcla requerida. Las muestras de núcleos deben ser examinadas por diferentes capas

de pavimento, tratamientos superficiales previos, capas intermedias, telas de pavimentación, mezclas de especialidad, y la evidencia de separación, al igual que la desintegración o la retención de humedad (Santucci, 2007).

Además de las ventajas de las fresadoras mostradas anteriormente, existe otra muy importante, la generación de una gran cantidad de material que se puede reciclar.

A continuación se muestran los costos de material virgen ya puesto en obra.

Tabla # 7: Costos de material virgen para un pavimento asfáltico puesto en obra.

COSTO DEL AGREGADO	COSTO DEL ASFALTO	COSTO DEL MATERIAL VIRGEN
US\$5,00/t x 0,94 = US\$4,70	US\$120,00/t x 0,06 = US\$7,20	US\$11,90

Fuente: (Brock, 2006)

El costo del pavimento asfáltico recuperado es de US\$3,70, basado en un costo de acarreo de US\$2,20/t y un costo de fresado de US\$1,70. Por lo que se puede llegar a tener un ahorro de US\$8,20 por tonelada si se llegase a utilizar todo el material fresado.

Tabla # 8: Ahorro en US\$/T de mezcla de pavimento asfáltico recuperado.

AHORRO US\$/T DE MEZCLA DE PAVIMENTO ASFÁLTICO RECUPERADO	
10%	0,82
20%	1,64
30%	2,46
40%	3,28
50%	4,1

Fuente: (Brock, 2006)

Ecuador, así como en la mayoría de los países del mundo, se usa el asfalto obtenidos de las

refinerías nacionales para la construcción de caminos y carreteras.

La primera refinería construida en el Ecuador se asentó en Esmeraldas en 1975. En la misma se instaló una unidad de destilación al vacío, la cual permitió la producción de asfalto en el país. Esto generó una gran demanda del asfalto nacional, ya que comparado con el de importación, su precio era más bajo (Botasso, 2006).

Según datos de Petroecuador³, existe una producción de 11 mil barriles de asfalto diarios en nuestro país, la cual garantiza el abastecimiento nacional que normalmente demanda entre 5 y 7 mil barriles diarios (Agencia de Noticias Públicas del Ecuador (Andes), 2012).

³ Empresa estatal ecuatoriana, creada el 26 de septiembre de 1989, encargada de la explotación de hidrocarburos.

Además, Petroecuador afirma que el asfalto producido cumple con todas las normas de calidad certificadas en el exterior NTE INEN 20 y 2061:96 del Instituto Ecuatoriano de Normalización, las cuales establecen las características físicas y químicas apropiadas para los derivados destinados al consumo nacional (La Hora, 2008).

La Comercializadora de asfaltos OSP, con más de 20 años de experiencia en la comercialización y transporte de derivados de petróleo, informa en su página web sobre uno de los métodos de reciclado de pavimentos asfálticos para la reparación de carreteras, el cual se usa a nivel nacional.

El método RAP, como se le denomina por sus siglas en inglés *Reclaimed Asphalt Pavement* o reciclado de pavimento asfáltico, cada vez adquiere mayor popularidad debido a los beneficios que

representa para el medio ambiente y a la reducción de costos en construcciones y reparaciones de vías.

En este proceso se pulverizan las capas superiores de hormigón asfáltico de la vía que se va a reparar, las cuales son mezcladas con cemento para de esta forma producir un nuevo componente asfáltico (OSP ASFALTOS, 2012).

2.1.9 Reciclaje de la madera

Se sabe que los bosques son los pulmones de nuestro planeta. La madera es capaz de almacenar naturalmente el dióxido de carbono (CO₂). Por cada tonelada de madera, los árboles pueden procesar y fijar 1,85 toneladas de CO₂. De esta manera se puede disminuir el efecto invernadero.

Además, si se deja que la madera se pudra en los vertederos, ésta produce metano, un gas de efecto invernadero, que es 23 veces más potente que el dióxido de carbono (The Wood Store Brighton, 2013).

En el Relleno Sanitario de las Iguanas, el 3% de la basura es madera. La mayor parte de esta madera, muchas veces en buenas condiciones, puede ser reutilizada, al igual que la madera

proveniente de la construcción, en lugar de ser desechada (Buchwald, 2003).

La madera se puede reciclar incluso sin tratamiento previo, reduciéndola a pequeños pedazos o astillas, que luego se pueden usar como materia prima para la elaboración de madera aglomerada e incluso papel. También se lo puede usar como cama para el ganado.

Por lo general, los desechos de madera se encuentran mezclados con plástico, clavos, papeles, cartones u otros. Para el proceso de reciclaje, estos materiales deben ser separados y tratados de manera adecuada para poder ser reincorporados para el consumo (Coparm, 2011).

La parte central del proceso de reciclaje de la madera consta de la trituración de la misma. Dependiendo del tamaño y calidad del producto resultado de la trituración, se da un empleo

adecuado de la madera, aunque aproximadamente el 90% se usa para la elaboración de aglomerados (Junta de Andalucía, 2009).

A pesar de esto, mucha de la madera no se recicla ya que para muchos es más fácil arrojarla en los vertederos o rellenos, o incinerarla.

Existen maquinarias diseñadas para triturar y procesar un gran rango de residuos de madera. Trituradoras, granuladoras, entre otras, son las máquinas usadas para procesar tableros de virutas, palets, ramaje e incluso troncos y desechos de gran tamaño como armarios, muebles o escritorios (Coparm, 2011).

Los trituradores de un eje suelen ser muy eficientes en cuanto al procesamiento de los desechos de la madera, ofreciendo una disponibilidad técnica del 96 al 98%. Estos trituradores funcionan con un motor eléctrico de

velocidad media y alimentador pendular hidráulico. Gracias a una criba, se puede regular la granulometría final que varía de 8 a 150mm.

Entre algunas de las ventajas que ofrecen los trituradores de un eje, se encuentran el bajo nivel de etanol, polvo y ruido que producen, tienen un alto rendimiento energético, no necesitan refrigeración externa y son capaces de procesar los residuos en un solo paso.

Los molinos finos ofrecen la posibilidad de procesar residuos de madera en fracciones de hasta 1mm con mínimas emisiones de polvo. Esto se logra a través del uso de martillos fijos, un ventilador y una rápida rotación que dan como resultado a su vez a fragmentos homogéneos. El producto obtenido se usa para la elaboración de biocombustibles, palets y productos derivados.

Los trituradores verticales distribuyen el material a través de una cinta transportadora o una mesa vibrante para que luego caigan hacia donde se encuentran los martillos giratorios, encargados de triturar y romper el material usando también un sistema de laberinto especial. Estas máquinas son muy ampliamente usadas en la fabricación de bioenergía y biomasa (Franssons, 2011).

Para la producción de biomasa, ésta se calienta en una cámara presurizada, en la que se restringe el oxígeno, convirtiendo los residuos de madera en monóxido de carbono y gases de hidrógeno. Luego el biogás es quemado, produciendo calor y vapor. Las calderas de vapor hacen funcionar una turbina que produce electricidad. La gasificación es mucho más eficiente que el consumo directo de energía, que consta en simplemente quemar los residuos de madera para obtener energía calorífica, pero que crean emisiones de dióxido de carbono entre otros gases.

Los sistemas de gasificación pueden ser tan pequeños como un semi-remolque o tan grandes como una fábrica de sistema de refinería (Esch, 2013).

En otro proceso para la elaboración de biocombustible, se usan las astillas de madera y palets de aproximadamente seis milímetros de diámetro y un centímetro y medio de largo. Las astillas se calientan en ausencia de oxígeno a alta temperatura, un proceso conocido como pirólisis. Hasta un tercio del peso en seco de la madera se convierte en carbón vegetal, mientras que el resto se convierte en un gas. La mayor parte de este gas se condensa en un bio-aceite líquido y es tratado químicamente. Cuando el proceso se completa, alrededor del 34 por ciento del bio-aceite (o de 15 a 17 por ciento del peso en seco de la madera) se puede utilizar para motores de potencia. Los investigadores están trabajando para mejorar el proceso de obtener más aceite de la madera.

El uso de biocombustibles también ofrece beneficios medioambientales. El biocombustible es casi neutro en carbono, lo que significa que no aumenta significativamente el dióxido de carbono que retiene el calor en la atmósfera (Science Daily, 2007).

También se está experimentando para saber si el carbón que se produce cuando se hace el biocombustible puede ser utilizado como fertilizante. Los investigadores son optimistas con respecto al tema, ya que en la mayoría de los tipos de suelo, el carbón mineral de carbono tiene efectos muy beneficiosos sobre la ecología del suelo, su productividad y su capacidad para mantener la fertilidad (Forsström, 2012).

En otro proceso que está aún en etapa de desarrollo, se pueden separar las moléculas de la celulosa que se encuentra en la madera para convertirlas en moléculas de azúcar. En este

método, se puede utilizar la madera en el comienzo del proceso. Es por eso que se puede decir que la madera se convierte directamente en azúcar.

Las moléculas de azúcar obtenidos al final del proceso se pueden utilizar de muchas maneras diferentes. Por ejemplo, pueden ser fermentados para producir etanol. Y debido a que los residuos de la madera pueden ser utilizados para producir bioetanol y el biodiesel, el nuevo método resulta tan viable como el uso de maíz u otros cultivos de alimentos para este tipo de producción (Burgermesiter, 2008).

Hasta el momento, romper los vínculos que mantienen a las moléculas de azúcar juntas en celulosa de las plantas y de madera ha sido muy difícil, y, como resultado, no han estado fácilmente disponibles para los biocombustibles. A temperatura ambiente y sin la adición de microorganismos, la celulosa tardaría millones de años en

descomponerse. La fuerza de estas cadenas de celulosa también quiere decir que los seres humanos no son capaces de digerir la fibra vegetal o de madera. Sólo algunos animales como las vacas tienen las bacterias necesarias para descomponer las cadenas de celulosa en moléculas de azúcar, así como convierten la hierba en alimentos y energía.

Así mismo, los métodos convencionales para la conversión de celulosa a azúcar han utilizado baños de ácido o altas temperaturas y presiones que requieren grandes cantidades de energía. Sin embargo, en este nuevo método primero se disuelve la celulosa en un líquido iónico de modo que las cadenas largas se dividen en cadenas más cortas (NCYT, 2012).

Mediante la adición de agua, las cadenas de celulosa más cortas a continuación, pueden ser filtradas a partir del disolvente iónico, que puede ser

reutilizado como un catalizador. Para romper las cadenas de glucosa que se han separado desde el disolvente iónico en moléculas de azúcar individuales, se requiere un paso adicional; un tratamiento con una enzima. El proceso de conversión de la celulosa en cadenas cada vez más cortas se llama despolimerización.

El nuevo método se presenta mientras investigadores en Alemania están intensificando sus esfuerzos para encontrar formas innovadoras de aprovechar las fuentes de bioenergía para hacer frente a las crecientes preocupaciones sobre la posibilidad de utilizar los cultivos de alimentos o las tierras agrícolas para biocombustibles, debido a su impacto en el precio de los alimentos y el medio ambiente (Burgermesiter, 2008).

Áreas de investigación adicionales buscan avances en la tecnología para convertir la madera en gas u otras formas de energía. El alza del precio

del petróleo y el gas ha hecho que la utilización de desechos de madera sea una opción cada vez más atractiva.

Por ejemplo, si se usaran trozos de madera procesada para generar el equivalente a 1.000 kilovatios- hora (kWh) en calor, costaría alrededor de €35 (EE.UU. \$44), en comparación con €75 y €85 (EE.UU. \$95 y \$107) si se usara gas natural o petróleo (Science Daily, 2007).

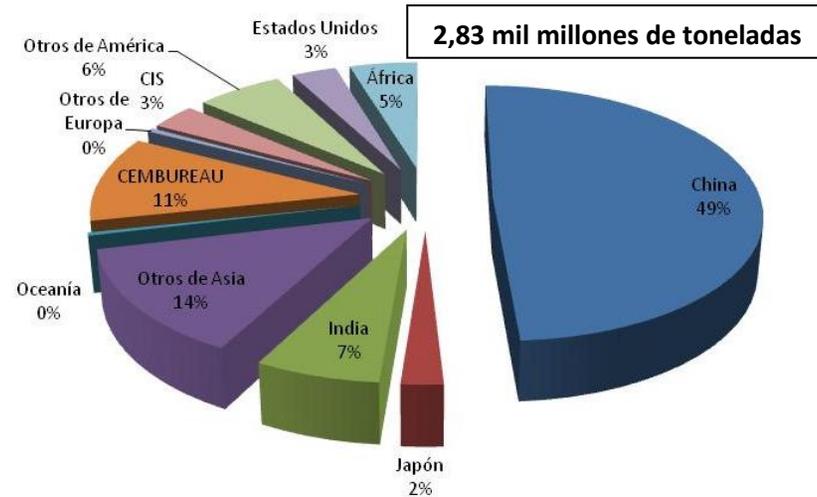
2.1.10 Reciclaje del hormigón

El hormigón es un material de construcción duradero que es también recuperable. Se estima que unas 25 mil millones de toneladas de hormigón se fabrican a nivel mundial cada año. Esto significa más de 1,7 mil millones de cargas de camiones cada año, o alrededor de 6,4 millones de camiones cargados al día, o más de 3,8 toneladas de hormigón por persona en el mundo cada año.

Alrededor del mundo se utiliza cerca del doble de hormigón de lo que se utiliza de todos los otros materiales de construcción, incluyendo madera, acero, plástico y aluminio.

Cerca de 1.300 millones de toneladas de residuos se generan en Europa cada año, de los cuales alrededor del 40%, o 510 millones de toneladas, es de los residuos de construcción y demolición. Estados Unidos produce alrededor de 325 millones de toneladas de residuos de construcción y demolición; y Japón, alrededor de 77 millones de toneladas. Teniendo en cuenta que China e India están produciendo más del 50% del concreto del mundo, su generación de residuos también será significativa conforme el desarrollo continúe (Klee, 2009).

Gráfico # 9: Producción de cemento por regiones y países principales.



Fuente: Elaboración propia a partir de (Sakai, 2011).

El reciclaje de hormigón se está convirtiendo en una forma cada vez más popular para crear agregados a partir de la demolición de estructuras o carreteras. Por lo general, estos escombros se arrojan en los basureros o vertederos, pero tomando en cuenta las preocupaciones ambientales, el reciclaje de hormigón permite la reutilización de los escombros y al mismo tiempo

mantener bajos los costos de construcción (Construction Materials Recycling Association (CMRA), 2013).

Debido a la flexibilidad y adaptabilidad del hormigón, si un edificio tiene que ser demolido, este puede proveer de una fuente potencialmente rica de árido reciclado para una gama de aplicaciones. Se calcula que el árido reciclado proveniente del hormigón de las demoliciones representó casi una quinta parte de la oferta de agregado en el Reino Unido en el 2001 (The Concrete Centre, 2013).

Muchos países tienen esquemas de reciclaje del concreto proveniente de la construcción y demolición donde tienen niveles muy altos de recuperación, como en los Países Bajos, Japón, Bélgica y Alemania. En algunos países los residuos de concreto suelen ser puestos en vertederos.

El reciclaje de hormigón es una industria bien establecida en muchos países y la mayor parte del concreto se puede triturar y ser reutilizado como agregado. La tecnología existente para el reciclaje por medio de trituración mecánica es fácilmente disponible y relativamente barata. Se puede usar tanto en países desarrollados como en los países en desarrollo. Con más investigación y desarrollo, el alcance de las aplicaciones para agregado reciclado se puede aumentar. Sin embargo, incluso con la tecnología actual, existe un aumento considerable en las tasas de recuperación que pueden ser alcanzadas en algunos países en los que hay mayor aceptación y reducción de las concepciones erróneas o desconocimiento de las posibilidades de uso de los agregados reciclados por parte del público (Klee, 2009).

El agregado limpio se mezcla y puede provenir de los centros de reciclaje o de fuentes tales como fundiciones, bordillos y cunetas,

caminos, carreteras, pistas de aeropuertos y más. En la última década, en Estados Unidos, tanto la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) como la Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales de Transporte (AASHTO) han aceptado el hormigón reciclado como una fuente de agregados en el concreto nuevo y se han establecido los estándares de calidad. Estas agencias están seguras de que el agregado de concreto reciclado puede ser de alta calidad.

El uso de concreto reciclado en la actualidad es de gran importancia ya que ofrece las siguientes ventajas:

- Es de alta calidad, ya que cumple o supera todas las especificaciones estatales y federales.
- Es una fuente aceptable de agregados en el concreto nuevo.

- Actualmente se utiliza en productos de hormigón y asfalto con un mejor rendimiento en comparación con los agregados vírgenes.
- Pesa de 10% a 15% menos en comparación a los productos de cantera vírgenes.
- Ofrece una manera de reducir los flujos de residuos a los vertederos.
- Ayuda a minimizar los impactos ambientales en un entorno urbano (Construction Materials Recycling Association (CMRA), 2013).

El método más común para el reciclaje de hormigón implica trituración. Clasificadoras y trituradoras móviles son a menudo instalados en las construcciones para permitir el procesamiento en el sitio. En otras situaciones, se instalan plantas de procesamiento que suelen ser capaces de producir material reciclado de mayor calidad, las cuales son

usadas por grandes contratistas, con grandes volúmenes de material reciclado. A veces, las máquinas incorporan cuchillas de aire para eliminar los materiales más ligeros como la madera, selladores de juntas y plásticos. Se usan imanes y procesos mecánicos para extraer el acero, el cual también es reciclado (Klee, 2009).

Figura # 5: Máquina móvil trituradora de hormigón.



Fuente: (Minera trituradora y molino, 2010).

Incluso, el mismo equipo básico usado para procesar agregado virgen, también puede ser utilizado para triturar, separa por tamaño y almacenar el concreto reciclado, aunque algunas modificaciones en los equipos pueden llegar a permitir mayor eficiencia en el procesamiento de la mayoría del concreto reciclado.

Existen tres tipos de trituradoras usadas para el reciclaje del concreto: las de diseño de tenaza, cono e impacto, las cuales difieren en la forma en la que trituran el concreto. Estas trituradoras son capaces de producir cualquier gradación deseada (ACPA, 2010).

Figura # 6: Trituradora de hormigón. Diseño de tenaza.



Fuente: (Seyse Hidráulica S.L., 2013).

Figura # 7: Trituradora de hormigón. Diseño de cono.



Fuente: (XSM Mining and Construction, 2012).

Figura # 8: Trituradora de hormigón. Diseño de impacto.



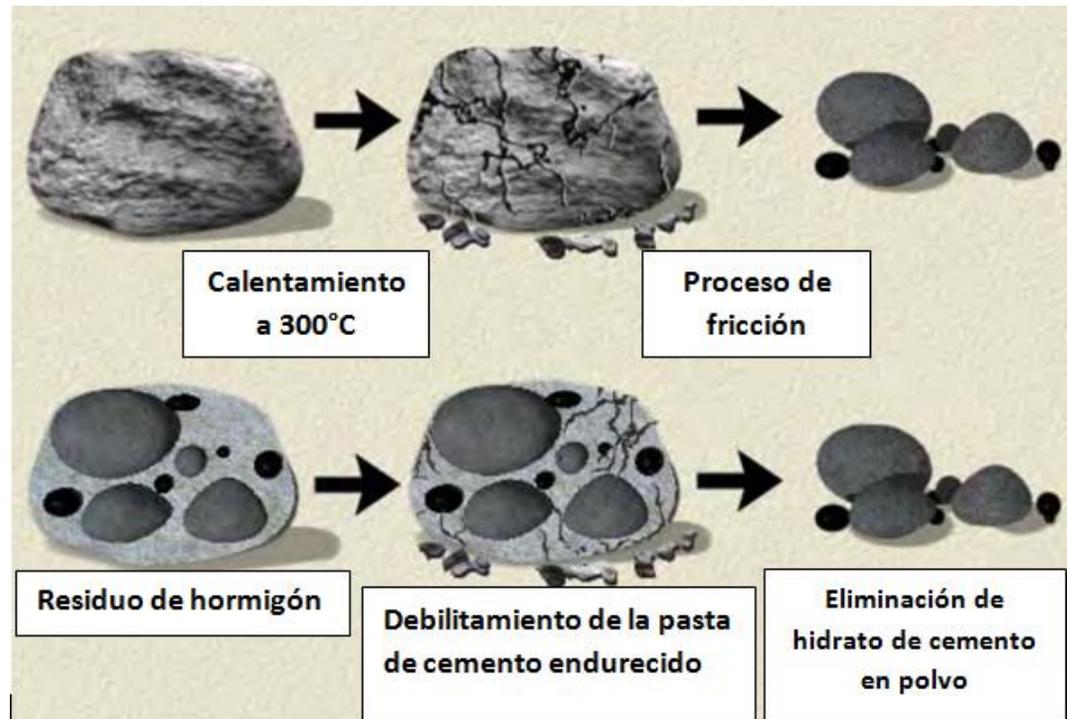
Fuente: (Liming Heavy Industry, 2007).

Otro de los métodos que se utilizan para producir agregados de alta calidad a partir del hormigón reciclado es el de “calentamiento y fricción”. En este proceso, el concreto de desecho, es calentado a aproximadamente 300°C y la masa de cemento se hace frágil por la deshidratación. Para eliminar la masa de cemento de la superficie del agregado, se frota el hormigón caliente en un molino. Si los agregados se calientan hasta los

500°C, sus cualidades no se deterioran. Esto se comprobó mediante un examen en los cambios en

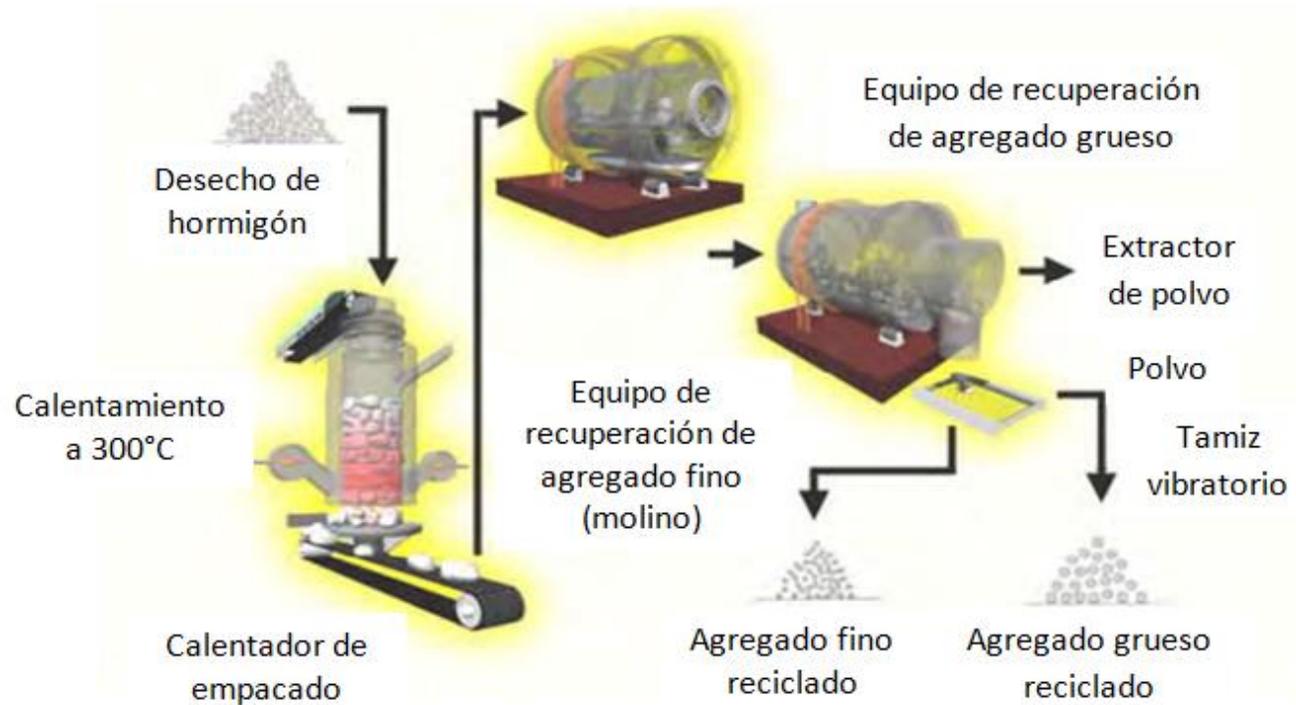
la densidad y la absorción, entre otros (Mishra, 2012).

Figura # 9: Calentamiento del concreto desechado.



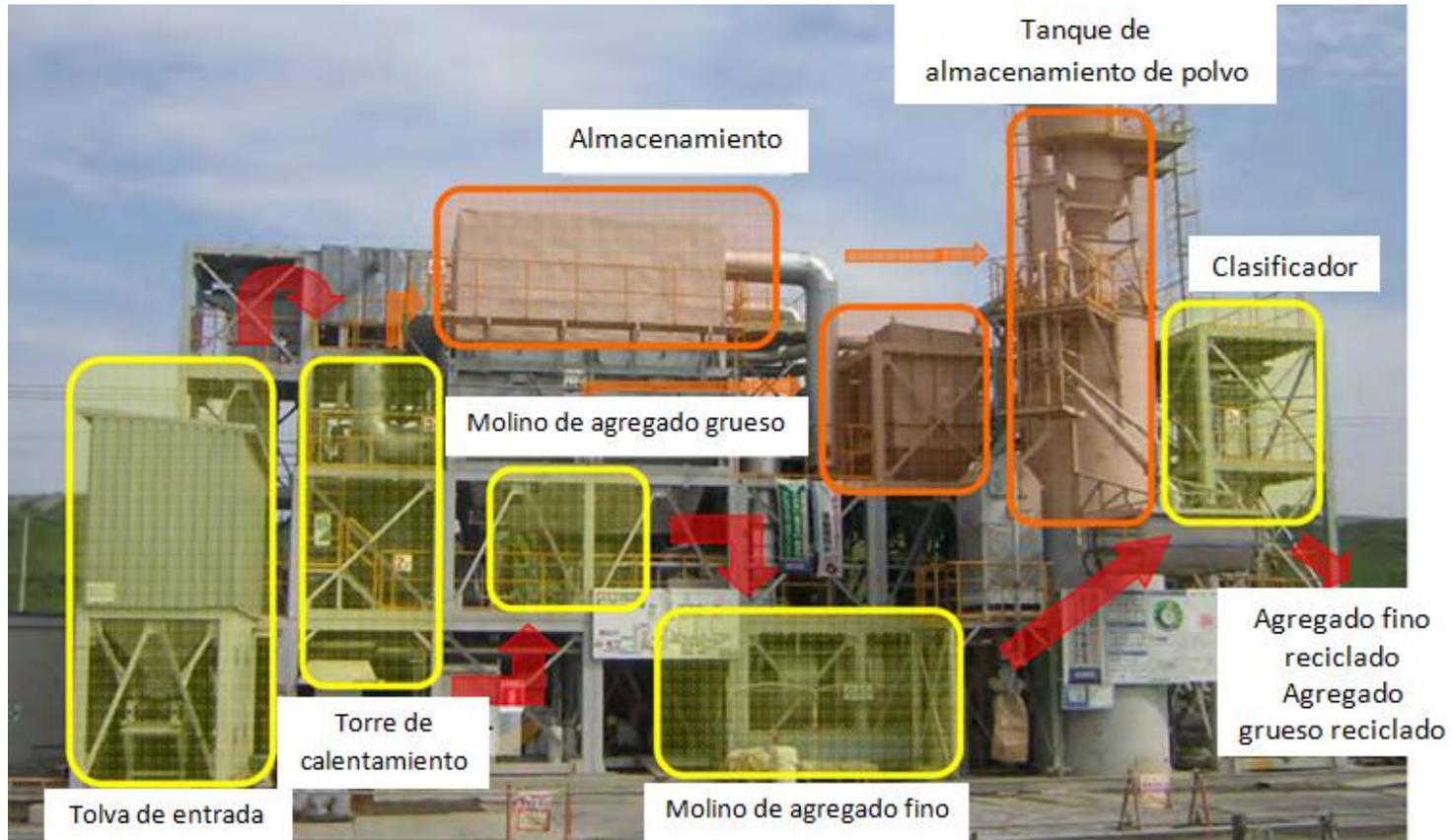
Fuente: (Sakai, 2011).

Figura # 10: Método de calentamiento y fricción.



Fuente: (Sakai, 2011).

Figura # 11: Planta de método de calentamiento y fricción.



Fuente: (Sakai, 2011).

El costo de envío de este tipo de residuos desde una obra en construcción a vertederos,

puede ser mayor que el costo de clasificación y venta de residuos de hormigón a un centro de reciclaje (o incluso el pago de una tarifa por

recolección), en especial cuando existen cobros por depositar desechos en los vertederos, como en algunos estados de Estados Unidos. El costo de la utilización de materiales reciclados en una nueva construcción del mismo sitio también puede ser inferior a la de los nuevos materiales.

Los costos de la maquinaria de reciclaje y procesamiento pueden aumentar dependiendo de los métodos de reciclado utilizados y de si el material debe ser clasificado y separado de otros materiales. Sin embargo, algunos estados de Estados Unidos, han estimado un ahorro de hasta el 50% y 60% al usar agregados reciclados en comparación al agregado virgen. El reciclaje es menos costoso que el desalojo en Alemania, Holanda y Dinamarca (Klee, 2009).

2.1.11 Reciclaje del acero estructural y del acero de refuerzo

El acero es el material que más se recicla en el planeta, más que todos los otros materiales combinados. El acero mantiene una tasa global de reciclado muy alta, la cual en 2012, se situó en el 88% (Steel Works, 2013).

El acero es el material más reciclado en América del Norte. Esto se debe a que la chatarra de acero es una materia prima esencial en la fabricación de acero nuevo (Steel Recycling Institute, 2011).

La industria del acero ha reciclado por más de 150 años. La mayor fuente de materia prima de la industria del acero es chatarra, la cual se obtiene comúnmente mediante el reciclaje. El reciclaje del acero ahorra 75% de la energía que se utiliza para crear acero nuevo de las materias primas, lo

suficiente como para proveer energía a 18 millones de hogares.

Más del 65% del acero producido en Estados Unidos se recicla en acero nuevo cada año. Una tonelada de acero reciclado ahorra 2.500 libras de mineral de hierro, 1.400 libras de carbón, 120 libras de piedra caliza y 40% de agua (Earth911, 2013).

El uso de acero reciclado evita un 80% de las emisiones de CO₂ y el 75% de la energía necesaria para producir acero a partir de materiales vírgenes, además desde 1990, la industria del acero en general ha reducido los gases de efecto invernadero en un 33%, CO₂ en un 35% y ha mejorado la eficiencia energética en un 30% (Steel Recycling Facts, 2010)

El acero es un material que se puede reciclar en un 100% debido a su nobleza, de forma indefinida y sin perder sus propiedades o calidad,

por lo que el acero reciclado puede ser usado para la fabricación de vigas para la construcción, partes de electrodomésticos, vehículos o cualquier otro producto que usemos a diario (Investigación Ekos, 2011).

La eficiencia con la que se recicla un material se puede medir ya sea por su porcentaje de contenido reciclado o su tasa de recuperación. El porcentaje de contenido reciclado es una medida de cuánto material reciclado contiene un material. El acero es un material excepcional por ambas mediciones. En la industria de la construcción, el reciente interés en el reciclaje ha sido impulsado por el sistema de calificación LEED (Leadership in Energy and Environmental Design). El sistema de calificación LEED sólo promueve el uso de materiales con altos niveles de contenido reciclado (Steel Recycling Institute, 2009)

Para procesar la chatarra en una forma y composición química física que la acería y los hornos puedan consumir se usa una variedad de equipos. El tipo y tamaño de equipo que se utiliza depende del tipo y volumen de desechos disponibles en la zona y de los requerimientos de los clientes de las empresas recicladoras. La pieza de equipo más grande y más cara es la trituradora. La trituradora puede fragmentar vehículos así como otros tipos de acero desechado y transformarlos en trozos del tamaño de un puño de diversos metales, vidrio, caucho y plástico. Estos materiales son separados a través del uso de ventiladores, imanes, conductos de aire, manualmente y con equipo de flotación. Cizallas hidráulicas con cuchillos de corte de aleación de cromo, níquel y molibdeno permiten cortar piezas pesadas de chapa naval, trenes y el acero estructural en piezas compactas. Las prensas de empaquetado se utilizan para compactar la chatarra en paquetes manejables, reduciendo así el volumen de chatarra y los gastos de transporte.

Posterior a este proceso de selección, las acerías funden la chatarra en hornos de oxígeno básico, hornos de arco eléctrico y en menor medida, en altos hornos. La proporción de chatarra que puede procesar un horno de oxígeno básico está limitada a menos del 30%, mientras que en un horno eléctrico de arco o un alto horno se puede procesar hasta el 100% (Fenton, 1999).

Figura # 12: Fundición de acero reciclado.



Fuente: (Fernández, 2013).

Ecuador ahorra \$200 millones anuales gracias al reciclaje de chatarra realizado por la Acería del Ecuador C.A. (ADELCA) (El Telégrafo, 2013).

Gracias a la eliminación de la importación de materia prima el país retiene divisas por \$120 millones, además de generar fuentes de empleo directo e indirecto, beneficiando a cerca de 7.000 familias que se dedican principalmente a la recolección primaria, almacenamiento y transporte de desechos de acero o chatarra (Investigación Ekos, 2011).

2.1.12 Reciclaje de la cerámica

Los productos cerámicos son productos de desecho comunes de la construcción y la industria de la demolición. Al reciclar o reutilizar estas cerámicas, grandes cantidades de residuos se desvían de los vertederos y ayuda a reducir la demanda de recursos naturales. La producción de cerámica puede ocasionar emisiones intensivas e implica el uso de una serie de sustancias tóxicas como esmaltes, pero el reciclaje o la reutilización de los productos de cerámica puede disminuir estas emisiones. Cuando la cerámica se recicla puede convertirse en productos útiles, tales como materiales de drenaje, base de piedra para las calzadas y caminos o material como compuesto de áridos. La cerámica es clasificada y luego aplastada. El grado de trituración dependerá de su uso final.

Muchas plantas de reciclado que aceptan ladrillos y concreto también aceptan la cerámica. Para medianas y grandes cantidades de baldosas cerámicas limpias, existen servicios de reutilización que compran para su reventa o uso en otros proyectos (Business Recycling, 2012).

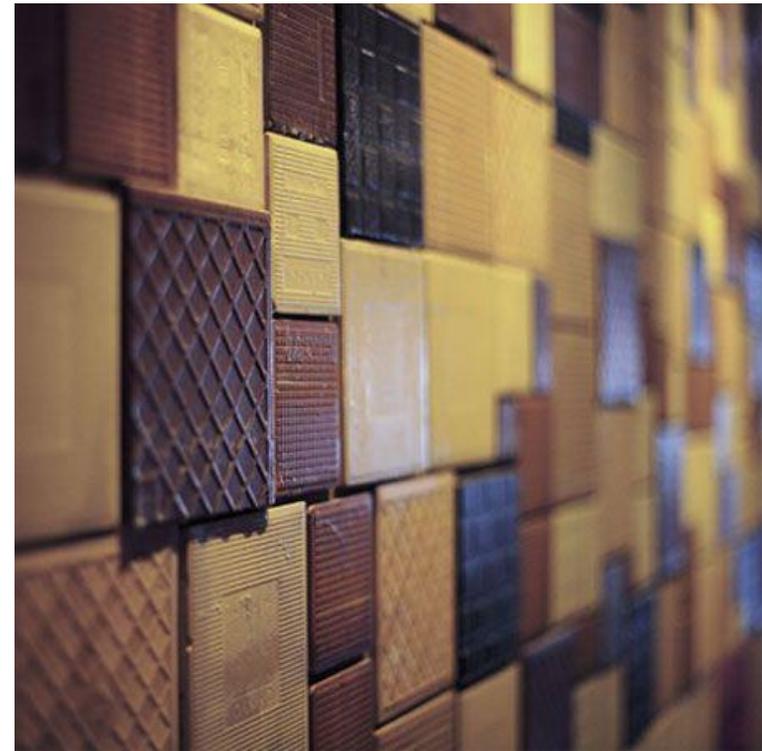
La cerámica usada en la construcción incluyen revestimientos cerámicos, baldosas de pizarra, vidrio, mármol, piedra, porcelana de paredes y suelos. La cantidad de desperdicios de cerámica durante la instalación es de alrededor de 8% a 10% para los revestimientos de piso y paredes. Las principales causas de desperdicio son los cortes, roturas y exceso de material por fallas en cálculos de cantidades.

Este tipo de materiales son rara vez recuperados debido a los plazos cortos para la planificación y la realización de los trabajos de construcción o demolición, sin embargo se pueden

hacer cambios simples pero eficaces a las operaciones del sitio de trabajo para permitir que más cerámica pueda ser reciclada a través de una mejor planificación de los períodos de construcción o demolición, capacitación en el manejo de recuperación de materiales y mejora de los procedimientos de transporte (Northern Ireland Business Info, 2011).

En ciudades como Londres, se están reacondicionando paredes interiores deterioradas por la humedad con cerámica reciclada, llenándolas de matices y texturas, que se pueden diseñar de acuerdo a cada cliente. Las paredes con este tipo de recubrimientos ofrecen protección contra la humedad y grasa en las paredes, además de que brindan un toque de elegancia. Para el diseño se pueden usar cerámicas de diferentes tamaños, colores y texturas, además de que la pared se puede remodelar las veces que el usuario lo desee (ARQHYS, 2010).

Figura # 13: Pared recubierta con cerámica reciclada.



Fuente: (ARQHYS, 2010).

2.2 Marco legal

De acuerdo al Código de Salud, Decreto Supremo 188, Registro Oficial 158 de 8 de Febrero de 1971, se dispone lo siguiente:

CAPITULO V

De la Recolección y Disposición de Basuras

Art. 31.- Las basuras deben ser recolectadas y eliminadas sanitariamente.

Toda persona está obligada a mantener el aseo de las ciudades, pueblos, comunidades y domicilios en los que vive, estando impedida de botar basuras en los lugares no autorizados o permitir que se acumulen en patios, predios o viviendas.

Toda unidad de vivienda debe contar con un recipiente higiénico para el depósito de la basura, de acuerdo con el diseño aprobado.

Art. 32.- Las municipalidades están en la obligación de realizar la recolección y disposición final de basuras, de acuerdo con métodos técnicos.

Art. 33.- En los lugares en donde existen servicios de recolección y disposición final de basuras, los habitantes deben hacer uso obligatorio de ellos; y donde no existieren los particulares utilizarán sistemas adecuados de eliminación de basuras.

Art. 34.- Las personas que, de los sitios de disposición final de basuras, deseen recuperar materiales útiles para la industrialización, deben obtener permiso previo de la autoridad de salud.

Art. 35.- Corresponde al propietario de un inmueble o a la persona responsable de la ocupación de una vía o sitio público, la remoción o destrucción de chatarra, escombros, objetos inservibles, o cualquier amontonamiento de materiales indeseables.

Art. 36.- Queda terminantemente prohibido emplear a menores de edad, en la recolección, eliminación o industrialización de basuras.

2.3 Sistema de hipótesis y variables

2.3.1 Hipótesis

El reciclaje y/o reutilización del hormigón asfáltico, hormigón, madera, acero estructural, acero de refuerzo y cerámica, provenientes de residuos de la construcción, es técnica y económicamente factible en Guayaquil y en la Vía a Samborondón.

2.3.1 Variables

- Costos de desechar los residuos de la construcción.
- Costos de reciclar y/o reutilizar los residuos de la construcción.
- Ingresos de reciclar y/o reutilizar los residuos de la construcción.

2.4 Marco conceptual

- Acero: aleación de hierro y carbono.
- Asfalto: material aglomerante usado en mezclas asfálticas para carreteras o vías, de color negro y de consistencia viscosa y pegajosa.

- Biocombustible: combustible derivado de biomasa.
- Biomasa: uso de materiales orgánicos para producir energía.
- Capa ligante: capa que proporciona elasticidad y resistencia estructural a un pavimento.
- Cerámica: material inorgánico compuesto, de naturaleza normalmente cristalina, modelado a partir de arcilla y cocida en hornos.
- Demolición: deshacer o derribar algo.
- Desalojo: material que se abandona en un lugar.
- Desecho: material que se considera de poco valor como para conservarlo.
- Desperdicio: residuo que no se puede o es difícil de aprovechar o se deja de usar por descuido.
- Escarificar: romper o rasgar una superficie con el fin de prepararla para otra tarea.
- Escombro: desecho que sobra de albañilería en una construcción o desecho de demolición.
- Fresadora: máquina de diversos tipos que usa herramientas rotativas con filos de corte de acero para el arranque de viruta y que es capaz de procesar diversos materiales como madera, hormigón asfáltico, acero, entre otros.
- Hormigón: producto que resulta de la mezcla de áridos como arena y piedra, cemento u otros aglomerantes y agua.

- Hormigón asfáltico: mezcla de un agregado de asfalto y materiales minerales que se extienden en capas para su posterior compactación.
- LEED: sistema de certificación de edificios sostenibles (Leadership in Energy & Environmental Design - Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental).
- Materia prima: elemento extraído de la naturaleza que se usa para elaborar bienes de consumo.
- Palet: armazón de madera, plástico u otros materiales empleado en el movimiento de carga, ya que facilita el levantamiento y manejo con pequeñas grúas hidráulicas.
- Pavimento: capa hecha con la mezcla de uno o más materiales colocada sobre terreno natural o terreno nivelado para mejorar su resistencia y permitir la circulación de vehículos o personas.
- Reciclaje: procesar un material usado para poder usarlo nuevamente.
- Relleno sanitario: lugar en el que se disponen desechos o basura y en el que se manejan ciertos métodos de tratamiento de los mismos.
- Residuo: sobrante de una actividad.
- Reutilización: volver a usar un producto ya sea para el mismo fin con el que se usaba o uno diferente.
- Rotomartillo hidráulico: maquinaria en forma de punta que transforma la energía hidráulica en impactos mecánicos.

-
- Sostenibilidad: desarrollo de un proceso sin que éste comprometa o afecte las posibilidades y recursos de las generaciones futuras.
 - Trituradora: máquina que procesa ciertos materiales convirtiéndolos en trozos más pequeños, mediante el uso de la fuerza.
 - Vertedero: espacio donde se depositan escombros o basura.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1.1 Novedad de la investigación

La presente investigación pretende mostrar resultados de lo que podría ser la actividad del reciclaje y la reutilización en el sector de la construcción en la ciudad de Guayaquil y en la Vía a Samborondón, en donde en la actualidad son pocos los materiales sobrantes de la construcción que se reciclan y/o se reutilizan.

3.1.2 Diseño de investigación

El presente trabajo de investigación se basará en un diseño explicativo a través de una

investigación cuantitativa, ya que busca identificar cuáles son las causas y los efectos de la actividad del reciclaje, así como identificar su factibilidad económica mediante la presentación de cuadros comparativos y determinar si se podría implementar en la ciudad de Guayaquil y la Vía a Samborondón.

3.1.3 Alcance de la investigación

El problema presentado en éste trabajo tiene sus bases en los procesos de construcción y los desechos producidos durante los mismos, y se enfoca en la posibilidad de reciclar y/o reutilizar algunos de esos desechos de la construcción constituidos por hormigón asfáltico, madera, acero de refuerzo, acero estructural, hormigón y cerámica en la ciudad de Guayaquil y la Vía a Samborondón.

CAPÍTULO IV

PROCESAMIENTO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA INVESTIGACIÓN

Dado que los únicos materiales de construcción que se reciclan en la ciudad de Guayaquil y en la Vía a Samborondón son el hormigón asfáltico, el acero estructural y el acero de refuerzo, es necesario desarrollar un plan para la inclusión del reciclaje dentro de la actividad de la construcción, de la que también formen parte la madera, el hormigón y la cerámica.

Incluso sería necesario desarrollar un plan para poder reducir la cantidad de desechos producidos por demolición, a través de propuestas de mejores diseños, mejor administración y mejores procesos constructivos.

Se debe tener en cuenta que los desperdicios se pueden producir no sólo durante los procesos constructivos, sino también en el transporte y almacenamiento de los materiales, por lo que una buena forma de reducir los desperdicios, es a través de un buen manejo de los materiales durante el transporte, así como en las etapas de construcción y almacenamiento.

4.1 Hormigón asfáltico

Como ya sabemos, en nuestro país cada vez está adquiriendo más popularidad el reciclaje del hormigón asfáltico mediante el método RAP (Reclaimed Asphalt Paviment). A través de este procedimiento, mientras la fresadora va cortando, a escasos 45 o 60 metros puede ir trabajando una máquina pavimentadora, teniendo espacio suficiente para llevar mezcla caliente a la misma.

Mediante este procedimiento, en nuestro país se logra ahorrar hasta un 25% en los costos del proyecto, ya que sólo es necesario usar del 1 al 3% de nuevo asfalto (OSP ASFALTOS, 2012).

El asfalto producido en Ecuador tiene un precio de 31 centavos por kilo, lo que equivale a \$310 por tonelada, sin embargo al ser subsidiado por el Estado, su costo es de \$160 por tonelada. Con el uso del procedimiento de reciclaje RAP el ahorro en asfalto nuevo equivaldría entre \$155 y \$158 por tonelada (Explored, 2004).

Tabla # 9: Costo actual de fresado de carril completo.

25,4 mm	COSTO/HORA	US\$388,00
	m/min	22,9
	PRODUCCION (m ² /h)	4354
	PRODUCCION (t/h)	260
	COSTO/m ²	US\$ 0,09
	COSTO/t	US\$ 1,49
50,8 mm	COSTO/HORA	US\$388,00
	m/min	12,2
	PRODUCCION (m ² /h)	2322
	PRODUCCION (t/h)	278
	COSTO/m ²	US\$ 0,17
	COSTO/t	US\$ 1,40
76,2 mm	COSTO/HORA	US\$388,00
	m/min	8,5
	PRODUCCION (m ² /h)	1625
	PRODUCCION (t/h)	291
	COSTO/m ²	US\$ 0,24
	COSTO/t	US\$ 1,33
101,6 mm	COSTO/HORA	US\$388,00
	m/min	7,6
	PRODUCCION (m ² /h)	1451
	PRODUCCION (t/h)	347
	COSTO/m ²	US\$ 0,27
	COSTO/t	US\$ 1,12

Incluye mano de obra y agregado abrasivo (granito).

Fuente: (Brock, 2006).

El costo de fresado promedio, basado en el uso de un equipo fresador de carril completo Roadtec RX-70 funcionando 750 horas al año y considerando la mano de obra, es de \$1,34 por

tonelada, lo cual prácticamente no afecta al ahorro significativo en asfalto que se obtiene al reciclar el material fresado (Brock, 2006).

Sin embargo, algo que también se podría plantear, sería el uso de plantas dosificadoras y plantas mezcladoras de tambor, las cuales son capaces de producir mezclas de alta calidad usando pavimento asfáltico reciclado.

Nuestro país durante el gobierno actual ha tenido un gran desarrollo vial, contemplándose la reconstrucción de 1.286 kilómetros de autopistas de hormigón asfáltico hasta el 2014 (Aguilar S. , 2012).

En dicha reconstrucción se considera reemplazar el hormigón asfáltico por hormigón hidráulico, por lo cual habrá grandes cantidades de pavimento asfáltico que deberá retirarse. Esto significa 1.286 kilómetros de pavimento de hormigón asfáltico que se podría reciclar mediante

plantas dosificadoras y plantas mezcladoras de tambor alrededor de todo el país.

Las plantas dosificadoras tienen volúmenes variables de almacenamiento en las tolvas calientes. Allí se mezcla el material reciclado con el material virgen y se lleva a la parte superior de la torre, ofreciendo flexibilidad para poder procesar hasta el 40% de material reciclado (ASTECC, 2013).

Existen plantas dosificadoras de asfalto como la Magnum 120 de la empresa Terex con sistema de reciclado, que ofrece una producción de 192.000 toneladas anuales, y que cumple con los estándares de emisiones de la Agencia de Protección ambiental de Estados Unidos EPA (US Environmental Protection Agency) (TEREX, 2011).

Tabla # 10: Producción anual de asfalto de una planta dosificadora Magnum 120.

MAGNUM 120					
TON/ HORA	HORAS/ DÍA	DÍAS/ SEMANA	SEMANAS/ MES	MESES	TOTAL TON/ ANUAL
120	8	5	4	10	192.000

Fuente: Elaboración propia a partir de (TEREX, 2011).

Si se usara asfalto virgen (\$160/ton) para procesar las 192.000 toneladas que puede producir la Magnum 120, significaría un gasto de \$30'720.000.

Por otra parte, si se usa hasta un 40% de material reciclado que puede procesar la Magnum 120, tenemos que de las 192.000 toneladas, un 60% es material virgen (115.200 ton) y el 40% restante es reciclado (76.800 ton).

Las 115.200 ton de material virgen a \$160/ton costarían \$18'432.000, mientras que las 76.800 ton de material reciclado costarían \$268.800 (calculado a \$3,50/ton). Esto quiere decir que si usamos hasta un 40% de material reciclado habrá un gasto de \$18'700.800 contra los \$30'720.000 que representan usar material virgen en un 100%. Por lo tanto, el uso de material reciclado produce un ahorro de \$12'019.200 anuales.

Sin embargo, se debe dedicar parte del tiempo de producción al fresado para de manera obtener el material reciclado. Por lo que obtenemos las siguientes cifras:

Gráfico # 10: Tiempo empleado para producción de asfalto.



Fuente: Elaboración propia.

Como resultado tenemos un subtotal de \$18'611.221, pero debemos tener en cuenta que tanto la máquina como el fresado tienen un costo.

	Material virgen	Material reciclado
AHORRO =	\$30'720.000	- \$18'611.221
=	\$12'108.779	
-	\$ 900.000	Costo de máquina
	<u>\$11'208.779</u>	
-	\$ 68.616	Costo de fresado
	<u>\$11'139.963</u>	AHORRO ANUAL

Para el costo de fresado se consideró un precio de \$1,34/ton suponiendo 51.206 toneladas anuales, es decir la misma cantidad para procesar material reciclado, ya que en el fresado se ocupa menos tiempo que en el proceso de producción.

Consideremos ahora los 1.286 kilómetros de vías a ser reconstruidas, de 8 metros de ancho y 2 pulgadas de espesor como mínimo:

$$1.286 \text{ km} \times \frac{1.000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \times 8 \text{ m (vía)} \times 0,05 \text{ m (espesor)} = 514.400 \text{ m}^3$$

Peso del asfalto = 2,20 ton/m³

$$514.400 \text{ m}^3 \times 2,20 \text{ ton/m}^3 = 1'131.680 \text{ ton}$$

De acuerdo a los cálculos es claramente viable el uso de la Magnum 120 para la recuperación de 1'131.680 toneladas de pavimento asfáltico y usarlo para el consumo interno en zonas urbanas y rurales del Ecuador.

Figura # 14: Planta de asfalto Terex modelo Magnum 120.



Fuente: (TEREX, 2011).

4.2 Madera

En la construcción, la madera es usada para la fabricación de encofrados para elementos estructurales y no estructurales principalmente. Tablas, cuarterones y tiras son usadas para este propósito. Dependiendo del tipo de madera usada, la misma tiene la capacidad de poderse reutilizar cierto número de veces antes de ya no ser apta para cierta tarea. Después de eso es desechada y enviada a los vertederos.

Figura # 15: Desechos de madera en botadero de Villa Club.



Fuente: Elaboración propia.

De igual manera, los palets son desechados si ya no son necesarios en determinado momento, a pesar de que aún se encuentren en buenas condiciones, ya que por lo general con cada llegada de nuevo material, como cemento o cerámica, llegan palets nuevos.

Figura # 16: Palets desechados en botadero de Villa Club.



Fuente: Elaboración propia.

La madera usada para encofrados puede ser separada para su posterior trituración y uso en la fabricación de tableros aglomerados.

En el medio se pueden adquirir tableros aglomerados desde los 9mm hasta los 35mm de espesor a precios que varían desde los \$8,95 a

\$15,65 el metro cuadrado (Aglomerados Cotopaxi, 2013).

Si se reciclara la madera usada en la construcción, que en la actualidad termina en botaderos, los costos de producción de los tableros aglomerados se podrían reducir hasta en un 30%, con ventajas económicas positivas tanto para los productores como para el consumidor final.

Por otro lado, con respecto a los palets, se los puede recoger de los botaderos o directamente de las obras, indicando que los que ya no usen serán retirados de la construcción sin cargo alguno para luego clasificarlos por tamaños.

La idea es crear un *stock* de palets y reparar los que estén dañados justamente con ese mismo stock. La mayoría de los palets son hechos de madera dura como el laurel o pino, la cual al ser tratada puede ser incluso más dura de clavar, sin

embargo el problema puede ser resuelto perforando un pequeño agujero que sirva como guía para el clavo. De esta manera se pueden reparar palets dañados y venderlos a un precio menor que el de los nuevos dependiendo de su tamaño y condición.

Lo mejor de la reutilización de los palets, es que no se necesita de una gran inversión. Con tan solo una camioneta, un par de guantes, un martillo, un taladro eléctrico y algunos clavos basta. Además muchos palets no necesitarán ni siquiera de reparación.

Sin embargo, esta no es la única forma de reutilizar palets. *Red Burgeuer*, un restaurante especializado en hamburguesas gourmet ubicado en el centro-norte de Quito, aprovechó estos palets para hacer sus mesas y decoración, basados en un concepto ecológico y renovable (Revista Líderes, 2013).

Figura # 17: Mesas hechas con palets en local Red Burgeuer en Quito.



Fuente: (Revista Líderes, 2013).

De igual manera, al igual que muchos otros negocios, la marca *Lee* en sus locales de Quito ha apostado por complementar su decoración con piezas de palets distribuidas a lo largo de sus tiendas de forma estratégica (El Comercio, 2013).

Figura #18: Palets usados como decoración en local de Lee en Quito.



Fuente: (El Comercio, 2013).

Así mismo, para crear estos objetos decorativos y funcionales no se necesita de una gran inversión, sólo un poco de sellador, laca, pintura y algo de creatividad. Además es muy bien visto por el público.

De acuerdo a *Tropical Pallets*, cada palet nuevo de 100x120cm tiene un precio de \$9,52 en

promedio, mientras que uno reciclado puede costar en promedio \$3,80. Esto significa un ahorro del casi 40% para el consumidor.

4.3 Hormigón

En nuestra ciudad, aproximadamente hace 40 años se realizó la construcción del edificio del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), que se encuentra en la Av. Quito y Padre Solano.

Este edificio se comenzó a demoler desde el 1 de octubre del 2013, debido a que presentaba problemas estructurales. Con un espacio físico de 3.721 m² en un área de construcción de 20.567 m², el edificio se está demoliendo mediante un método mecánico en dos fases. La primera consta de la demolición del auditorio, mientras que en la segunda fase se demolerá el área del edificio. El hormigón producto de la demolición será triturado para transformarlo en material fino y transportado para su procesamiento (CIMIENTOS, 2013).

Figura # 19: Edificio MAGAP.



Fuente: (Metro Ecuador, 2013).

El uso de hormigón reciclado podría reducir los costos de pavimentación de carreteras en un 10 a 20%, además de reducir la extracción de recursos naturales como la piedra caliza.

El hormigón reciclado también se puede utilizar para hacer adoquines de hormigón. En general, materiales como la piedra caliza se extraen

de una cantera local, pero este proceso puede resultar más difícil en áreas sin tales recursos. El uso de hormigón reciclado triturado en sitio permitiría a las empresas de construcción mezclar pavimento de concreto, sin tener en cuenta la proximidad de las canteras (Zimmer, 2011).

En la actualidad existen mini trituradoras de hormigón que se utilizan directamente en la obra pero que también pueden ser empleadas para la trituración de material almacenado previamente.

Estas mini trituradoras, como la LEM 60-40, tienen una producción de entre 15 y 30 ton/h, a un precio de mercado de \$198.212 (Compact concrete crushers, 2008).

Si tomamos en cuenta que el edificio MAGAP tiene un plazo de demolición de 240 días, tenemos la siguiente información:

Tabla # 11: Producción de mini trituradora LEM 60-40 durante demolición del edificio MAGAP.

LEM 60-40			
TON/HORA	HORAS/DÍA	DÍAS	TOTAL TON
22	8	240	42.240,00

Fuente: Elaboración propia.

El precio de la piedra $\frac{3}{4}$ es de aproximadamente \$90 y el de la piedra chispa de \$100 por 6 m³, es decir en promedio \$95. Este tipo de agregado tiene un peso de 1,90 ton/m³, por lo tanto en 6 m³ tenemos 11,40 ton de material equivalente a \$8,33/ton. Si multiplicamos esta cantidad por las toneladas de material producidas por la máquina (42.240,00), obtenemos un beneficio de \$351,859.20 en 240 días. Sin embargo, debemos incorporar el uso de una retroexcavadora para alimentar a la mini trituradora, cuyo valor de alquiler diario es de \$240 o \$57.600 en el plazo estipulado de demolición. Finalmente, se debe tener en cuenta que si se llegase a vender el material reciclado, éste debería representar un ahorro

económico para el consumidor, por lo que se establecería un precio de venta 20% menor al del agregado virgen.

Tabla # 12: Beneficio económico por venta de agregado reciclado con mini trituradora LEM 60-40.

Precio de venta de agregado reciclado (\$)	Producción (ton)	Alquiler de excavadora (\$)	Precio de LEM 60-40 (\$)	Beneficio (\$)
6,66	42.240,00	57.600,00	198.212,00	25.506,40

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, si se usara el hormigón reciclado del edificio del MAGAP para la venta, no sólo se amortizaría el costo de la mini trituradora, sino que se obtendría un beneficio de \$25.506,40 en tan sólo 240 días.

Cabe recalcar que esta mini trituradora también es capaz de procesar hormigón armado y separar el acero del hormigón.

Figura # 20: Mini trituradora LEM 60-40.



Fuente: (Compact concrete crushers, 2008).

Sin embargo, como se pudo confirmar a través de una visita al sitio de demolición, no se

planea reciclar este material. El procedimiento que se está siguiendo, es el de separar el acero de refuerzo del hormigón mediante el uso de rotomartillos hidráulicos adaptados a retroexcavadoras y usar una parte de los residuos de hormigón para rellenar los pisos subterráneos del edificio, mientras que el resto será usado para rellenos.

Por otro lado, el acero separado es vendido a la acería ANDEC, lo cual representa un ingreso exclusivamente para la empresa encargada de la demolición.

Figura # 21: Uso de rotomartillos hidráulicos para la separación del acero de refuerzo del hormigón en el edificio del MAGAP.



Fuente: Elaboración propia.

La ventaja evidente de las trituradoras o mini trituradoras, es que permiten obtener una piedra triturada de la medida deseada, como la chispa o $\frac{3}{4}$,

algo que los rotomartillos hidráulicos no pueden hacer.

La implementación y uso de trituradoras se debe analizar a profundidad, ya que en nuestra ciudad existen varios ejemplos de estructuras o edificios que se podrían llegar a demoler y sus restos podrían ser reciclados, tal como el casino que se iba a construir junto al IMAX en el Malecón 2000, la estructura abandonada detrás del hotel Hilton Colón en la ciudadela Kennedy Norte o las denominadas “Casas Colectivas” ubicadas entre las calles Gómez Rendón, Calicuchima, avenida del Ejército y José Mascote, en evidente estado de deterioro.

Figura # 22: Estructura abandonada junto al IMAX en el Malecón 2000.



Fuente: Elaboración propia.

Figura # 23: Estructura abandonada cerca del hotel Hilton Colón en la ciudadela Kennedy Norte.



Fuente: Elaboración propia.

Figura # 24: Casas colectivas.



Fuente: Elaboración propia.

4.4 Acero estructural y acero de refuerzo

Novacero, una empresa de la industria del acero, busca fortalecer el abastecimiento de chatarra para su reciclaje en 22 ciudades del país, ofreciendo trabajo a cerca de 500 recolectores, quienes deben abastecer 25 puntos de reciclaje (Diario Hoy, 2011).

Figura # 25: Reciclaje de chatarra.



Fuente: (Diario Hoy, 2011).

El acero al ser un material que se puede reciclar infinito número de veces, es el más reciclado. Su precio como chatarra por tonelada es en promedio de \$275 incluyendo transporte, de acuerdo a la recicladora Montoya, ubicada en Durán.

En muchas de las construcciones el personal de obra suele desalojar los recortes de acero, actuando como recolectores y recicladores, ya que son ellos quienes se encargan de llevar el acero a los puntos de reciclaje.

De acuerdo a los libros, se sugiere estimar un 18% de desperdicio de acero en las construcciones, valor que lo asume la constructora, quien a su vez lo cobra al propietario. Si se llegase a reciclar el acero de sobrante de recortes por parte de la constructora, el porcentaje de pérdida podría ser menor y abaratar los costos finales en acero en un 7,20%.

Tabla # 13: Ahorro si se recicla el acero de refuerzo.

Precio de acero/ton	Precio de compra de chatarra/ton (incluido transporte)	Diferencia de precios	Desperdicio de acero considerado	Ahorro de 40% en el desperdicio
\$ 472	\$ 275	40%	18%	7,20%

Fuente: Elaboración propia a partir de (Cámara de la Construcción de Guayaquil, 2013).

Otra manera eficiente de evitar desperdicios de acero y evitar gastos por los mismos, es teniendo un control de la medición de los cortes, además de un buen diseño anticipado y con el manejo del material, evitando que el mismo esté en contacto directo con el suelo.

Sin embargo, durante los procesos constructivos, la mejor opción para evitar desperdicios es solicitar a las acerías como Andec o Adelca su servicio de corte y figurado del acero de refuerzo. El constructor simplemente debe entregar

la planilla de acero del proyecto y las acerías se encargan de preparar el material a las medidas solicitadas eliminando los problemas de desperdicio.

En la demolición del edificio MAGAP en el centro de Guayaquil, ya se tiene contemplado el reciclaje del acero de refuerzo, ya que mediante el uso de una excavadora con martillo se pretende separar el hormigón del acero, previéndose su posterior venta a las acerías (CIMIENTOS, 2013).

4.5 Cerámica

Desde hace 10 años la Muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil lleva a cabo un programa para la elaboración de murales tipo mosaico con cerámica, que cuenta con 28 piezas artísticas (Diario Expreso, 2011).

Muchos artistas envían los bocetos de sus obras a Riobamba o Cuenca para que las piezas sean horneadas. No se ha considerado la posibilidad de utilizar la cerámica desechada por las construcciones de la ciudad (El Telégrafo, 2013).

Figura # 26: Mural con cerámica en Guayaquil.



Fuente: (El Universo, 2012).

En un comienzo el Municipio pagaba \$200 el metro cuadrado de mural, cerca de \$20.000 por puente, valor que en los últimos años se ha incrementado desde los \$45.000 hasta los \$99.000 (Diario Expreso, 2011).

Las constructoras que se dedican a la producción en masa de viviendas por lo general

usan las mismas cerámicas para todo el proyecto, por lo que la separación y clasificación de los retazos sobrantes de los cortes no debería significar una gran labor.

Esas cerámicas, clasificadas por colores y texturas, podrían ser utilizadas para la elaboración de aquellos murales artísticos, que buscan reflejar la historia de Guayaquil.

CAPÍTULO V

LA PROPUESTA

Una de las claves para tener un mejor sistema de revalorización de desechos es la separación en origen. Los beneficios económicos de reciclaje son más altos si los materiales de desecho pueden ser separados y se reciclan de forma individual. Esta práctica no requiere necesariamente de mucho esfuerzo.

La separación en la fuente significa separar diferentes materiales reciclables en el lugar de trabajo. Es decir, los trabajadores mantienen metales separados de la madera, la madera separada de cerámica, y así sucesivamente colocando cada material en un recipiente diferente. Estos contenedores son posteriormente transportados a los diferentes centros de reciclaje.

Algunas de las ventajas de la separación en sitio son mayores tasas de reciclaje, menores costos de reciclaje, mejores ingresos por ciertos materiales ya que todo está separado y a menudo ofrece un lugar de trabajo más limpio y más seguro.

El reciclaje mezclado es otra alternativa. El reciclaje mezclado significa que todos los materiales reciclables se colocan en un único recipiente, que se transporta a continuación a una instalación de procesamiento, donde los diferentes materiales se separan a mano o mediante un equipo automático.

Las ventajas del reciclaje mezclado son que sólo se necesita de uno o dos recipientes en el sitio, no hay necesidad de que los trabajadores separen los materiales para el reciclaje, simplificando la logística, sin embargo los beneficios económicos son menores debido a que el centro de reciclaje cobrará por separar los materiales.

Entonces, el mayor dilema entre la separación en la fuente y el reciclado mezclado es la complejidad contra la economía.

La separación en la fuente es más compleja ya que los trabajadores tienen que clasificar los residuos, hay más contenedores en el lugar. Sin embargo, en la mayoría de los casos, la separación en la fuente es económicamente más ventajosa que el reciclaje mezclado, ya que produce materiales que están listos para ir directamente a la recicladora; no hay necesidad de pagar por un procesador de materiales. Los materiales separados en la fuente suelen ser de mejor calidad, con menos contaminantes, por lo que valen más en los mercados de reciclaje.

La complejidad no es necesariamente un gran problema, ya que no es más difícil que los trabajadores arrojen diferentes materiales en diferentes contenedores que echarlos mezclados.

Los contenedores para materiales separados en origen se pueden colocar cerca de las áreas de trabajo, de manera que la separación en origen necesite de menos tiempo y esfuerzo.

Se debe tomar en cuenta que los contenedores, ya sean pequeños o grandes, ocupan espacio, y si se colocan demasiados aumenta la posibilidad de confusión y contaminación. Sin embargo, esto también se puede solucionar con un estudio previo de la zona de trabajo, siendo una buena planificación la parte más importante de la gestión de residuos de la construcción.

Una buena planificación permite identificar todos los materiales reciclables y saber cómo se va a manejarlos antes de que comience el trabajo. De igual manera, nos puede indicar cómo se manejará cada material de residuo, en qué se utilizarán los

contenedores, cuándo van a estar en el sitio y en donde se va a comercializar cada material.

También se debe contemplar que el personal va a necesitar una formación adecuada. Pero al ser el reciclaje algo simple, de igual manera la formación debe ser simple. La formación puede incluir pequeñas charlas antes de ingresar a trabajar, en las que se indiquen los procedimientos a seguir y recalcar que los mismos se deben cumplir.

Además, para facilitar las cosas se puede usar señalización. Es decir, cada contenedor de residuos debe tener un gran cartel con los nombres de los diferentes materiales, según corresponda.

Por medio de este proceso, los materiales como la madera, la cerámica, el acero de refuerzo y el acero estructural podrán ser reciclados con mucha mayor facilidad dentro de las obras

permitiendo mejores rendimientos económicos por parte de las constructoras.

La madera, como ya se mencionó en el capítulo anterior, se puede usar para la elaboración de tableros aglomerados. En las construcciones en masa, los desechos de la madera usada para los encofrados de las estructuras de las casas o edificios durante la etapa de obra gris se puede reciclar para elaborar los tableros aglomerados que se pueden usar para hacer anaqueles de cocinas, de baños e incluso puertas para las mismas edificaciones cuando entren en la etapa de acabados.

Los palets, como también se mencionó, se pueden reutilizar después del respectivo mantenimiento, ya sea para la misma obra en la que se usó o en alguna otra. Otra opción es la venta o su uso como material decorativo funcional en locales comerciales u hogares.

Por su parte, los recortes de acero de refuerzo y el acero estructural se deben reciclar de la única manera en que siempre se ha hecho, mediante su venta a las acerías para convertirlas en nuevos elementos de acero.

En nuestra ciudad, gracias a la iniciativa del Municipio de crear murales en varios puntos públicos, se puede encontrar una buena excusa para reciclar los desechos de la cerámica usada en la construcción. Aquellos pequeños trozos sobrantes creados durante el proceso constructivo, pueden finalmente ser usados para la ambientación de la ciudad, además de evitar que este tipo de residuos se continúen acumulando en vertederos.

La logística a seguir por parte de los constructores podría variar de acuerdo al tipo de

proyecto a realizarse. Sin embargo los procedimientos deben ser los mismos. A continuación se presenta un ejemplo tipo de lo que se podría realizar en una construcción para manejar los residuos para su posterior reciclaje.

En este caso el proyecto consta de 3 edificios de 7 pisos (Torre A, B y C) y 3 edificios de 12 pisos (Torre D, E y F), con un área de construcción de 572.40 m² para cada edificio de 7 pisos y 607.70 m² para cada edificio de 12 pisos, implantados en un terreno de 29,992.46 m².

Figura # 27: Implantación de proyecto “La Vista Towers”.

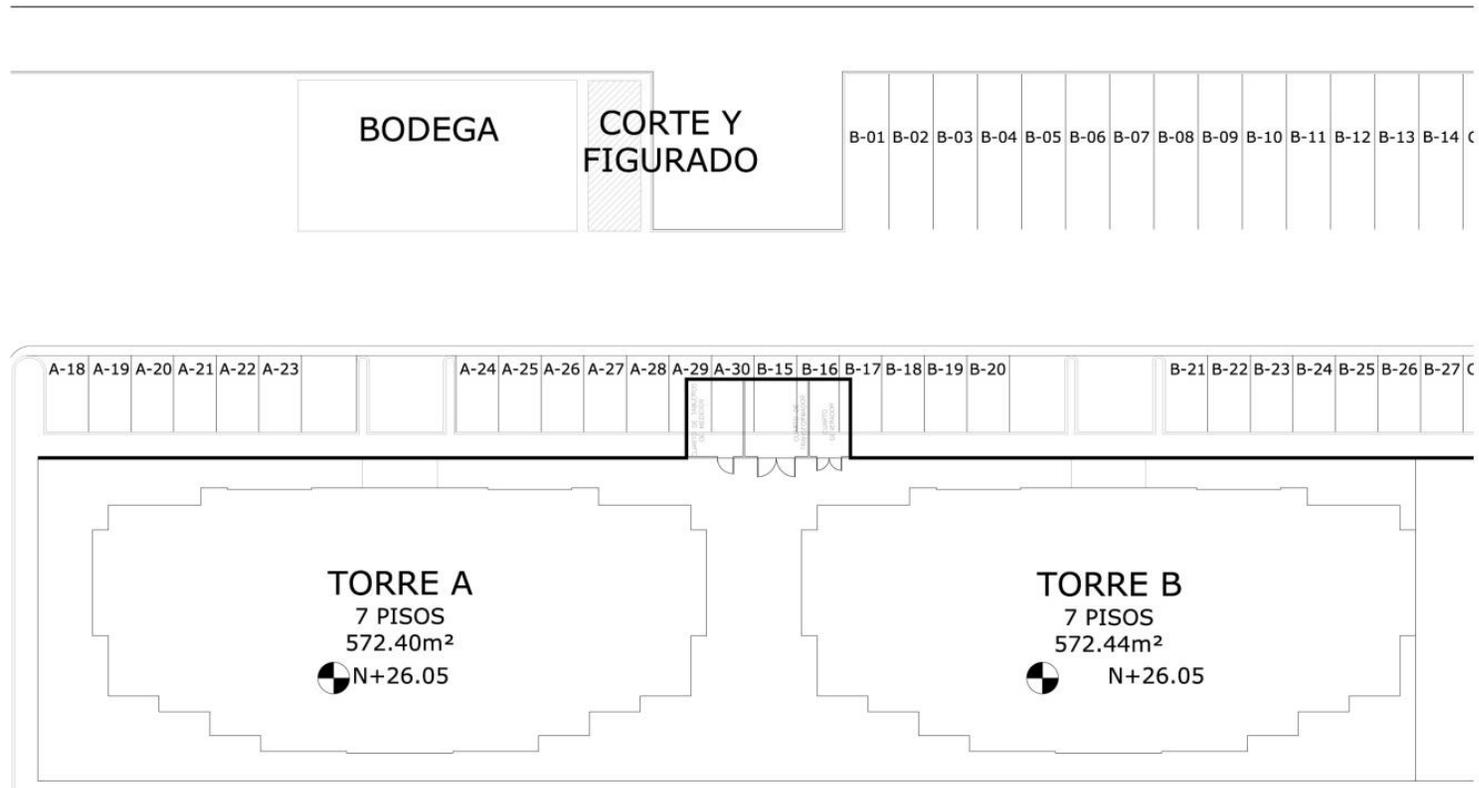


Fuente: (Constructora COVIGON C.A., 2011).

Una vez finalizada la obra gris de la torre A se comenzará a construir la torre B y así sucesivamente, por lo que los mismos contenedores se pueden usar para todas las torres.

La zona de corte y figurado del acero de refuerzo y del acero estructural se encuentra junto a la bodega en la parte posterior entre la torre A y la torre B. Tanto la bodega como la zona de corte y figurado de acero se trasladarán hacia las otras torres conforme avance la obra.

Figura # 28: Ubicación de zona de corte y figurado de acero de refuerzo y acero estructural.



Fuente: Elaboración propia a partir de (Constructora COVIGON C.A., 2011).

En la zona de corte y figurado se dispondrá de un contenedor de 2.50 m³ (2.00 x 1.10 x 1.21 m), en donde se depositarán todos los recortes de acero, los cuales serán vendidos a Andec o empresas recicladoras.

Figura # 29: Contenedor de 2.50 m³ para recortes de acero de refuerzo y acero estructural.

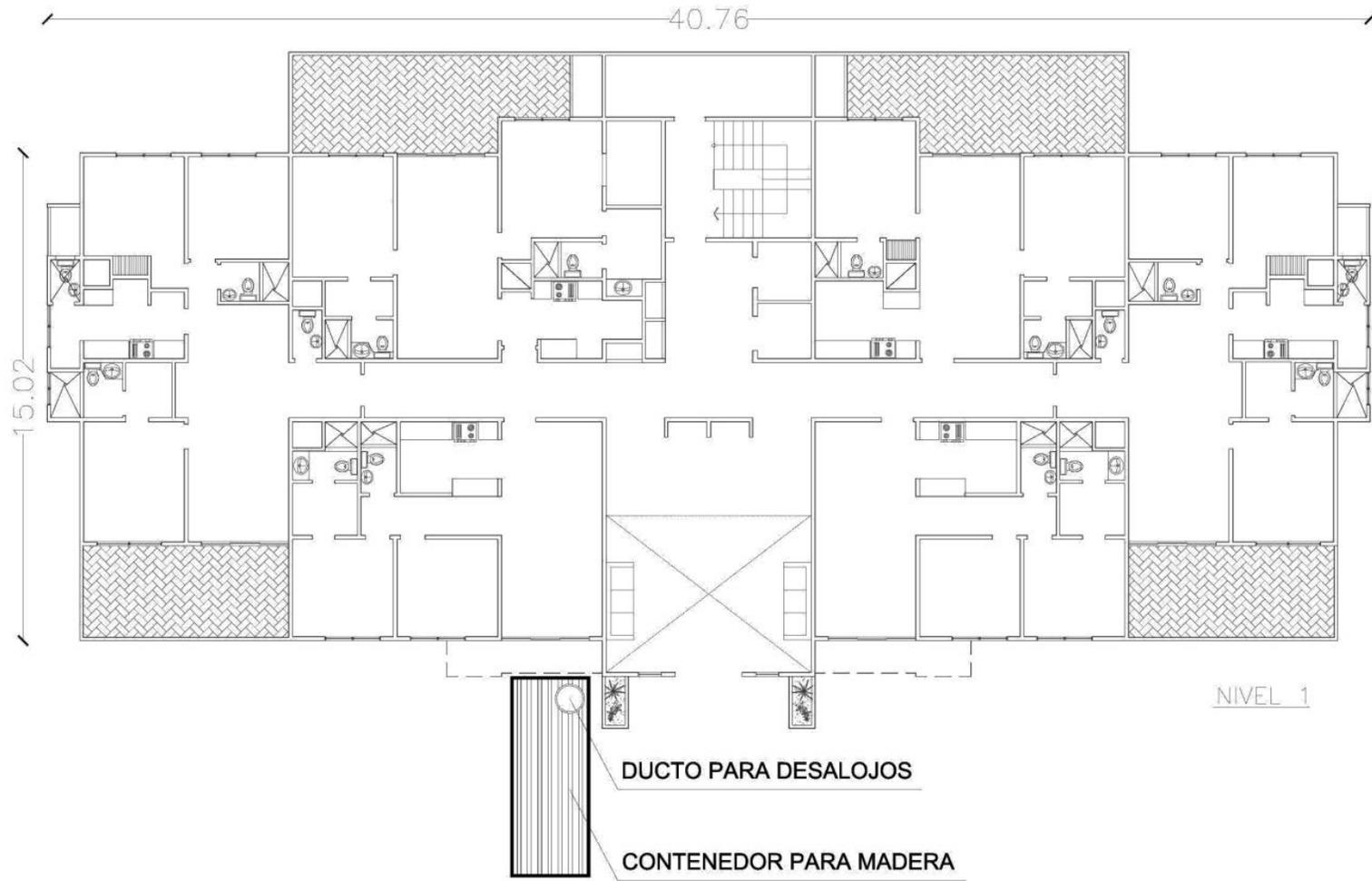


Fuente: (C.M. Hnos. Azor, 2013).

Los demás contenedores para reciclaje se encontrarán en los exteriores del edificio, sobre los cuales habrá ductos por los que bajarán los residuos desde los pisos superiores.

En un contenedor de 12 m³ (6.00 x 2.32 x 0.80 m) se depositarán los retazos de madera y tableros de encofrados que ya no estén aptos para esa labor. A medida que vayan aumentando los pisos del edificio, se utilizarán sogas para bajar los encofrados y retazos que no pasen por los ductos de residuos. El contenedor estará situado en la parte frontal del edificio y la madera será vendida a empresas como Edimca o similares que posean los equipos necesarios para la trituración de la misma para la elaboración de tableros aglomerados.

Figura # 30: Ubicación de contenedor de 12 m3 para madera.



Fuente: Elaboración propia a partir de (Constructora COVIGON C.A., 2011).

Figura # 31: Contenedor caja abierta de 12 m³ de capacidad.

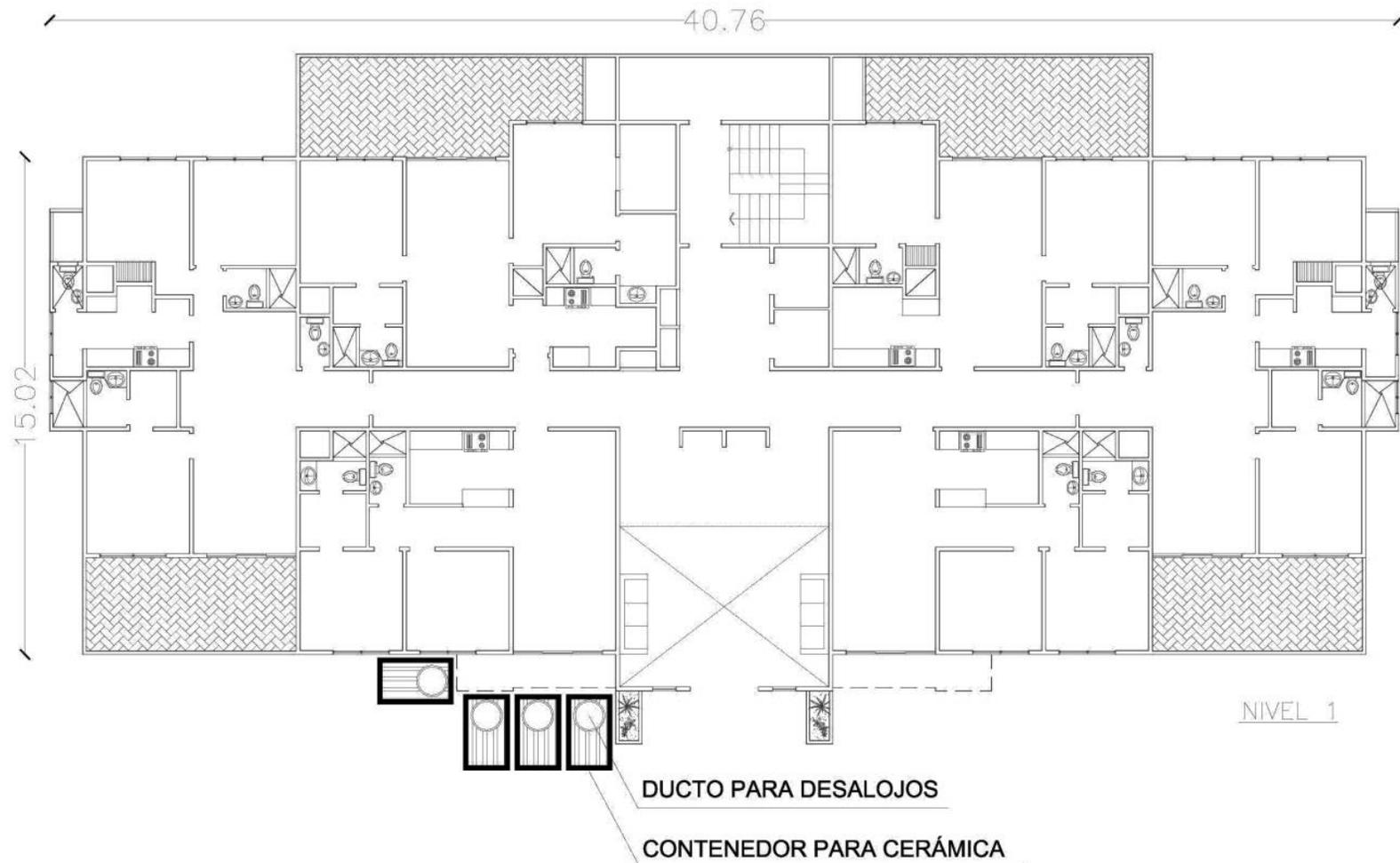


Fuente: (C.M. Hnos. Azor, 2013).

Mientras avanza la construcción y comienza la instalación de cerámica, el contenedor para madera ya habrá pasado al siguiente edificio, mientras que en la torre A se deben incorporar 4 contenedores más de 2.50 m³ cada uno, esto para separar los 4 tipos de cerámica a usarse en la construcción (se contempla cerámicas diferentes

para piso, cocina, baños máster y baños secundarios). La cantidad de contenedores para estos casos podría variar, ya que en caso de usar cerámicas de similares tonalidades y texturas, las mismas se podrían depositar en un mismo contenedor. En cuanto a este material se contempla su venta con el apoyo por parte del Municipio de Guayaquil y de artistas, para que con los retazos de cerámica se puedan seguir elaborando murales en la ciudad.

Figura # 32: Ubicación de contenedores de 2.50 m³ para cerámicas.



Fuente: Elaboración propia a partir de (Constructora COVIGON C.A., 2011).

Para el caso específico de este proyecto, se propone ubicar los contenedores en la parte frontal de los edificios por motivos de accesibilidad, ya que los edificios se encuentran en plataformas a diferentes niveles debido a la forma del terreno y en la parte posterior de los mismos la calle da acceso directo al segundo piso.

La entrega de los materiales de los contenedores a las recicladoras se debe programar conforme los mismos se vayan llenando, para que de esta forma haya un ciclo de llenado y vaciado de los contenedores.

Como ya se ha mencionado anteriormente, la planificación, número de contenedores a usarse, materiales a reciclarse y otras variables deben adaptarse a cada obra en específico y a sus necesidades, sin embargo la idea es promover el reciclaje como método de ahorro económico para las constructoras.

Por otro lado, el reciclaje del asfalto en sitio se debe seguir realizando en nuestra ciudad mientras adquiere mayor popularidad por sus beneficios económicos y técnicos, pero de igual manera se podría analizar más profundamente el uso de las plantas dosificadoras como la MAGNUM 120 mostrada anteriormente, para el reciclaje de asfalto que ya no se usará en el mismo sitio, como en el caso de las carreteras que el gobierno planea reconstruir en hormigón.

Finalmente, ya que en nuestra ciudad y en nuestro país el número de demoliciones van en aumento, también se debería poner en consideración el uso de trituradoras de hormigón o mini trituradoras, ya que es en las demoliciones de donde se obtendrían las mayores cantidades de este tipo de desechos para poder convertirlos en agregados que pueden ser utilizados en nuevas construcciones, como se mencionó en el capítulo anterior en referencia al edificio del MAGAP.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Mediante el presente trabajo de tesis se concluye que los métodos de reciclaje para los materiales de construcción planteados, resultan tanto técnicamente como económicamente viables y convenientes para el constructor en la ciudad de Guayaquil y la Vía a Samborondón frente a algunas de las prácticas actuales que simplemente constan del desalojo y depósito de los desechos en vertederos.

Las técnicas y prácticas de reciclaje que ya se realizan en la ciudad como en el asfalto y el acero deben generalizarse, mientras que el reciclaje de los demás materiales se puede ir implementando, mientras se comprueban sus beneficios, los cuales también incluyen la reducción

de emisiones e impacto ambiental, un menor uso de vertederos y botaderos, además de reducir la extracción de materiales vírgenes.

Se recomienda que la Universidad de Especialidades Espíritu Santo, profundice el tema y que lo promueva a través de las iniciativas de la construcción de sus propios edificios, en los cuales se podrían implementar algunas de las soluciones planteadas en el presente trabajo de titulación.

Además se recomienda que gremios, gobiernos locales, constructoras, consultoras, fabricantes y comerciantes de materiales de construcción analicen con mayor detalle la propuesta aquí planteada, para que en caso de obtener una respuesta favorable de parte de ellos, los beneficios se puedan apreciar con mayor rapidez y amplitud.

Bibliografía

ACPA. (2010). *Concrete pavement technology series - Production of RCA*. Skokie, IL 60077: ACPA.

Agencia de Noticias Públicas del Ecuador (Andes). (2012, Febrero 28). *América economía*. Retrieved Octubre 12, 2013, from <http://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/ecuador-refineria-de-esmeraldas-garantiza-produccion-de-asfalto-para-demanda-int>

Agencia Europea de Medio Ambiente. (2013, Marzo 19). *Agencia Europea de Medio Ambiente*. Retrieved Octubre 07, 2013, from <http://www.eea.europa.eu/es/pressroom/newsreleases/las-mayores-tasas-de-reciclado>

Aglomerados Cotopaxi. (2013). *EDIMCA*. Retrieved Octubre 14, 2013, from http://www.cotopaxi.com.ec/sites/default/files/fibraplac_melamina_ficha_tecnica.pdf

Aguilar, A. (1997). *Reciclado de materiales de construcción*. Retrieved Octubre 14, 2013, from <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n2/aconst1.html>

Aguilar, S. (2012, Agosto 08). *El desarrollo vial en Ecuador es uno de los íconos más visibles del progreso*. Retrieved Noviembre 24, 2013, from <http://www.andes.info.ec/es/quinquenio-de-la-revoluci%C3%B3n-ciudadana-actualidad-reportajes/4974.html>

ANDEC. (2009). *Tipos de chatarra que ANDEC compra a sus proveedores*. Retrieved Septiembre 19, 2013, from http://www.andecsa.com/portal/page?_pageid=163,714199&_dad=portal&_schema=PORTAL

ARQHYS. (2010). *Reciclaje de cerámica*. Retrieved Noviembre 10, 2013, from <http://www.arqhys.com/construcciones/reciclaje-ceramica.html>

ASTEC. (2013). *Plantas dosificadoras de reciclaje*. Retrieved Noviembre 11, 2013, from http://es.astecinc.com/index.php?option=com_content&view=article&id=297&Itemid=227

Botasso, R. H. (2006). *CARACTERIZACIÓN DE LOS ASFALTOS UTILIZADOS EN LAS* . Quito: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.

Bravo, M. (2008). *AMCHAN GUAYAQUIL Ecuadorian American Chamber of Commerce, Guayaquil*. Retrieved Octubre 07, 2013, from <http://www.amchamecuador.org/publicaciones.php?titulo=3355>

Brock, D. (2006). *Boletín técnico T-127S Fresado y Reciclaje*. Chattanooga, TN 37407 EE.UU.: ASTEC.

Buchwald, F. V. (2003). *Relleno Sanitario "Las Iguanas"*. Retrieved Octubre 07, 2013, from http://www.bvsde.paho.org/cursos_rsm/e/fulltext/iguanas.pdf

Burgermesiter, J. (2008, Octubre 28). *New Method Turns Wood into Sugar for Biofuels*. Retrieved Octubre 15, 2013, from <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2008/10/new-method-turns-wood-into-sugar-for-biofuels-53944>

Business Recycling. (2012, Junio 24). *Business Recycling Ceramics*. Retrieved Octubre 10, 2013, from <http://businessrecycling.com.au/recycle/ceramics>

C.M. Hnos. Azor. (2013). Retrieved Noviembre 21, 2013, from <http://www.construccionesmetalicas.net/eurocontainers/eurocontainer-2500-litros>

C.M. Hnos. Azor. (2013). *Contenedores*. Retrieved Noviembre 21, 2013, from <http://www.construccionesmetalicas.net/cont-caja-abierta/caja-abierta-12-m3-6-metros>

CIMIENOS. (2013, Octubre). Edificio del MAGAP entró en demolición. *CIMIENOS* , pp. 8-9.

Compact concrete crushers. (2008). *LEM 60-40 series*. Retrieved Octubre 17, 2013, from http://www.compactconcretecrushers.com/lem_60-40.html

Construcción Pan-Americana. (2010, Agosto 19). *Rehabilitación de carreteras a menor costo*. Retrieved Octubre 20, 2013, from <http://www.cpampa.com/web/cpa/2010/08/rehabilitacion-de-carreteras-a-menor-costo/>

Construction Materials Recycling Association (CMRA). (2013). *Concrete Recycling - Good Economic Sense*. Retrieved Septiembre 19, 2013, from <http://www.concreterecycling.org/>

Construction Materials Recycling. (2011). *Construction Materials Recycling*. Retrieved Septiembre 15, 2013, from <http://constructionmaterialsrecycling.com/index.html>

Constructora COVIGON C.A. (2011). Implantación general "La Vista Towers". Guayaquil, Guayas, Ecuador.

Coparm. (2011). *Trituración de madera*. Retrieved Noviembre 7, 2013, from http://www.coparm.biz/es/trituracion_de_madera.htm

Crónica. (2011). *7 colegios participan en proyecto reciclaje*. Retrieved Octubre 07, 2013, from <http://cronica.com.ec/index.php/loja/item/56871-7-colegios-participan-en-proyecto-reciclaje>

Diario Expreso. (2011, Julio 14). *10 años de murales* . Retrieved Noviembre 10, 2013, from <http://expreso.ec/expreso/plantillas/nota.aspx?idart=2364935&idcat=19308&tipo=2>

Diario Hoy. (2011, Noviembre 04). *La recolección de acero, otro negocio inclusivo en el Ecuador*. Retrieved Octubre 13, 2013, from <http://www.hoy.com.ec/noticias-ecuador/la->

recoleccion-de-acero-otro-negocio-inclusivo-en-el-ecuador-511852.html

Earth911. (2013). *Facts About Steel Recycling*. Retrieved Octubre 13, 2013, from <http://earth911.com/recycling/facts-about-steel-recycling/>

El Comercio. (2013, Agosto 31). *Madera reciclada toma nuevas formas*. Retrieved Noviembre 29, 2013, from http://www.elcomercio.com.ec/construir/Madera-reciclaje-diseno-decoracion-almacenes_0_984501573.html

El Reciclaje. (2010). *El Reciclaje*. Retrieved Octubre 30, 2013, from <http://elreciclaje.org/content/datos-sobre-el-reciclaje>

El Telégrafo. (2013, Noviembre 02). *\$ 200 millones ahorra el país con el reciclaje de chatarra*. Retrieved Noviembre 21, 2013, from [millones-ahorra-el-pais-con-el-reciclaje-de-chatarra.html](http://www.telegrafo.com.ec/economia/item/200-</p></div><div data-bbox=)

El Telégrafo. (2013, Noviembre 01). *El mural “Reales Astilleros” de Pablo Toral sigue intacto*. Retrieved Noviembre 28, 2013, from <http://www.telegrafo.com.ec/noticias/guayaquil/item/el-mural-reales-astilleros-de-pablo-toral-sigue-intacto.html>

El Telégrafo. (2013, Noviembre 1). *El mural “Reales Astilleros” de Pablo Toral sigue intacto*. Retrieved Diciembre 10, 2013, from <http://www.telegrafo.com.ec/noticias/guayaquil/item/el-mural-reales-astilleros-de-pablo-toral-sigue-intacto.html>

El Universo. (2006). *Centro de acopio para desechos de construcciones*. Retrieved Septiembre 15, 2013, from <http://www.eluniverso.com/2011/09/15/1/1550/centro-acopio-desechos-construcciones.html>

El Universo. (2012, Julio 22). *Guayaquil revive su pasado y muestra su presente en murales*. Retrieved Diciembre 3, 2013, from <http://www.eluniverso.com/2012/07/23/1/1445/guayaquil-revive-pasado-muestra-presente-murales.html>

Esch, A. (2013). *A Fireside Chat on Biomass Fueling*. Retrieved Noviembre 10, 2013, from <http://logging.about.com/od/Eco-Friendly-Logging/a/A-Fireside-Chat-On-Biomass-Fueling.htm>

Explored. (2004, Septiembre 27). *Explored*. Retrieved Septiembre 29, 2013, from <http://www.explored.com.ec/noticias-ecuador/shell-abre-planta-de-asfalto-186851.html>

Fenton, M. (1999). *IRON AND STEEL RECYCLING IN THE UNITED STATES IN 1998*. Reston, VA: U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR.

Fernández, A. (2013, Marzo 27). *Reciclaje de acero: seis cuestiones que no sabías*. Retrieved Diciembre 2, 2013, from

http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/urbanismo/2013/03/27/216265.php

Flórez-Estrada, M. M. (2011). *Guía de manejo de escombros y otros residuos de la construcción*. San José, Costa Rica: UICN, Oficina Regional para Mesoamérica y la Iniciativa Caribe.

Forsström, J. (2012). *Wood-based biodiesel in* . Retrieved Noviembre 3, 2013, from <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2012/T7.pdf>

Franssons. (2011). *Trituradores de un eje FRP*. Retrieved Noviembre 13, 2013, from <http://www.franssons.com/es/productos-y-servicios/Trituradores-de-un-eje-FRP.html>

Fundación Ambiente y Recursos Naturales. (2010). *Residuos Sólidos Urbanos: Una guía práctica para la separación en origen en el Partido de La Plata*. Retrieved Octubre 06, 2013, from http://www.unlp.edu.ar/uploads/docs/guia_practica_

para_la_separacion_de_residuos_en_el_partido_de_la_plata.pdf

Haz, V. (2012, Enero 12). *Municipio a cargo de desechos de construcción*. Retrieved Octubre 10, 2013, from <http://extra.ec/ediciones/2012/01/12/cronica/municipio-a-cargo-de-desechos-de-construccion/>

Inspiration. (2009). *INSPIRATION Por un mundo libre de pobreza*. Retrieved Septiembre 25, 2013, from <http://www.inspiration.org/cambio-climatico/reciclaje/material-reciclado/reciclaje-de-residuos>

Investigación Ekos. (2011). *RECICLAJE DE ACERO: un ejemplo de RSE industrial*. Retrieved Noviembre 12, 2013, from <http://www.ekosnegocios.com/revista/pdfTemas/77.pdf>

Junta de Andalucía. (2009). *Reciclaje de Madera*. Retrieved Octubre 27, 2013, from

<http://www.juntadeandalucia.es/averroes/nuevaandalucia/reciclad/recimadera.htm>

Klee, H. (2009). *The Cement Sustainability Initiative - Recycling Concrete*. Washington, D.C. 2009: World Business Council for Sustainable Development (WBCSD).

La Hora. (2008, Febrero 08). *La Hora*. Retrieved Octubre 12, 2013, from http://www.lahora.com.ec/index.php/noticias/show/677095/-1/Petroecuador_defiende_calidad_asfalto_vendido.html#.UoLiC_IWySp

La Onda Verde. (2009, Abril 22). *Datos sobre el reciclaje*. Retrieved Octubre 07, 2013, from <http://elmundoactual.com/?p=2073>

Lauritzen, E. K. (2009). *Producción de residuos de construcción y reciclaje*. Retrieved Octubre 08, 2013, from <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n2/aconst2.html>

Lennon, M. (2005). *RECYCLING CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTES A Guide for Architects and Contractors*. Boston: The Institution Recycling Network.

Liming Heavy Industry. (2007). *Trituradora de Impacto*. Retrieved Diciembre 5, 2013, from http://www.trituradoras.net/Impact_Crusher.html

Macías, E. M. (2006). *Residuos de Construcción y Demolición*. Retrieved Octubre 07, 2013, from <http://www.uhu.es/emilio.romero/docencia/Residuos%20Construccion.pdf>

Mallick, P. S. (1997). *Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments*. Washington, DC 20590: Federal Highway Administration Office of Engineering.

Metro Ecuador. (2013). Retrieved Diciembre 2, 2013, from <http://www.metroecuador.com.ec/foto-noticias-ecuador/2013/10/MAGAP-600.jpg>

Minera trituradora y molino. (2010). *Minera trituradora y molino*. Retrieved Diciembre 10, 2013, from <http://www.minero-maquina.com/?p=1411>

Mishra, G. (2012). *The Constructor Civil Engineering Home*. Retrieved Noviembre 18, 2013, from <http://theconstructor.org/concrete/concrete-recycling/>

Molina, J. M. (1997). *Recuperación de Materiales de Construcción*. Retrieved Octubre 12, 2013, from <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n2/a1molina.html>

NCYT. (2012, Enero 16). *Biocombustible fácil a partir de madera de pino gracias a una nueva levadura ultrarresistente*. Retrieved Octubre 15, 2013, from http://noticiasdelaciencia.com/not/3235/biocombustible_facil_a_partir_de_madera_de_pino_gracias_a_una_nueva_levadura_ultrarresistente/

Northern Ireland Business Info. (2011). *Recycling construction materials*. Retrieved Octubre 17, 2013,

from
<http://www.nibusinessinfo.co.uk/content/recycling-tiles-and-board-construction-projects>

OSP ASFALTOS. (2012). *OSP Asfaltos*. Retrieved Octubre 15, 2013, from <http://www.osp.com.ec/el-medioambiente-si-es-tema-para-la-construccion-vial.php>

Revista Líderes. (2013, Abril 08). *Entre sus recetas también se incluye la madera reciclada*. Retrieved Noviembre 29, 2013, from http://www.revistalideres.ec/emprendedores/Red-Burger-Society-recetas-incluye-madera-reciclada_0_897510272.html

Romero, E. (2006). *Residuos de Construcción y Demolición*. Retrieved Octubre 07, 2013, from <http://www.uhu.es/emilio.romero/docencia/Residuos%20Construccion.pdf>

Sakai, K. (2011). *Recycling Concrete - The present state and future perspective*. Takamatsu City, Japan: Kagawa University.

Salazar, E. G. (2002). *Proyecto de Gestión Integral de Residuos Sólidos (Loja, Ecuador)*. Retrieved Octubre 07, 2013, from <http://habitat.aq.upm.es/bpal/onu02/bp014.html>

Santucci, L. (2007). *RECYCLING ASPHALT PAVEMENTS - A STRATEGY REVISITED*. Richmond, CA 94804 EE.UU.: Technology Transfer Program. Institute of Transportation Studies. University of California Berkeley.

Science Daily. (2007, Mayo 20). *New Biofuel From Trees Developed*. Retrieved Septiembre 18, 2013, from <http://www.sciencedaily.com/releases/2007/05/070518125624.htm>

Seyse Hidráulica S.L. (2013). *SEYSU*. Retrieved Diciembre 2, 2013, from <http://seysu.es/repuestos->

para-maquinaria-obras-publicas/pinzas-demolicion-cizallas/gmx-niv152.htm

Shoenberger, J. E. (1993). *USER'S GUIDE: HOT-MIX RECYCLING OF ASPHALT CONCRETE PAVEMENTS*. Vicksburg, MS 39180-6199: Geotechnical Laboratory U.S. Army Corps of Engineers.

Soibelman, L. (2000). *Desperdicios vs el control de los materiales*. Retrieved Septiembre 27, 2013, from <http://www.imcyc.com/cyt/septiembre03/desperdicios.htm>

Steel Recycling Facts. (2010). *Steel Recycling Facts*. Retrieved Noviembre 12, 2013, from <http://steelrecyclingfacts.com/steel-can-facts/>

Steel Recycling Institute. (2011). *Steel Recycling Institute*. Retrieved Octubre 02, 2013, from <http://www.recycle-steel.org/>

Steel Recycling Institute. (2009). *Steel Takes LEED with Recycled Content*. Pittsburg, PA: Steel Recycling Institute.

Steel Works. (2013). *Steel Works the online resource for steel*. Retrieved Noviembre 10, 2013, from <http://www.steel.org/Sustainability/Steel%20Recycling.aspx>

Sustainable Sources. (2013). *Construction Waste Recycling*. Retrieved Septiembre 19, 2013, from <http://constructionwaste.sustainablesources.com/#CommStatus>

TEREX. (2011, Mayo). *Planta de asfalto*. Retrieved Noviembre 15, 2013, from http://www.terexrb.com.br/upload/product_file/magnum120ESPbx.pdf

The Concrete Centre. (2013). *The Concrete Centre*. Retrieved Noviembre 17, 2013, from

http://www.concretecentre.com/sustainability/end_of_life_recycling.aspx

The Wood Store Brighton. (2013). *Brighton & Hove Wood Recycling Project*. Retrieved Septiembre 27, 2013, from http://www.woodrecycling.org.uk/info_woodfacts.htm

Triviño, L. (2011). *Eco Parque de Guayaquil, una propuesta de recolección de residuos en Guayaquil*. Guayaquil: ESPOL.

U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration. (2011). *HOT MIX ASPHALT RECYCLING (MATERIALS AND MIX DESIGN)*. Washington, DC 20590: U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration.

Virginie, M. (2011). *Los Caminos del Reciclaje*. Madrid: Nuevos emprendimientos editoriales.

VV.AA. (2008). *Reciclado y tratamiento de residuos*. Madrid: UNED.

XSM Mining and Construction. (2012). *Trituradora de cono*. Retrieved Diciembre 2, 2013, from <http://trituratoradecono.com/Equipo-de-cantera/Trituradoras-de-hormigon-y-la-India.html>

Zimmer, L. (2011, Abril 25). *Using Recycled Concrete Could Reduce Road Paving Costs by 10-20%*. Retrieved Diciembre 1, 2013, from <http://inhabitat.com/using-recycled-concrete-could-reduce-road-paving-costs-by-10-20/>