

CAPÍTULO 4

ESTADO DEL ARTE DE LA CLASIFICACIÓN, REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS POR LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Los materiales utilizados en la construcción pueden diferenciarse según su condición de: *reciclables y/o reutilizables* (metales; maderas y otros materiales de origen vegetal; vidrios y cristales; plásticos; telas, papeles y cartones); *exclusivamente reutilizables* (es el caso de los materiales pétreos, ya sean naturales o artificiales, a los cuales sólo se somete a procesos de trituración para ser utilizados como inerte en el concreto, relleno de terrenos, entre otros), y por último, *reutilizables* sólo por encontrarse mezclados con otros materiales (se han incluido a los morteros, ya que muchas veces se hace difícil de separarlos de su soporte, pero no porque se los requiera como materiales en sí).

Reutilizar es volver a usar un producto o material varias veces sin "tratamiento", equivale a un "reciclaje directo". Es decir, volver a utilizar un material en un mismo estado, sin un reprocesamiento de la materia.

La reutilización de materiales tiene las siguientes opciones:

- *Reutilización directa* en la misma obra donde son generados los residuos. El ahorro es máximo; ni siquiera se requiere transporte.
- *Reutilización en otras obras*. Aparece la necesidad de transportar los residuos desde una obra a otra, con el costo económico y ecológico que ello implica. Esta opción incluye a su vez, dos alternativas: que se realice la venta de los residuos a otra empresa constructora (es necesario fijar precios y condiciones de suministro), o que los residuos sean utilizados en otra obra de la misma empresa (la empresa se beneficia porque no paga para utilizar determinados materiales, y no paga para deshacerse de ellos).

- *Reutilización previa transformación.* Incluye la modificación de la forma y propiedades originales de los productos. Es decir que los materiales, una vez modificados, se utilizan como materias primas de nuevos productos, en la misma obra, en otra obra de la misma empresa, o vendidos a otras empresas constructoras.

Por otra parte *reciclar* es cualquier proceso donde materiales de desperdicio son recolectados y transformados en nuevos materiales que pueden ser utilizados o vendidos como nuevos productos o materias primas.

Las prácticas de reciclaje y reutilización a partir de la recuperación de materiales y componentes constructivos son eficientes desde el punto de vista ecológico, pero también desde el punto de vista económico, ya que la recuperación de materiales puede ser el punto de partida para generar un mercado alternativo de productos, que por haber sido utilizados anteriormente, resulten más económicos. La ventaja económica también se obtiene a causa de reintroducir los desechos en el ciclo industrial- comercial; así, los materiales reciclados resultan normalmente más baratos no por su precio en sí, sino por que el constructor no ha tenido que pagar por deshacerse de él y luego pagar por conseguir algo similar para la obra a realizar.

De las obras no sólo se recuperan materiales y residuos de construcción y demolición (RCD), sino también componentes constructivos, como puertas, ventanas, vigas, artefactos sanitarios, revestimientos, tejas, ladrillos y otros materiales similares que puedan ser reutilizados sin la necesidad de su procesamiento previo. Además, se ha comenzado a estudiar la posibilidad del aprovechamiento de los envases de los materiales de construcción, ya que tienen una gran incidencia en la producción de residuos de obras de construcción.

El reciclaje debe implementarse desde un programa, o un plan integral, que deberá adecuarse a cada situación particular, considerando el impacto y consumo de recursos, teniendo en cuenta: la composición de los residuos, la disponibilidad de mercados para los materiales reciclados, la situación económica de la región, el clima político de la comunidad, la participación de la comunidad.

4.1 Tipos de residuos generados en la industria de la construcción.

Los residuos de construcción son una variada serie de materiales generados en actividades de construcción y demolición, los cuales varían de forma importante dependiendo de aspectos como el tipo de actividad que los origina y el tipo de construcción o demolición de que se trate.

De acuerdo a datos obtenidos en la empresa Concretos Reciclados S.A. de C.V, se puede considerar de forma general que los residuos de la industria de la construcción están constituidos por concreto en un 20%, material de albañilería en un 50%, asfalto 10% y otros materiales 20%.

La mayor parte del *asfalto* proviene de proyectos de conservación de la carpeta asfáltica de calles y carreteras (los pavimentos de asfalto están compuestos por una mezcla en la que el 5% son aceites y el 95% restante son agregados). La mayor parte del viejo pavimento es procesado y reutilizado para bases de caminos, pero más del 40% puede ser incluido en nuevos pavimentos.

La mayor parte del *concreto* es recuperado de caminos, puentes y cimentaciones; éste es procesado para bases de caminos, agregados en pavimentos asfálticos, y como sustituto para grava en la creación de nuevos concretos. Los pedazos de concreto son triturados y

el material férreo es removido; el agregado resultante es clasificado por tamaños para ser utilizado según las necesidades del constructor.

Los desechos de *madera* provenientes de la construcción o demolición están compuestos por tablas, maderas tratadas, maderas contrachapadas y maderas contaminadas por pinturas, asbestos y otros materiales químicos. Debido a que la mayor parte de la madera que se procesa es usada como combustible o en elementos de jardinería los procesadores de la misma usualmente sólo aceptan maderas limpias. La *madera* es un material perfecto en cuanto a la adecuación de objetivos respecto al medio ambiente. Si la gestión de la madera como recurso natural es correcta, el balance ecológico es positivo y el desarrollo de la actividad es sostenible. Además el ciclo de vida natural de la madera puede reducir el efecto invernadero, ya que convierte el dióxido de carbono en oxígeno.

Actualmente la madera es un material poco aprovechado en el sector de la construcción. Sin embargo, la madera que se utiliza en el sector de la construcción o encontrada en el derribo es fácilmente reciclable o bien reutilizable en su forma original. La reutilización depende del tratamiento sometido a la madera y su condición.

El reciclaje involucra un proceso de trituración para la fabricación de tableros aglomerados. La madera recuperada se utiliza de guarniciones hasta en barreras de seguridad y permite nuevas utilidades, sea en forma de elementos completos (vigas y armaduras), mineralizándola y haciendo paneles de madera/cemento, o laminándola para hacer parquet, por ejemplo.

En muchos lugares, los *muros de yeso* eran arrojados con los desechos producidos por los hogares, pero la experiencia ha mostrado que estos no son completamente inertes o benignos. La descomposición anaeróbica de los *muros de yeso* pueden resultar en la

generación de gases de sulfuro de hidrógeno. En su proceso de reciclado el yeso interior es pulverizado y regresado a los productores de estos tipos de muros y se está tratando de procesar el papel de desecho para que éste pueda ser incorporado en las caras de nuevos muros.

Los *metales* suponen el 2.5 en peso de los residuos de construcción y demolición, siendo la mayor parte recuperables. La recuperación de los *metales* es beneficiosa para el medio ambiente ya que son materiales difícilmente degradables y pueden reciclarse y reutilizarse casi indefinidamente.

El comercio de chatarra férrica (hierro y acero) y no férrica (aluminio, cobre, plomo) es un buen negocio. Estos materiales de segunda mano son un recurso importante para determinados procesos, ya que recorta el gasto en materias primas y de energía empleada, como sucede por ejemplo, en la fabricación del acero. Por ello, la chatarra férrica procedente de material de construcción tiene asegurada su colocación en el mercado a buen precio, e igual sucede por ejemplo con el aluminio. Éste último, recuperado de los envases como latas de bebidas tiene un alto valor en el mercado de materias secundarias y es el más valioso respecto de otros materiales.

El *acero* es el material común de construcción que tiene mejores prestaciones mecánicas. Su límite elástico es muy alto, de modo que pequeñas secciones soportan esfuerzos importantes. La vida útil del acero excede a la del edificio y su elevado costo de fabricación e impacto ambiental global, hacen énfasis sobre el aprovechamiento potencial del reciclaje. El procesamiento de los residuos de acero suele ser de manera manual. Debido al elevado costo del acero, su reciclaje mediante fundición normalmente funciona solo.

Su durabilidad puede verse limitada, ya que es sensible a los procesos de oxidación y corrosión en contacto con el agua, en atmósferas húmedas o agresivas. Sin embargo, aunque sus residuos estén en mal estado, es reciclable. Por esta razón, este proceso tiene un impacto inferior al de la fabricación de acero que no contenga residuos de este material. El *acero de refuerzo* utilizado en cimentaciones, losas y pavimentos es usualmente recuperado y vendido a los distribuidores de desechos. Los productores también recuperan desechos no féreos como marcos de ventanas de aluminio, pantallas de puertas, canaletas, cobre y tuberías de instalaciones hidráulicas.

La mayor fuente de *aluminio* proviene de los marcos de ventanas. Contiene un alto nivel energético destacando el aprovechamiento de su reciclaje mediante fundición. Su procesamiento es de forma manual. El aluminio es semejante al acero y dispone de un mercado del reciclaje que normalmente funciona solo.

En la industria de la construcción en muchas ocasiones se fabrican puertas de baja calidad constan de dos chapas de madera en cuyo interior se encuentran unas celdas hechas de *papel*. El *papel* de desecho puede ser triturado y reciclado varias veces. Sin embargo, en cada ciclo, del 15 al 20 por ciento de las fibras se vuelven demasiado pequeñas para ser usadas. La industria papelera recicla sus propios residuos así mismo los recolecta de otras empresas, como los fabricantes de envases y embalajes así como las imprentas. El papel y el cartón se recolectan, se separan y posteriormente se mezclan con agua para ser convertidos en pulpa. La pulpa de menor calidad se utiliza para fabricar cajas de cartón. Las impurezas y algunas tintas se eliminan de la pulpa de mejor calidad para fabricar papel reciclado para impresión y escritura. En otros casos, la fibra

reciclada se mezcla con pulpa nueva para elaborar productos de papel con un porcentaje de material reciclado.

La clasificación de los *plásticos* en nuestro país está fundamentada en el Código de Identificación que es adoptado en México el 25 de Noviembre de 1999 en la NMX-E-232-SCFI-1999 y basado en la identificación de Europa y países de América, este código se muestra en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Código de identificación de plásticos.

Nombre	Abreviatura (opcional)	Número de identificación
Polietilentereftalato	PET o PETE	1
Polietileno de alta densidad	PEAD o HDPE	2
Policloruro de vinilo o Vinilo	PVC o V	3
Polietileno de baja densidad	PEBD o LDPE	4
Polipropileno	PP	5
Poliestireno	PS	6
Otros	Otros	7

Fuente: Asociación Nacional de la Industria Química A.C. 2006

Existen algunos de estos *plásticos* son de empleo común en la industria de la construcción. Tal es el caso *del poliestireno expansible (EPS)*. Es un material que cuenta con propiedades como aislante térmico, aislante acústico, facilidad de manejo, de corte, buena estabilidad dimensional, prácticamente nula absorción de agua, aceptación de acabados tradicionales, entre otros, provocando su uso mas generalizado en la industria de la construcción en forma de muros divisorios, plafones, ductos de aire acondicionado, aislamientos, marinas flotantes, muros de carga, losas, y otras aplicaciones.

Policloruro de Vinilo (PVC). Con aditivos es el más versátil de los termoplásticos y puede ser sometido a variados procesos para su transformación, lo que le ha hecho ocupar, por su consumo, en el segundo lugar mundial detrás del polietileno. Se emplea en la fabricación de tuberías, botellas (aceites comestibles, shampoo y agua purificada) película, láminas, perfiles, entre otros.

4.2 Reutilización de los residuos en la construcción.

4.2.1 Utilización de los residuos de concreto.

Respecto al procesamiento, hay que diferenciar 2 fases; una primera de *demolición* y una segunda de *transformación* de los escombros en agregados. Si los escombros van a ser reciclados, conviene utilizar métodos de demolición que reduzcan *in situ* los escombros a tamaños que pueden ser tratados por un triturador primario de la planta de reciclaje (menores de 1,200 mm en plantas fijas y de 400 a 700 mm para plantas móviles). Así mismo, los procesos de demolición selectiva pueden ayudar a disminuir la presencia de impurezas en los escombros, como por ejemplo el yeso.

Las plantas de producción de agregados reciclados a partir de concreto de demolición son bastante similares a las plantas de trituración de agregados de origen natural, incluyendo trituradoras, cribas, mecanismos transportadores y equipos para la eliminación de contaminantes así como electroimanes para la separación del acero. Existen plantas de primera, segunda y tercera generación, en función de la capacidad de las mismas para separar y reutilizar los diferentes compuestos del producto machacado.

Una vez procesados los agregados se almacenan, teniendo en cuenta que se deben almacenar por separado los agregados naturales y los reciclados, así como diferenciar los finos de los gruesos, y que la absorción de agua del agregado grueso es elevada, por lo que éstos se deben usar normalmente en condiciones de saturación. Los almacenes de dichos agregados deben estar provistos de aspersores de agua para mantener estas condiciones de humedad.

Las principales aplicaciones de los agregados provenientes del concreto triturado son en carreteras (bases y sub-bases sin tratar, o tratadas con cemento o algún tipo de

aglutinante, y en menor medida en capas superficiales del firme) y en edificación u otras obras públicas.

4.2.2 Utilización de agregados reciclados en la construcción

La incorporación de los residuos de construcción y demolición a la estructura de una carretera puede hacerse, siempre y cuando se cumplan con las condiciones técnicas y medioambientales exigidas, como materiales para la ejecución de rellenos, en explanadas y como agregados reciclados para diversas capas del firme.

En España, las especificaciones técnicas que se refieren a la utilización de agregados reciclados en la construcción de capas de firmes de carreteras se encuentran esencialmente recogidas dentro de la normativa AENOR-CEN, el Pliego de Prescripciones Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3) y el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Conservación de Carreteras; sin embargo, en México aún no se cuenta con la presencia de algún instituto que regule o acote la calidad de los materiales a emplear en diferentes tipos de obra y que sean obtenidos bajo algún procedimiento de reciclaje.

4.2.3 Comportamiento mecánico del concreto fabricado con agregados reciclados

El material reciclado que resulta del escombros obtenido por la demolición, que posee materiales mezclados, presenta una notable capacidad de soporte, caso siempre con valores superiores a 50 (índice CBR), lo cual lo convierte en un material para ser usado como sub-base. El material reciclado proveniente de escombros obtenido únicamente por demolición de concretos ya sean armados o simples, presenta valores soporte California (CBR) superiores al 80 %, lo cual lo convierte en un excelente material para ser empleado en capas de base hidráulica (Concretos Reciclados S.A. de C.V. 2006).

Por otro lado según investigaciones realizadas en el año 2006 se reveló que el agregado reciclado con granulometría adecuada produce mezclas de buena calidad y con un comportamiento mecánico similar al de los concretos naturales. Los concretos reciclados pueden ser utilizados como concretos clase dos, lo que lo convierte en un concreto con una cantidad de aplicaciones nada despreciables. En las resistencias a la tensión y flexión, se encontró que para consumos de cemento de 300 kg/m^3 y mayores, la relación $f_t/f_c^{1/2}$ y $MR/f_c^{1/2}$ eran menores para los concretos reciclados, lo que se puede deber a que a bajas relaciones agua-cemento, domina el comportamiento del agregado grueso y a altas relaciones agua-cemento domina el de la pasta. Lo que conlleva a pensar que el agregado reciclado tiene su mejor aplicación en consumos de cemento bajos hasta 300 kg/m^3 , debido a que para consumos mayores pueden resultar mezclas antieconómicas (Martínez *et al.* 2006).

4.3 Reciclado de pavimentos.

El reciclado de pavimentos consiste en la reutilización de los materiales existentes en firmes degradados de nuevos firmes. Ello implica habitualmente una serie de operaciones de disgregación, tratamiento y reposición del material, convenientemente mezclado con aglomerantes y agua.

Por una parte los denominados pavimentos asfálticos o flexibles, que permiten ser reciclados en central o *in situ*, en frío o en caliente. El proceso incluye la disgregación del material, su mezcla con aglutinantes y/o agua, así como su extensión y compactación, en ocasiones pueden añadirse materiales granulares nuevos, conglomerantes hidráulicos y completarse el paquete de firmes con nuevas capas de mezclas bituminosas.

Por otro lado los pavimentos de concreto o rígidos, en los que el proceso de reciclado comporta su demolición y triturado para la obtención de materiales utilizables en nuevas capas de firme, habitualmente capas de base o sub-bases de nuevos firmes de nuevos firmes, tratadas o sin tratar. Otra posibilidad es su empleo en la fabricación de nuevos concretos.

Todas estas técnicas son utilizadas en la actualidad para obras de carreteras y aeroportuarias con resultados satisfactorios. En países como España, la base legal que sustenta su utilización es la Orden Circular 8/2001 sobre Reciclado de firmes, que recoge los tres primeros artículos del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Conservación de Carreteras (PG-4). Se establece que las técnicas de reciclado deben tenerse en cuenta en el análisis de soluciones para los proyectos de rehabilitación de firmes en los que la superficie a rehabilitar sea superior a los 70, 000 m².

En México, mediante la publicación de la **Norma NADF- 007-RNAT-2004** se pretende establecer una clasificación y las especificaciones para el manejo de residuos, sin embargo, el alcance de dicha norma es limitado.

Con la reutilización de este tipo de materiales se pueden esperar beneficios como:

- Reducción del impacto ambiental generado por la explotación de canteras para la explotación de agregados naturales, y el consumo de otras materias primas y productos químicos diversos para la elaboración de nuevos concretos.
- Reducción de la producción y el depósito en vertederos de los materiales extraídos como residuo.
- Reducción del impacto social y las emisiones producidas por el tráfico de camiones y otras máquinas que habrían de transportar y elaborar todas las materias y productos necesarios para realizar un nuevo pavimento y durante la

demolición y el transporte de los materiales procedentes del firme antiguo hasta su depósito en vertederos adecuados.

- Si el reciclado es además *in situ*, el ahorro en transporte y emisiones es mayor, consumiéndose además menos energía, especialmente si el reciclado es en frío.
- En algunos casos el reciclado in situ supone la no interrupción total del tráfico, y la posibilidad de rápida apertura tras las obras con los consiguientes beneficios (evitar la realización de pistas o trazados alternativos, retenciones...).

El futuro de estas aplicaciones pasa, no sólo por la aplicación y mejora de estas técnicas al mantenimiento de una cada vez más extensa red de carreteras, sino también por la incorporación de otros residuos de la construcción y demolición, provenientes de otras actividades constructivas, que cumplan con los requisitos de los materiales en las distintas capas del paquete de firmes, tanto en rehabilitación o mantenimiento, como en nuevas realizaciones.

En la Tabla 4.2, se indican a manera de resumen, posibles vías de valorización para aquellos residuos procedentes de la construcción y demolición, de origen no pétreo que, en general, pese a su baja generación en el sector, tienen un elevado potencial de valorización.

Tabla 4.2 Valorización de materiales de origen no pétreo.

Tipo de residuo	Composición de residuos de construcción y demolición (%)	Posibilidades
Madera	4	<ul style="list-style-type: none"> -Fácilmente reciclable o bien reutilizable en su forma original, en función del uso al que ha sido sometido y su condición. -Proceso de trituración para la fabricación de aglomerados. -Guarniciones. -Barras de seguridad. -Elementos completos. -Paneles de madera-cemento. -Laminación para hacer parquet.
Metales (acero o aluminio)	2.5	<ul style="list-style-type: none"> -Fundición para su reintroducción en el ciclo productivo como materia virgen; no se conocen limitaciones en las posibilidades de este residuo.
Plástico	1.5	<ul style="list-style-type: none"> -Reciclado mecánico para tuberías, persianas, perfiles de ventanas y grandes firmes al ser fácilmente extraíbles. -Reciclado químico para bolsas y plásticos heterogéneos. -Valorización energética mediante incineración con recuperación energética, uso como combustible en cementeras y centrales térmicas, así como gasificación para obtención de energía eléctrica.
Vidrio	0.5	<ul style="list-style-type: none"> -Empleo mezclado con materia prima en la fabricación de nuevos envases. -Otras aplicaciones: agregado para concretos flexibles y rígido, fibra de vidrio, losetas, recipientes artísticos, material abrasivo, reforzamiento de ladrillos, etc.
Papel	0.3	<ul style="list-style-type: none"> -Papel para impresión y escritura. -Papal prensa. -Papeles higiénicos y sanitarios. -Papeles para envases y embalajes.

Fuente: Gestión de Residuos de Construcción. Grupo de Trabajo 14. 2005

Aunque en México no existen figuras exactas del reciclaje de residuos industriales, los materiales que son reciclados y reutilizados más frecuentemente incluyen madera, ladrillos, papel, cerámica, vidrios y tierra de la capa superficial del suelo.

El reciclaje de otros residuos industriales más prominentes como cemento y asfalto aún no prevalece en México debido en parte a la gran cantidad de capital que involucra. El reciclaje de residuos industriales es muy costoso. La industria de la construcción quizás no ha recibido la atención ambiental que debería, hay una necesidad de identificar el volumen de residuos industriales generados, los tipos de materiales utilizados y técnicas aplicables y criterios para el manejo y el reciclaje de esos residuos para que estas prácticas se generalicen en nuestro país.