

RESIDUOS DE OBRAS CIVILES Y FORMAS DE RECICLAJE

Nombre de los Autores : Santiago Mullin ⁽¹⁾. Milenka Sojachenski ⁽²⁾

Lugar de Trabajo de los integrantes por grupo:

(1) Universidad de Montevideo. Facultad de Ingeniería.

(2) LKSur Consultores.

Dirección⁽¹⁾:

Calle: Centenario 2982 – apto. 301

Ciudad: Montevideo

Uruguay

CP: 11600

Tel: 598 (2) 4802059

Fax: 598 (2) 4877102

e-mail: smullin@um.edu.uy

RESUMEN

El sector de la construcción puede alcanzar grandes beneficios económicos y ambientales con la minimización y reciclaje de los grandes volúmenes de residuos generados en obras civiles. Este sector representa entonces un polo de desarrollo económico dentro de la industria del reuso y reciclaje, y aplicación de Producción más limpia.

INTRODUCCIÓN

La generación de residuos esta relacionada con la propia existencia del ser humano y sus actividades.

El desarrollo de las ciudades ha producido un aumento en la demanda de la construcción de obras civiles. La mayoría de estas, a lo largo de la historia, fueron proyectadas y construidas sin tomar en cuenta los impactos al medio ambiente producidos por la generación de grandes cantidades de residuos.

Parte de los mismos son eliminados en lugares inadecuados, comúnmente clandestinos, contaminando no solo los suelos sino también cursos de agua. Inicialmente los residuos generados eran de fácil asimilación por el ambiente; sin embargo, la actual complejidad de la composición de los residuos, la creciente generación de los mismos, (originada por un aumento poblacional, la industrialización y el incremento de las actividades productivas), y su eliminación de manera desordenada, hacen de la asimilación un proceso más lento y complejo, teniendo como resultados grandes impactos sobre las sociedades y el medio ambiente.

Esto a llevado a las autoridades gubernamentales y a responsables por la generación de los residuos, a la búsqueda de soluciones para un tratamiento adecuado de los mismos. A su vez, la competencia entre empresas se traduce en una preocupación por optimizar procesos y reducir costos, generando mecanismos que reducen el impacto sobre el medio ambiente.

OBJETIVOS Y METAS

Los objetivos del presente trabajo son:

1. Presentar tipos de residuos generados en la construcción civil y su clasificación según las leyes extranjeras.
2. Presentar experiencias de casos reales de reciclaje y de reutilización para los Residuos de Obras Civiles (en adelante ROC).
3. Introducir el concepto de Producción más Limpia (en adelante PmL) y su aplicación para la mejora en la gestión de residuos de la construcción y obtención de beneficios económicos.

METODOLOGIA

La **gestión de los residuos** es el sistema de manejo que tiene como objetivo reducir y/o reutilizar residuos e incluye el planeamiento, procedimientos y recursos para desarrollar e implementar las acciones necesarias para el cumplimiento de sus etapas. Tiene como meta la efectiva reducción de impactos ambientales, especificando las responsabilidades de los generadores de residuos, aprovechando los materiales provenientes del reciclaje de residuos.

Es conveniente mencionar la diferencia entre la **reutilización** y el **reciclaje**. En el primer caso el residuo es utilizado sin sufrir transformación alguna, mientras que en el segundo éste es sometido a una transformación previo a su reaprovechamiento.

La jerarquía de principios que debe seguir toda política de gestión de residuos, comienza con la prevención, luego, el fomento de la valorización y, finalmente, la eliminación final segura, siendo obligatorio el establecer planes de gestión de residuos, herramientas esenciales para la realización de esta política.

1. Tipos de residuos generados en la construcción civil y su clasificación según las leyes extranjeras.

Los datos y características de los ROC pueden variar dependiendo de la zona en estudio, ya que la producción por habitante de este tipo de residuo está directamente relacionada con la densidad de población de la zona, el porcentaje de población urbana y el nivel de vida de la misma. Hasta hace muy poco tiempo estos residuos se destinaban, casi en su totalidad, al depósito en vertedero, dado que los costos de vertido hacían que no fuera competitiva ninguna otra operación ambientalmente más correcta. La incorrecta gestión de los ROC hizo que se extendieran un número importante de vertederos ilegales, responsables del grave impacto ambiental causado a lo largo de los años. El depósito de estos residuos en terrenos no condicionados especialmente para este fin puede traer como consecuencia la contaminación del suelo, o incluso de las aguas subterráneas, ya que algunos los ROC no clasificados pueden contener residuos peligrosos.

Además del deterioro ambiental y paisajístico causado, hay que tener en cuenta que se está perdiendo una suma importante de materiales que podrían ser recuperados y reutilizados, debido a que muchos de estos residuos tienen un valor económico considerable.

El consumo excesivo de recursos naturales para la construcción sumado al impacto ambiental provocado por su continua extracción, han hecho necesario la búsqueda de estrategias de minimización (Producción más Limpia) y de reciclaje de los residuos.

Algunas de las principales instituciones internacionales que se destacan en el sector de los ROC son:

- Estados Unidos: Asociación de Residuos Sólidos de América del Norte (SWANA)
- Comunidad Europea: Comité CEN/TC-154 AHG – Recycled Aggregates
- Holanda: Centro Holandés de Investigación y Códigos de Ingeniería (CUR)
- Alemania: Instituto Alemán para la Identificación y Garantía de Calidad (RAL)
- Japón: Sociedad de Constructores de Japón (B.S.S.J.)
- Comité Técnico 121 – DRG (Demolition and Reuse of Concrete) de la Unión Internacional de Laboratorios de Ensayos e Investigaciones sobre Materiales y Construcciones (RILEM).

Para conocer la viabilidad de un sistema de reciclaje, es preciso conocer la composición y cantidad de los residuos, la cual puede variar de acuerdo al sistema constructivo y la disponibilidad de materiales, mano de obra y tecnología utilizada en la región. Los mismos provienen de las actividades propias de la construcción, reformas, mantenimientos y demoliciones de obras de construcción civil, excavaciones de terrenos, y están constituidos por:

Residuos inertes de hormigones encontrados en cimientos, contenciones, elementos estructurales ejecutados in situ o prefabricados, revestimientos continuos, pavimentos de hormigón, etc. Además forman parte de estos residuos los ladrillos, azulejos, cerámicos, tejas, tierras procedentes de excavaciones, pétreos, arcilla, desmontes, etc.

Residuos no inertes, derivados de materiales tales como plásticos (envases no contaminados, restos de tuberías, revestimientos plásticos, etc.), papel y cartón (cajas de cartón, bolsas de cemento, etc.), maderas (restos de encofrado, puntales, parquet, cerramientos, etc.) y metales (restos de varillas de acero, clavos, trozos de chapa, elementos formando parte de sistemas de evacuación de aguas pluviales, sistemas de cierre (cerraduras), tuberías de hierro, cobre, carpinterías, elementos que forman parte de instalaciones de gas, calefacción, etc), vidrio, yeso (en particiones interiores, placas), etc.

Residuos especiales o peligrosos, compuestos por materiales peligrosos, tales como restos de electrodos, pilas, envases de pintura, solventes, aditivos, y residuos contaminados con hidrocarburos (trapos, viruta, suelos con derrames), cubiertas, aceites usados y baterías usadas.

Residuos asimilables a domésticos, aquellos que se generan en obra como restos de alimentos, envases descartables, bolsas de polietileno, etc.

Pues bien, si quisiéramos identificar los tipos más comunes de ROC, estos serían residuos provenientes de:

- obras nuevas y reformas;
- demoliciones;
- de la industria de materiales para la construcción;
- demolición de pavimentos (de concreto asfáltico fundamentalmente) ;
- limpieza de terrenos
- desastres o accidentes

Esta clasificación genérica e introductoria sirve de marco general para una adecuada comprensión desde un punto de vista estrictamente legal

EUROPA - ASPECTOS LEGISLATIVOS

El sostenido crecimiento en la producción de ROC en la Unión Europea (en adelante UE) ha motivado a esta última a la continua búsqueda por desarrollar políticas de protección del medio ambiente, de rápida y eficaz aplicación. A tales efectos la UE ha adoptado medidas que han llevado a sus países miembros a desarrollar leyes e iniciativas económicas con la clara intención de provocar un cambio firme y sostenido en la forma de disponer los ROC.

A continuación se presentan cantidades estimadas de generación, tratamiento y destino final de los ROC para algunos países de la Unión Europea.

Tabla 1– Estimativo de ROC reciclados en la UE

País	Producción (millo de ton. / año)	% reuso y reciclaje	% incineración y relleno
Alemania	59	17	83
R.U.	30	45	55
Francia	24	15	85
Italia	20	9	91
España	13	<5	>95
Holanda	11	90	10
Bélgica	7	87	13
Austria	5	41	59
Portugal	3	<5	>95
Dinamarca	3	81	19
Grecia	2	<5	>95
Suecia	2	21	79
Finlandia	1	45	55
Irlanda	1	<5	>95
Luxemburgo	0	n/a	n/a
EU-15	180	28	72

Fuente. Informe Symonds

Una clara muestra de esta apuesta es el "Catálogo Europeo De Residuos" (en adelante CER). El CER es una lista armonizada y no exhaustiva de residuos, es decir, una lista que será revisada periódicamente y, cuando sea necesario, modificada con arreglo al procedimiento del Comité.

El CER está destinado a ser una nomenclatura de referencia que sirva de terminología común en toda la Comunidad con el fin de aumentar la eficacia de las actividades de gestión de residuos. A tal respecto, el Catálogo Europeo de Residuos constituye una referencia básica del programa comunitario de estadísticas de residuos, iniciado de conformidad con la Resolución del Consejo, de 7 de mayo de 1990, sobre la política en materia de residuos.

En el CER los ROC, en cuanto a su clasificación, figuran en el capítulo 17, definidos como Residuos de la construcción y demolición (incluyendo la construcción de carreteras) o RCD.

El primer CER fue aprobado por la Comisión Europea en el año 1994, pero fue modificado por varios motivos el 3 de mayo de 2000. En esta última publicación del CER se ampliaron las categorías consideradas y algunos ROC fueron clasificados como peligrosos.

La versión vigente del CER clasifica los ROC de la siguiente forma:

17 Residuos de la construcción y demolición (incluyendo la construcción de carreteras)

17 01 Hormigón, ladrillos, tejas, materiales cerámicos y materiales de construcción derivados del yeso y del amianto

17 02 Madera, vidrio y plástico

17 03 Asfalto, alquitrán y otros productos alquitranados

17 04 Metales (incluyendo sus aleaciones)

17 04 01 Cobre, bronce, latón

17 04 02 Aluminio

17 04 03 Plomo

17 04 04 Zinc

17 04 05 Hierro y acero

17 04 06 Estaño

17 04 07 Metales mezclados

17 04 08 Cables

17 05 Tierra y piedras que contienen sustancias peligrosas y aquellas distintas a las anteriores; y lodos de drenaje que contienen sustancias peligrosas y aquellos distintos a los anteriores.

17 06 Materiales de aislamiento con amianto y otros materiales de aislamiento

17 07 Residuos de construcción y demolición mezclados o fracciones separadas que contienen sustancias peligrosas y aquellos distintos a los anteriores.

A modo introductorio presentamos un resumen de las principales aplicaciones y consideraciones de las normativas de cada país:

▪ Alemania

Luego de la segunda guerra mundial se utilizó material reciclado en grandes cantidades en la producción de hormigones de usos diversos. Se fabricaron hormigones de peso específico entre 1600 y 2100 kg/m³, resistencias en el entorno de 30 MPa y un módulo de elasticidad de 15 GPa.

Actualmente, en Alemania no está permitido el uso de material reciclado en hormigones nuevos. El material reciclado es utilizado en pavimentos para caminería, siempre y cuando el mismo cumpla con las condiciones de calidad establecidas por las normas correspondientes.

De acuerdo con la normativa alemana, el material reciclado no alcanza la resistencia mecánica suficiente para poder ser utilizada en hormigones, y su densidad es muy alta como para ser utilizada en hormigones livianos (Hansen 1992).

▪ Bélgica

Según Levy (1997^a) Bélgica fue uno de los pocos países donde se identificaron serios problemas debido al uso de hormigones hechos con material reciclado. Levy mismo afirma que dos puentes debieron ser demolidos por problemas vinculados a la temática. Actualmente se están desarrollando investigaciones al respecto, tomando en especial consideración la durabilidad de los hormigones.

▪ Dinamarca

De acuerdo a Hansen (1992), las normas danesas permiten el uso de hormigones fabricados con material reciclado en algunas aplicaciones particulares, incluyendo algunos hormigones estructurales.

Los hormigones son clasificados en dos categorías de acuerdo a su resistencia mecánica, aquellos cuya resistencia mecánica no supera los 20 MPa y aquellos cuya resistencia mecánica supera los 20 MPa pero no los 40 MPa.

La masa específica del hormigón fabricado a partir del reciclado de hormigón no debe ser inferior a las 2200 kg/cm³, mientras que los hormigones fabricados en base a otros residuos de albañilería debe ser de 1800 kg/cm³.

Los mismos deben cumplir además con exigencias nacionales referidas al contenido de contaminantes.

Investigaciones y experimentos realizados en Dinamarca muestran que los concretos tradicionales y los reciclados tienen curvas tensión-deformación (σ, ξ) muy similares, lo cual ha permitido adoptar, a los efectos de cálculo de estructuras, módulos de elasticidad proporcionales al del hormigón tradicional. En el caso de hormigones elaborados en base al reciclaje de hormigón, la relación adoptada es del 80%, mientras que en el caso del hormigón elaborado en base a reciclado de otros residuos de albañilería la relación adoptada es del 50%.

▪ Estados Unidos

En el caso de Estados Unidos, es muy utilizado el hormigón reciclado en el sector de caminería, a pesar de no ser exigidos ensayos específicos (Hansen 1992).

Las empresas que reciclan ROC, colocan los mismos en el mercado a precios bajos, lo cual inevitablemente lleva a que el costo de traslado de los mismos y en consecuencia la ubicación de la planta, sean factores decisivos para la compra. De acuerdo a lo establecido por SWANA (Solid Waste Association of North America), en 1993 ya habían 113 recicladoras legalmente habilitadas, un número mayor operando irregularmente y varias en proceso de admisión. La GBB estima que en Estados Unidos, aproximadamente 50 millones de toneladas por año de pavimento es re-utilizado. Entre un 20 y un 50% del mismo se vuelve a transformar en pavimento en forma de RAP (Reclaimed Asphalt Pavement).

Si bien el país está empezando a investigar y experimentar sobre las opciones que ofrece el reciclado de ROC, no hay reglamentaciones federales vigentes, aunque algunos estados en forma individual e independiente hayan incursionado en esta área.

▪ Holanda

Este país se destaca en esta materia, siendo un modelo de gestión y eficiencia. Holanda en la actualidad recicla 90% de los ROC generados. En Holanda se han desarrollado normas para elaboración de hormigones comunes, armados y postensados, a partir de ROC.

De acuerdo a las normas holandesas, aquellos hormigones cuyo contenido de hormigón reciclado no supere el 20% del total, en masa, puede ser considerado como hormigones comunes. (CUR, 1986)

▪ Japón

En el Ministerio de la Construcción de Japón se está desarrollando un servicio de información para la reutilización y reciclaje de ROC. En esta primera etapa se está estudiando el reciclaje de hormigones concretamente y pavimentos, quedando en segunda instancia los restantes materiales. Se estima que en 1990 la industria de la construcción en Japón generó 76 millones de toneladas de ROC, un 20% del total de los residuos generados en este país.

Esfuerzos en la búsqueda de una adecuada reglamentación para el uso de agregados reciclados han sido plasmados en el documento "Propuesta Normativa para el uso de agregados reciclados y hormigón con agregados reciclados" de la BCSJ (Building Contractors Society of Japan – Hansen 1992). De acuerdo a Hansen (1992) esta propuesta presenta diferencias importantes con las europeas y americanas vigentes.

▪ Rusia

Institutos de investigación rusos de Hormigón y Hormigón Armado han publicado recomendaciones acerca del reciclaje de agregados y hormigón. De acuerdo a Hansen (1992) los mismos indican que es posible de uso, siempre y cuando sean mezclados con agregados tradicionales, en: pisos, fundaciones (estructurales y de pavimentos) y elaboración de hormigones de hasta 20 MPa (incluyendo estructurales).

Sin embargo, los ensayos demostraron que el hormigón elaborado en base a ROCs tiene coeficientes de fluencia y retracción muy altos, y un módulo de elasticidad muy bajo, lo cual impide su uso en hormigones postensados.

Esta primera visión normativa de los ROC que nos da la legislación vigente en Europa, complementada con iniciativas en Estados Unidos y Japón, ofician como un apropiado canal para introducir una normativa vigente de mayor proximidad geográfica y similitud en cuanto a materiales, procedimientos y tecnologías, y por ende de considerable influencia en Uruguay; hacemos referencia a la Resolución CONAMA 307 / 02 de **Brasil**.

La misma tiene como principales objetivos:

- Una efectiva reducción de los impactos ambientales generados por los ROC
- Impedir la disposición final de ROC en sitios inadecuados
- Asignar responsabilidades a los generadores de ROC
- Optimizar el aprovechamiento de materiales provenientes de ROC
- Permitir y facilitar una gestión integral de los ROC

Es menester entonces aclarar los conceptos que la norma entiende por ROC y generadores:

- ROC: residuos provenientes de construcciones, reformas, reparaciones y demoliciones de obras de construcción civil, y residuos generados en reparaciones y excavaciones de terrenos, tales como:

ticholos, bloques, cerámicas, hormigones, metales, tintas, maderas y compensados, yeso, tejas, pavimentos asfálticos, vidrios, plásticos, tuberías, etc; comúnmente conocidos como "escombros".

- Generadores: son aquellas personas, físicas o jurídicas, públicas o privadas, responsables por actividades o emprendimientos que generen ROC.

La clasificación que la presente norma realiza, detallada en el artículo 3, sobre los ROC es más genérica que la normativa europea y por tanto, cada clase abarca un espectro más amplio de ROC:

1. Clase A – son aquellos residuos reutilizables o reciclables como agregados, provenientes de: construcciones, demoliciones, reformas y reparaciones de edificaciones o pavimentos, de otras obras de infraestructura, suelos provenientes de terraplenes, de procesos de fabricación y / o demolición de piezas pre-moldeadas.

A modo de ejemplo citamos: cerámicas, revoques, hormigones, bloques, etc.

2. Clase B – son aquellos residuos reciclables en otros sectores, tales como: plásticos, papeles, vidrios, metales, maderas, etc.
3. Clase C – son aquellos residuos para los cuales aún no ha sido desarrolladas tecnologías o aplicaciones económicamente viables que permitan su reciclaje o recuperación, tal es el caso del yeso.
4. Clase D – son los residuos peligrosos propios del proceso de la construcción. Tal es el caso de: tintas, solventes, aceites y otros; o aquellos contaminados o perjudiciales para la salud originados en demoliciones, reformas o reparaciones de clínicas radiológicas, instalaciones industriales y otros.

La presente resolución es complementada por las siguientes normas técnicas:

ABNT NBR 15112 – Residuos de la construcción civil y residuos voluminosos – área de traspaso y disposición – directrices para proyecto, implantación y operación

ABNT NBR 15113 – residuos de la construcción civil y residuos inertes - disposición final - directrices de proyecto, implantación y operación

ABNT NBR 15114 – Residuos de la construcción civil – áreas de reciclaje - directrices de proyecto, implantación y operación

ABNT NBR 15115 – agregados reciclados de residuos sólidos de la construcción civil – ejecución de capas de pavimento – procedimientos

2. Experiencias de casos reales de reciclaje y de reutilización para los Residuos de Obras Civiles

Si bien existen nuevas tecnologías y otras están en pleno desarrollo, en el presente texto haremos mención a las opciones actualmente aplicadas para reciclaje de ROC.

En ciudades pertenecientes a países donde son aplicadas las citadas normas, es decir, países de la comunidad europea, Japón, Estados Unidos y Brasil, existentes plantas recicladoras de ROC. El producto final extraído de las mismas tiene como principales y genéricos destinos:

- **Hormigones estructurales:**

En algunos países es factible reciclar hormigón estructural para ser utilizado nuevamente a tales efectos. Esta área no está muy desarrollada aún dado que no existe información al respecto a las características físicas y químicas que garanticen la calidad y durabilidad del mismo.

- **Hormigones tradicionales (no estructurales):**

Este es uno de las principales aplicaciones que se le da a los ROC reciclados. Se debe prestar especial atención a la función que habrá de cumplir el hormigón, dado que puede ser necesario realizar análisis o ensayos previos para verificar el cumplimiento de algunas propiedades específicas. Tal es el caso de hormigones para contrapisos, donde es extremadamente importante determinar su comportamiento frente a altos porcentajes de humedad, a los efectos de evitar problemas de durabilidad ocasionados por cambios volumétricos.

- **Mezcla estructural:**

En los citados países se elaboran mezclas con funciones estructurales basados en ensayos que han demostrado que las mismas presentan muy buena resistencia mecánica y adherencia, aunque cabe destacar la falta de información que existe en lo que refiere a su durabilidad, lo cual permitiría tranquilidad en el uso de las mismas.

- **Revoque grueso:**

Es otra de las principales aplicaciones que reciben los ROC reciclados, principalmente para interiores, dada la falta de información en cuanto a la diferencia de comportamiento que presenta en estado fresco y endurecido, en cuanto a sus propiedades de adherencia, de retracción y otras. Tradicionalmente se apela a la combinación de los ROC reciclados con áridos convencionales, aunque tampoco existe información suficiente sobre las proporciones recomendadas de las mezclas.

- **Fabricación de piezas pre-moldeadas de hormigón:**

Esta es una aplicación válida y vigente para el caso de bloques, ticholos, tuberías y otros componentes para infra-estructuras del tipo urbano.

Sin embargo la utilización de los ROC reciclados en este rubro, para albañilería estructural está en pleno desarrollo y estudio. Actualmente se considera viable esta opción tomando las precauciones debidas y realizando los ensayos pertinentes.

- **Rip-rap:**

El Rip-Rap representa una excelente opción para el uso de ROC reciclados puesto que la propiedad fundamental que los hormigones requieren en este caso, radica en su granulometría, dejando de lado las impurezas (que no estén clasificadas como residuos peligrosos). Esto implica que el proceso de reciclado puede ser más sencillo y en consecuencia más económico y viable.

- **Pavimentos:**

La aplicación en esta área es la que ha mostrado mejores resultados, aún superiores en varios casos a los obtenidos con agregados tradicionales. Existen investigaciones, información, conocimiento y experiencia en esta área.

- **Capas drenantes:**

En este caso es preciso realizar ensayos de composición y granulometría, pues un alto contenido de finos puede llegar a impedir el drenaje y afectar la resistencia mecánica de la capa. En consecuencia, el reciclado en este caso, tendrá un costo adicional que deberá ser considerado para estudiar su viabilidad.

- **Cobertura para rellenos:**

Se pueden obtener capas con buen comportamiento si se realiza una adecuada compactación. Se pueden llegar a obtener suelos con valores interesantes de cohesión que permiten un excelente comportamiento a esfuerzos ocasionados por lluvias. Es importante destacar que en este caso se requiere de un análisis económico para determinar la conveniencia de la aplicación.

Si bien estos conceptos son orientativos en cuanto a las posibilidades tradicionales de reciclaje de ROC, en algunos países, como el caso de Brasil, la legislación puede resultar orientativa o restrictiva en cuanto al destino que se le deba dar a los ROC.

La legislación brasilera, en el artículo 10º de la resolución CONAMA 307 / 02 establece los destinos de los ROC en función de la clasificación ya desarrollada:

1. **Clase A:** estos deben ser reutilizados o reciclados como agregados, de no ser así deberán ser dispuestos en áreas correspondientes a ROC de forma tal que los mismos puedan ser dispuestos para su utilización o reciclado.
2. **Clase B:** deben ser reutilizados, reciclados o enviados a áreas de almacenamiento temporal, para su futura reutilización o reciclaje.
3. **Clase C:** deberán ser almacenados, transportados y destinados conforme las normas específicas del país o región.
4. **Clase D:** dada la clasificación de los mismos se debe apelar al almacenamiento, transporte y destino conforme a las normas técnicas específicas.

Los avances tecnológicos y los conocimientos desarrollados en los últimos diez años, han permitido a las empresas darse cuenta de que una gran cantidad de residuos pueden ser minimizados, reutilizados o reciclados. Esto ha incentivado también un gran número de estudios y proyectos para investigar las nuevas posibilidades de reciclaje.

A pesar de ello, actualmente se reciclan una cantidad muy limitada de ROC. Una de las principales razones por la cuales ocurre esto es que desde un punto de vista puramente económico, el reciclaje de ROC resulta solamente atractivo cuando el producto reciclado es económica y cualitativamente competitivo con las materias primas. Una condición necesaria para que los productos reciclados encuentren su mercado como un sustituto de materias de origen natural es que satisfagan las exigencias técnicas y sean económicamente competitivos. Otro de los principales motivos por los cuales la minimización de residuos y el reciclaje no han tenido éxito son las barreras psicológicas que han mostrado los mercados. Esto causa dificultades considerables para una utilización racional de las posibilidades del reciclaje. Para ello es necesario hacer un gran énfasis en la información y educación.

Para avanzar hacia el logro de esas metas, debe establecerse la selección de los ROC en origen y se debería considerar, incluso, la adopción de posibles medidas para promover técnicas de demolición selectiva que permitan mejorar el aprovechamiento de los ROC resultantes, separando los distintos materiales y previniendo su contaminación con aquellos no reciclables.

3. PmL y su aplicación para la mejora en la gestión de residuos de la construcción y obtención de beneficios económicos

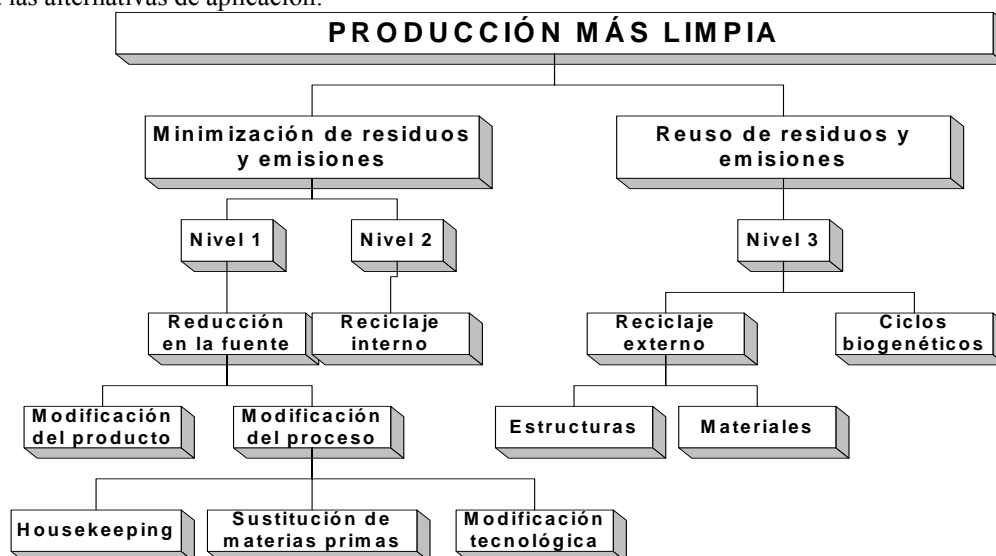
La experiencia internacional ha demostrado que limitar la generación de ROC y una adecuada gestión acorde a las demandas de protección ambiental, e identificar formas de reciclaje, considerada como “amiga” de los recursos naturales, siendo una de las opciones de Producción más Limpia, tiene como consecuencia beneficios económicos, tecnológicos y ambientales para el sector.

Producción más Limpia significa la aplicación continua de una estrategia ambiental integrada a los procesos y productos, con el objetivo de aumentar la eficiencia en el uso de materias primas, agua y energía, a través de la no generación, minimización o reciclaje de residuos.

Las alternativas para minimizar sub-productos, residuos, efluentes y emisiones son:

- Buenas prácticas operativas
- Mejoras en los procesos y la tecnología
- Cambios en el producto
- Cambios en las materias primas
- Técnicas de tratamiento

De acuerdo con la definición y los principios que rigen la PmL, se encuentran varios niveles de prioridad en cuanto a las alternativas de aplicación:



- **Buenas prácticas en PmL:**
optimización de parámetros operacionales, estandarización de procedimientos, mejoras en los sistemas de compras y ventas, mejoras en el sistema de información y capacitación, y mejoras en el sistema de mantenimiento.
- **Cambios de proceso y tecnología en PmL:**
modificación de la tecnología, modificación de etapas de los procesos (inclusión o exclusión), ajustes al lay-out y automatización de procesos.
- **Cambios en el producto en PmL:**
pequeñas modificaciones al producto, ajustes al proyecto y re-diseño del producto (eco-design).
- **Cambios en las materias primas en PmL:**
sustitución de una determinada materia prima o un proveedor, mejoras en el preparado de la materia prima, sustitución de embalajes.
- **Buenas técnicas de tratamiento en PmL:**
logística aplicada a subproductos y residuos, reuso y reciclaje interno, reuso y reciclaje externo, técnicas de "End of Pipe".

La adecuada combinación de un plan de gestión de residuos sólidos (PGRS) y la PmL tiene como resultado un conjunto de técnicas y herramientas que pueden ser utilizadas para minimizar el impacto ambiental de una empresa, mejorando su competitividad y eficiencia.

Por medio del PGRS obtenemos la siguiente información relevante de los residuos generados: composición típica, fuente generadora, contaminantes, clasificación, cantidad generada, forma de acondicionamiento, forma de almacenamiento; transporte interno, transporte externo, frecuencia de retirada y destino final.

Esta información es imprescindible para una adecuada implantación de un programa de PmL, y a partir de la cual, a través del mismo, se identifican alternativas de aprovechamiento y de minimización de los residuos en estudio.

A continuación presentamos beneficios reales que una empresa vinculadas al sector de la construcción ha obtenido a través del reciclaje y / o la aplicación de la PmL en la propia obra:

1. Reciclaje de yeso dentro de la propia obra:

Se utilizó yeso como sustituto de la cal para revoques en paredes externas.

Los resultados fueron una reducción de 36 ton de residuos de yeso y de la misma cantidad en el consumo de cal.

2. Reducción de consumo de yeso:

Mediciones iniciales indicaron que se consumían 5,95 kg de yeso por metro cuadrado de revestimiento (pared). Investigaciones demostraron que se podía reducir el espesor del yeso en 1,2 mm.

Los resultados obtenidos fueron: reducción de 519,64 t de yeso consumido (14,55 t / 56 aptos de 2000 aptos), reducción de 356,07 m³ en el consumo de agua (9,97 m³ / 56aptos de 2000 aptos) y reducción de 157,85 t en los residuos de yeso.

3. Reducción de consumo de azulejos:

Modificaciones en las escuadras de las paredes permitieron reducir el uso de 6.926 kg de materia prima (10480 azulejos + 6600 revoque – 10000 mármol – 154 tinta), reducir el consumo de agua - 3,900 lts y reducir 1,120.00 kg de residuos.

CASO	INVERSIÓN (USD)	TIEMPO DE RETORNO	BENEFICIOS ECONÓMICOS (USD / año)
Reciclaje de yeso	85.000	5,36 años	22.200
Reducción de consumo de yeso	6.000	6 meses	11.500
Reducción de consumo de azulejos	0	Inmediato	33.000

RESULTADOS

Basándose en la normativa brasilera, se presentan casos de reciclaje en el cual se observa claramente la buena gestión de los residuos de obras civiles.

Estos casos implican el uso de productos o materiales, que hasta ese momento eran considerados un residuo, como un ingrediente útil en otro proceso, o como materia prima regenerada del proceso que la ha originado. Así, estas aplicaciones supondrán:

- Reducción en el consumo de materias primas naturales.
- Reducción en el impacto ambiental por el vertido de ROC.
- Incorporación de un nuevo producto, con unas propiedades definidas, en el sector productivo

CONCLUSIONES PRELIMINARES O DEFINITIVAS

Se concluye que la buena práctica de formas de reciclaje así como de no generación y minimización de residuos en la fuente (PmL), trae como consecuencia la reducción del impacto ambiental, traduciéndose en un ahorro en la extracción de recursos naturales, así como reducción de costos y beneficios económicos a la empresa.

Además, el reciclaje de los ROC ofrece un amplio número de posibilidades para reducir el nivel de residuos y de sustitución de materias primas costosas. Es cierto que existen barreras tradicionales, pero hay que vencerlas para ilustrar que la reutilización de residuos de la construcción es el camino del futuro.

La aplicación de materiales reciclados en la producción de agregados para obras de infraestructuras y edificaciones, se realiza garantizando aspectos de seguridad, compromiso relacionado con el medio ambiente, salud ocupacional y calidad de vida de las poblaciones vecinas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Berendsen, T. Reuse of Secondary Building Materials in Road Constructions. In : waste materials in constructions : putting theory into practice. Great Britain. 1997. Elsevier Science Ltd. 1997. P.831-839.

Bodi, J. Experiência Brasileira com Entulho Reciclado na Pavimentação. In: Reciclagem na Construção Civil, Alternativa Econômica para Proteção Ambiental, 1997, São Paulo. São Paulo: PCC - USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1997.

Concrete. Concrete re-cycled. Crushed concrete as aggregate. London, v. 27, n. 3, p. 9-13, may/ june. 1993.

Hamassaki, L. T, Sbrighi Neto, C., Florindo, M. Uso do entulho como agregado para argamassas de alvenaria. In: Seminário sobre reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção, 1996, São Paulo. Anais... São Paulo: PCC - USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1996.

Hansen, T.C. Rilem Report 6. Recycling of Demolished Concrete and Mansory. London, E& FN SPON Edit. Chapman & Hall, 1992.

Implantação de Programa de Produção mais Limpa - Dr. Wagner Gerber - Ecocell - www.ecocell.com.br

Informe Symonds "Construction and Demolition waste management practices and their economic impacts" February - 1999, DGXI, European Commission

Kelly, K., Williams, P. Spinning waste into gold in construction. ENR -Engineering News-Record, v.234,1995.

Levy, S. M., Helene, P.R.L. Reciclagem do entulho de construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concretos. São Paulo:Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Maestría. 1997

Pinto, T.P. Utilização de resíduos de construção. Estudo do uso em argamassas. São Carlos: Departamento de Arquitetura e Planejamento da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. Dissertação (Mestrado), 1986.

Rilem tc 121 - drg. Specification for concrete with recycled aggregates. Materials and structures, v. 27, 1994

The Global Development Research Center - <http://www.gdrc.org/uem/waste/japan-examples.html>

Wild, S. et al. The Potential of Fired Brick Clay as a partial Cement Replacement material. In: Concrete in the Service of Man Kind – International Conference for Environment Enhancement and Protection, Dundee – Escocia, junio, 1996. Proceedings. Ravindra & Thomas Gran Bretaña – 1996

Zordan, S. E., Paulon, V. A. A Utilização do Entulho como Agregado na Confecção do Concreto. Campinas: Departamento de Saneamento e Meio Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. Dissertação (Mestrado), 1997.