



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA
TECNOLOGIA

RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD) SITUACIÓN ACTUAL Y CORRECTA GESTIÓN PARA EL PROCESO DE RECICLAJE EN LA INDUSTRIA MEXICANA

TESIS QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE MAESTRA EN ARQUITECTURA

Presenta:

Imelda MARTÍNEZ DANIEL

TUTORES:

Dr. David MURIÁ VILA, Instituto de Ingeniería UNAM
Dr. Fidel SÁNCHEZ BAUTISTA, Posgrado de Arquitectura UNAM
Mtro. Enrique DÍAZ-MORA, Instituto de Ingeniería UNAM
Dra. Ana FLORES SANDOVAL, Posgrado de Arquitectura UNAM
Mtro. Francisco REYNA GOMEZ, Posgrado de Arquitectura UNAM

México DF, Agosto 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México

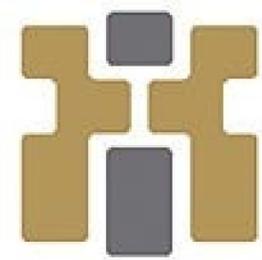
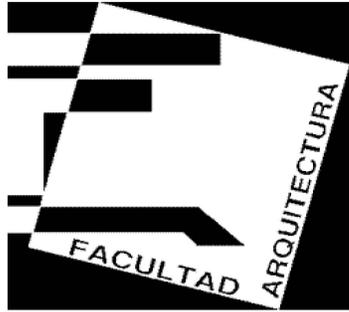


UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



AGRADECIMIENTOS

Para agradecer a todas esas personas que hicieron posible la culminación de esta tesis haría falta tinta y papel. A lo largo de este camino tuve la oportunidad de estudiar y socializar con un gran número de personas que de distintas maneras han dejado su marca en mi formación profesional y personal. Enumerar a todos sería utópico y hasta aburrido. Quisiera entonces dedicar estos párrafos, libres de formatos y estilos a agradecer a algunos de ellos y esperar que el resto, comprendan que su apoyo y ejemplo, han sido y son muy valiosos para mí.

A la UNAM; mi universidad! Por ser fuente de inspiración para hacer de mi un mejor ser humano y una profesionista comprometida con mi país.

Al CONACyT por el apoyo económico brindado durante la realización de este proyecto y formación como maestra.

A mi director de tesis, el Dr. David Muria por sus conocimientos y orientación invaluable; siendo fundamental para lograr este cometido.

Al Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, institución de enorme calidad. En particular a la Dra. Ma. Isabel Sánchez de Rojas Gómez por el apoyo brindado durante mi estancia de investigación.

A Gerardo, por siempre estar junto a mí alentándome y apoyándome en cada paso recorrido, por su gran amor e infinita paciencia.



CONTENIDO

Introducción	1
1. La industria de la construcción y su impacto ambiental	4
1.1 Impacto ambiental de los materiales de construcción	7
1.2 RCD; generación, clasificación y manejo internacional	9
1.3 Legislación para el manejo de residuos en México	15
1.4 Origen del reciclaje de RCD	18
1.5 Barreras y beneficios en el uso de agregados reciclados	19
1.6 Tipología de plantas de reciclaje de RCD	21
1.7 El reciclaje y sus aplicaciones en la industria mexicana	24
2. Reciclaje y reutilización de los RCD	28
2.1 Introducción	29
2.2 Características de plantas de reciclaje	35
2.2.1 Planta BCN-01	36
2.2.2 Planta MAD-02	44
2.2.3 Planta MAD-03	52
2.2.4 Planta GRN-04	58
2.2.5 Planta L-05	64



2.2.6 Planta HDL-07	71
2.2.7 Planta MEX-06	76
2.3 Análisis	81
3. Valorización de AR cerámicos provenientes de los RCD	84
3.1 AR; características físicas y químicas	85
3.2 Reutilización de RCD como material puzolanico para la generación de cemento eco eficiente	90
3.3 Nivel de contaminación proceso tradicional vs alternativa de reutilización de RCD	106
3.4 Normatividad para cemento	113
4. Implementación en la Industria Mexicana	121
Conclusiones	129
Referencias	132
Abreviaciones	136





INTRODUCCIÓN

Uno de los principales desafíos a escala mundial, es conseguir el desarrollo sustentable. A manera de alcanzar este objetivo la protección del medio ambiente constituye parte fundamental. Para llevar a cabo este objetivo es necesario, entre otros planteamientos, realizar una adecuada gestión de los residuos, generando los mínimos posibles y que los que se generen, tengan el máximo aprovechamiento a través de la reutilización, reciclado y valorización, debiendo ser mínima la cantidad que se destine a vertederos.

Actualmente la industria de la construcción en México generan tan solo en el Distrito Federal alrededor de 12,000 t/día de residuos sólidos urbanos, de los cuales el 50% (6,000 t/día) corresponden a residuos de construcción y demolición (RCD) donde un porcentaje muy bajo es tratado; siendo escasa la gestión de estos residuos o en algunos casos inexistente, provocando que la mayor parte de los mismos acabe en la vía pública, con los problemas que ello implica, así como el desaprovechamiento de la vida útil que aún les queda. Los RCD están formados por diferentes materiales de construcción, entre los que por su composición y porcentaje de generación (65% de los RCD) destacan los materiales de origen pétreo (concretos, morteros, ladrillos, azulejos, losetas, etc.), composición que los hace valorizables y por lo tanto adecuados para su retorno al ciclo de vida de la construcción.

El concepto de desarrollo sustentable en el sector de la construcción y en particular en la gestión de los RCD, es al día de hoy una necesidad que la sociedad demanda con una preocupación creciente sobre los sistemas tradicionales de eliminación de residuos y sus consecuencias para el medioambiente. Los objetivos medioambientales de la reducción, reutilización, reciclado y valorización de RCD se centran principalmente en la gestión de los RCD, donde el objetivo principal debe ser el minimizar su generación y en caso de existir, buscar su reciclaje o reaprovechamiento; donde la etapa fundamental de este proceso de reciclaje sea la recogida selectiva, seguida del adecuado proceso de transformación del residuo al agregado reciclado. Del gran impacto que los RCD tiene en el medio ambiente surge la necesidad de incorporar nuevas tendencias en la gestión de RCD, con un mayor respeto al medio ambiente, implementando técnicas de procesamiento, que favorezcan a la reducción en el volumen de desechos, en el número de rellenos sanitarios, destrucción de recursos vírgenes, emisiones de CO₂ al ambiente, generando así posibilidades de crecimiento para la industria del reciclaje.

El reciclaje de RCD en México, está actualmente en la línea de convertirse en una actividad con interesantes expectativas de crecimiento. El mantenimiento de esta tendencia depende en gran medida de romper con algunas barreras existentes (normativas y culturales principalmente). Por lo que se considera que en no mucho tiempo el empleo de estos residuos como productos sustitutos de los convencionales se vuelva una práctica común, lo que generaría la aparición de actividades económicamente interesantes, además de contribuir a una reducción en la huella ecológica.



Partiendo de la limitada experiencia con que México cuenta en para el manejo de los RCD tanto en su normatividad como en su aplicación en campo es que surge la necesidad de implementar procesos para una adecuada gestión de residuos con lo que se pretende obtener mejoras tanto en el proceso de tratamiento del residuo como en la obtención de agregados reciclados (AR) de calidad. Es evidente destacar que para lograr el éxito en la industria del reciclaje de RCD debemos cambiar la visión de lo que hasta hoy conocemos como residuo, dejar de ver a estos como “basura” y verlos como “productos” de calidad. Productos que pueden ser utilizados y reincorporados en la industria de la construcción de manera segura y eficiente, garantizando así una construcción sustentable.

Partiendo de que los agregados reciclados son el resultado una adecuada gestión y tratamiento de los RCD, cuya aplicación es muy amplia y variada; queda claramente comprobado que la parte fundamental para conseguir su reutilización y extensión de vida útil, es a través de un adecuado tratamiento, donde el objetivo principal de este proceso es la obtención de agregados reciclados que cumplan con los requisitos exigidos por la normativa vigente. De aquí que para la presente investigación, se analiza la gestión de los RCD desde tres perspectivas:

- Normativa y funcionamiento, de plantas de reciclaje: conocer las características del proceso de producción: recepción, selección, equipos empleados, capacidad de producción, producción real, productos finales, etc.
- Características mínimas necesarias con que debe contar un AR para su posterior reutilización
- Usos y aplicaciones de agregados reciclados, caso específico del proyecto que lleva por nombre “Reutilización de RCD mixto como adiciones puzolanicas en cementos eco-eficientes”, desarrollado en el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (Ictcc) así como la valoración en el nivel de contaminación generado durante el proceso de fabricación respecto a la fabricación tradicional o convencional y la aplicación que este proyecto podría tener en la industria mexicana debido a la gran similitud que existe en la normativa para cementos de ambos países .

Con la información obtenida de la metodología aplicada para esta investigación se se realiza una serie de recomendaciones a considerar durante la gestión de los RCD (reciclaje y reutilización) mismas que pretende ser implementadas en la industria mexicana, con el objetivo de conseguir una optimización en el proceso de tratamiento del residuo, tanto en el sitio de generación como en el de transformación. A través de esta implementación será factible conseguir que el proceso de la vida útil en la industria de la construcción se extienda convirtiéndose en un ciclo cerrado, donde los residuos sean tratados y reaprovechados, convirtiéndolos nuevamente en materia prima, lista para ser reincorporada al proceso constructivo, logrando así una industria responsable con el medio ambiente y la sociedad.





CAPITULO 1 LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION Y SU IMPACTO AMBIENTAL

La industria de la construcción es una de las actividades con mayor importancia para el desarrollo de las comunidades, así mismo es una de las actividades con mayor afectación al medio ambiente. Uno de los aspectos de mayor preocupación es la cantidad de desechos que se generan dentro del proceso de la construcción; ya sea de nuevas obras, demoliciones y/o remodelaciones.

“Se dice que la industria de la construcción así como el funcionamiento de edificios en el mundo generan 65.2% del consumo total de energía eléctrica; 36% de la energía primaria total; 50% de las emisiones de gases de efecto invernadero y 136 millones de toneladas de residuo de construcción y demolición (aproximadamente 1.3 kg/persona/día), de los cuales el 90% podría ser reciclado en su totalidad” (Gregorio, 2008).

Se estima que 1m^3 de volumen de obra, genera un volumen de residuo de 0.068m^3 . Por cada m^2 de construcción, se generan 0.3m^3 de residuos, mientras que en la construcción de hoteles y hospitales se generan mayores cantidades; hasta 5m^3 de materiales sueltos por cama respectivamente (SMA, 2002).

De acuerdo a lo planteado por (Arenas Cabello, 2007) la industria de la construcción debe considerar que se requiere más de 2 t de materias primas por cada m^2 de vivienda construida, la cantidad de energía requerida para la fabricación de los materiales que componen una vivienda puede equivaler aproximadamente, a un tercio del consumo energético de una familia durante un periodo de 50 años y la producción de residuos de construcción y demolición supera la tonelada anual por habitante.

El impacto ambiental producido por esta industria, como consecuencia de la revolución industrial, constituye la deuda aún pendiente que habrán de afrontar las sociedades industrializadas, lo cierto es que la revolución industrial provocó un gran cambio en las técnicas empleadas para la producción y generación de los materiales de construcción, dado que hasta ese momento todos los materiales empleados eran naturales, procedentes de la propia naturaleza y de una fabricación simple, donde estos materiales se adaptaban a las condiciones climáticas del lugar de la edificación.

Debido al importante crecimiento que tuvo la industria de la construcción a mediados del siglo XX, se generó la necesidad de extraer y procesar una gran cantidad de materias primas para la elaboración de nuevos materiales. El resultado de este cambio se tradujo en primer lugar en el agotamiento de los recursos naturales, seguido del aumento en la emisión de contaminantes al ambiente.

“En términos estadísticos, se puede decir que el sector de la construcción es responsable del 50% de los recursos naturales empleados, del 40% de la energía consumida (incluyendo la energía en uso) y del 50% del total de los residuos generados” (Arenas, 2007).



Dentro del esquema tradicional del ciclo de vida de la construcción (Figura 1) existen tres aspectos de importante trascendencia, mismos que resultan altamente contaminantes y son: (Gregorio, 2008).

El primer aspecto da lugar a la deforestación, donde el 50% de los materiales que son utilizados en la construcción provienen de la corteza terrestre, mientras que el 50% restante son generados a partir de la homogenización de otros derivados químicos. En épocas donde el hombre requería de la utilización de los recursos naturales para satisfacción de sus necesidades, específicamente de vivienda, se potencializó con la llegada de la revolución industrial ya que se requerían hacer más cosas en menor tiempo, originando el crecimiento de esta industria y como consecuencia el aumento en la deforestación. Para la extracción de hierro (fabricación de acero) realiza la deforestación de miles de km^2 de montañas, para la obtención de sílice, hierro y óxido de aluminio (producción de cemento) explota un sinnúmero de minas y canteras, así como de los bosques se toma la madera para hacer cimbras, casas y muebles, etc.

En cuanto al consumo de energía, se considera la cantidad requerida para calentar hornos industriales, los cuales alcanzan los $1700\text{ }^\circ\text{C}$ (fabricación de cemento, acero, cal, tabiques, vidrio, aluminio, etc.) aunado a la cantidad de energía utilizada en el proceso y uso de edificaciones, más la energía que se requiere para transportar los materiales y materias primas de un lugar a otro.

Por último, durante el proceso de extracción de minerales (minas) existe una gran emisión de contaminantes. Para la producción de cemento, durante el proceso de calcinación (horno de clinker) se genera cerca de 1 t de CO_2 por cada t de clinker que se produce (CSIC, 2012)



Figura. 1 Ciclo de vida de la construcción

1.1 IMPACTO AMBIENTAL DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Conocido es que los materiales de construcción inciden en el medio ambiente a lo largo de su ciclo de vida, desde la extracción de la materia prima, hasta el final de su vida útil (residuos), pasando por las fases de fabricación y empleo de estos materiales en la edificación. Los materiales empleados en la Industria de la construcción proceden de la corteza terrestre, produciendo anualmente tan solo en la Unión Europea (UE) 450 millones de toneladas de residuos de la construcción y demolición (RCD); esto es, más de una cuarta parte de todos los residuos generados. Este volumen de RCD aumenta constantemente, siendo su naturaleza cada vez más compleja a medida que se diversifican los materiales utilizados, hecho que limita las posibilidades de reutilización y reciclado de los residuos, que en la actualidad es sólo de un 28% aproximadamente. (GERD, 2012). Dentro del ciclo de vida de los materiales de construcción (Figura 2) existen procesos indispensables para su producción, integrando en cada uno de ellos diferentes niveles de contaminación ambiental (Arenas, 2007).

La fase de extracción de materias primas constituye la etapa más contaminante, dado que dicha extracción se realiza a través de la minería a cielo abierto. El impacto producido por estas en el paisaje, su modificación topográfica, pérdida de suelo, contaminación atmosférica y acústica exige un estudio minucioso sobre sus efectos a fin de adoptar medidas que tiendan a eliminar o minimizar los efectos negativos producidos durante esta etapa.

La fase de transformación de la materia prima (agregados naturales) a materiales de construcción representa igualmente otra etapa con abundantes repercusiones medioambientales. A lo largo de este proceso se derivan la gran cantidad de materiales pulverulentos que se emplean, así como el consumo de energía para alcanzar el producto adecuado. Los efectos medioambientales de este proceso se traducen en emisiones de dióxido de carbono, emisión de polvo, ruido, vibraciones y el exceso de consumo energético.

La fase de empleo o uso de los materiales, incide directamente en el medio ambiente y la salud humana. Durante la utilización estos materiales y su vida útil, se generan una gran cantidad de contaminantes compuestos orgánicos volátiles, el benceno, formaldehído, plomo, mercurio o arsénico, en productos tan comúnmente usados como: pinturas, lacas, barnices y adhesivos y aquellos generados a partir del petróleo.



Por último, la fase final del ciclo de vida de los materiales de construcción coincide con su tratamiento como residuo. La mayor parte de estos, no reciben tratamiento alguno, siendo depositados en la vía pública, ríos y lagos; aquellos que reciben el mínimo tratamiento son trasladados a vertederos, que si bien en principio no contaminan, sí producen un gran impacto visual además de la nula posibilidad en el tratamiento de estos para la generación de nuevos productos (agregados reciclados).



Figura 2 Ciclo de vida de los materiales de construcción

Con los datos citados anteriormente y apoyados del análisis del ciclo de vida de la construcción, podemos intuir con mayor facilidad las consecuencias ambientales que se derivan de la construcción y que pueden resumirse en que los edificios resultantes del proceso constructivo, así como la infraestructura necesaria para el desarrollo de las comunidades, ocupan y transforman el medio provocando el agotamiento de recursos no renovables a causa de la extracción ilimitada de materias primas y del consumo de recursos fósiles.

1.2 RCD; GENERACIÓN, CLASIFICACIÓN Y MANEJO INTRENACIONAL

Según el Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR) 2007-2015 desde el punto de vista conceptual, RCD es el conjunto de fragmentos o restos de materiales provenientes de los desechos de construcción, remodelación y/o demolición de edificaciones. Estos residuos son conocidos habitualmente como escombros.

Este tipo de residuos ha venido a considerarse tradicionalmente como residuos inertes, esto es porque no presentan ningún riesgo a futuro de contaminación para el agua, aire o suelo. Los RCD, contienen fracciones valorizables, los cuales deben recuperarse o ser objeto de descomposición controlada en el suelo para que así puedan reincorporarse al ciclo de la naturaleza en las mejores condiciones posibles.

La mayoría de los RCD son eliminados por medio de vertederos ilegales, lechos de ríos, canales o tiraderos de basura, si bien, estos residuos son considerados inertes o asimilables y no contaminantes peligrosos, producen por el contrario un gran impacto visual y ambiental, debido al gran volumen que ocupan y al mínimo control ambiental que existe sobre los terrenos destinados para su depósito. Este nulo control se ve reflejado en suelos y mantos acuíferos contaminados, mismos que se convertirán en terrenos con cero uso potencial en un futuro. Esta falta de responsabilidad y control efectivo en la gestión y manejo de los RCD es lo que ha dado como resultado la proliferación de vertidos incontrolados en lugares muy próximos a núcleos urbanos, lagos, ríos, arroyos, carreteras y caminos, afectando considerablemente el medio que nos rodea.

En cuanto a la generación o producción de RCD se indica que Todo gran generador de RCD, es toda persona física o moral que genere en una obra una cantidad igual o mayor a 80 m³. Mismos que estarán obligados a presentar planes de manejo ante la institución correspondiente (NOM-161-SEMARNAT-2011). Hoy en día nos encontramos frente a un serio problema en cuanto a la obtención de cifras exactas en la producción de RCD, los datos sobre las tasas de generación y recuperación son difíciles de estimar pues no todos los países consideran las mismas categorías de clasificación. Para el caso específico de México se han realizado cálculos basados en muestras de limitada representatividad. Según Castells, 2000, por cada m³ de obra construida se generan 102 kg de RCD.

Dado que en la actualidad México no cuenta con indicadores reales sobre la generación de RCD, ni metodológica para realizar estudios de campo correspondientes, tomaremos como punto de partida los datos manifestados por la Secretaría del Medio Ambiente (SMA), Publicados en la gaceta oficial del Distrito Federal, con fecha 12 de julio de 2006, donde se manifiesta que la generación de residuos sólidos urbanos en la cd de México asciende a 4, 320,000 t/año; de las cuales el 50% corresponden a



RCD, mismos que hasta hace poco tiempo eran depositados en el relleno sanitario de Bordo Poniente Etapa IV; siendo este el relleno sanitario más grande del mundo, mismo que ha cerrado sus puertas debido a la nula capacidad que ahora tiene para recibir residuo alguno.

En el año 2005, la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México (SMAGEM) en cooperación con la República Federal Alemana y Estados Unidos realizaron como parte de la Cooperación Técnica Bilateral, diversos mecanismos técnicos y normativos para el control de RCD, con el objetivo de obtener una estimación aproximada sobre la generación de estos. Para la obtención de dicha estimación se realizó un estudio que incluía la aplicación de cuestionarios a los 125 municipios que conforman el Estado de México, tomando como muestra representativa a 14 de estos, en este estudio se realizaron inspecciones a los sitios de disposición autorizados así como los clandestinos. En base a la información obtenida se identificó que existe una gran discrepancia con los datos reportados, lo cual obligo a establecer los siguientes parámetros:

Tipo de Obra	2005 (t/día)	2006 (t/día)	2007 (t/día)
Publica	27	159	19
Privada /vivienda e Industria)	7,43	4,9	1,258
Total	7,457	5,059	1,277

Tabla 1. Generación de RCD en el Estado de México, modificada de SMAGEM, 2007

País /Cuidad	Generación de RCD (t/día)
Comunidad Europea	19,673
Estados Unidos	5,626
Republica Chile	12,276
Distrito Federal	5,076
Estado de México	5,059

Tabla 2. Comparativo: generación de RCD con otros países y entidades (SMAGEM, 2007)

En cuanto a la clasificación de RCD se refiere se incluye una gran cantidad de materiales, entre los que se encuentran productos cerámicos, residuos de concreto, ladrillos, madera y en una menor cantidad otros componentes como vidrio, plástico, acero, etc. Siendo la Unión Europea (UE), el principal organismo orientando la política de gestión de RCD hacia un reciclaje masivo establece que la clasificación de estos se da a través de los dos siguientes grupos:

Por su origen:

- **Residuos de Demolición:** Estos se originan en las operaciones de demolición y derribo de edificios e instalaciones.
- **Residuos de Construcción:** Proviene del proceso de ejecución de los trabajos de construcciones nuevas
- **Residuos de Excavación:** Son el resultado de los trabajos previos a la construcción.

Por su peligrosidad:

- **Residuos Inertes:** Aquellos residuos no peligrosos, los cuales no experimentan transformaciones físicas, químicas ni biológicas.
- **Residuos Especiales:** Son aquellos potencialmente peligrosos para la salud y el medio ambiente, debido a su composición y propiedades químicas.
- **Residuos Banales:** Son aquellos que presentan una naturaleza similar a los residuos domésticos.

Para el caso específico de México y de acuerdo a lo señalado por la norma ambiental del Distrito Federal NADF-007-RNA-2004, publicada en la gaceta oficial del DF, con fecha 12 julio 2006, los residuos de excavaciones, concretos y cerámicos demostrado a nivel mundial tener un potencial importante de reúso o reciclaje. La clasificación propuesta en esta norma es la siguiente:

1. Residuos potencialmente reciclables para obtención de agregados y materiales de relleno:

- Prefabricados de mortero o concreto (blocks, tabicones, adoquines, tubos)
- Concreto simple y armado
- Cerámicos (ladrillos, tabiques, losetas, azulejos y demás productos cerámicos)
- Concreto asfáltico
- Mamposterías y morteros
- Tepetates



2. Residuos de Excavación:

- Suelo orgánico
- Suelos no contaminados y materiales arcillosos, granulares y pétreos naturales contenidos en ellos.
- Otros materiales no peligrosos contenidos en el suelo

3. Residuos Sólidos:

- Cartón
- Madera
- Metales
- Papel
- Plástico
- Residuos de poda tala y Jardinería
- Paneles de yeso
- Vidrio

Sabemos que la generación de RCD es un problema por el que hoy en día se enfrenta nuestro ecosistema, motivo por el cual las principales potencias mundiales desarrollan metodologías de gestión para su adecuado manejo, siendo el reciclaje de los RCD una actividad cada vez más estimulada por países miembros de la UE, siendo este un organismo preocupado por el medio ambiente y que a través del principio de las tres R: reutilizar, reciclar y reusar, ha implementado estrategias para el manejo estos residuos.

Las experiencias demuestran que el conocimiento existente proporciona bases tecnológicas suficientes para el desarrollo de esta industria, donde el reciclaje es ya una actividad consolidada, la cual dispone de leyes, exigiendo el uso de materiales reciclados en la construcción. Países como Alemania, Holanda, Dinamarca, Suiza, España, Japón y Estados Unidos, por citar algunos; han creado, marcos legales a través de los cuales se regula la generación de residuos, así como su adecuada gestión.

Para el caso de Alemania, en cuanto a residuos se refiere en el año de 1997 fue promulgada la Ley de prevención, reutilización y disposición de residuos, también conocida como Ley de la economía del ciclo cerrado. Ley que establece una misma jerarquía para la recuperación de materiales y energía, permitiendo así el reaprovechamiento energético. En las disposiciones Alemanas no se obliga al reciclaje de RCD pero para poder hacer uso de los rellenos sanitarios, requieren un certificado emitido por las plantas recicladoras, donde se manifiesta que los residuos presentados no tiene posibilidad alguna de reciclaje.



La reutilización o reciclado de RCD en Holanda, es una práctica habitual, donde actualmente se alcanzan porcentajes de reciclado por arriba del 90%. Se estima que los RCD producidos son reutilizados en nuevas edificaciones (construcciones sustentables). La reutilización de estos materiales no solamente representa ventajas medioambientales sino también económicas; esta actividad también contribuye a frenar la sobre explotación de áridos naturales y de canteras (Vega, 2001).

Dinamarca y su legislación ambiental tienen como objetivo principal la disminución de los RCD, objetivo que se pretende conseguir mediante la implementación de rellenos sanitarios controlados y plantas de reciclaje e impuestos estatales para aquellos RCD que no tienen reaprovechamiento alguno. Para el caso específico de las plantas de reciclaje, existen alrededor de 120 instalaciones, de las cuales 100 de ellas corresponden a instalaciones fijas y las 20 restantes se localizan en emplazamientos de construcción. Aproximadamente una cuarta parte de los residuos generados, provienen de la industria de la construcción, donde cerca del 92% de estos son reciclados, ubicándolo dentro de los países con mayor porcentaje de reciclaje (Ministerio Danés del Medio Ambiente y Energía, 1999).

Otro país preocupado por la gestión de los RCD es Suecia, donde su legislación exige que las responsables en el manejo de los RCD sea toda aquella fuente generadora de residuo, aunque si bien es cierto, esta alternativa no es un mecanismo obligatorio, si se plantea la utilización de rellenos sanitarios y la incineración como recuperación energética. (SNRA, 2011).

“Cada suizo produce anualmente 714 kilos de basura, lo que convierte a este país en uno de los campeones europeos en la producción de residuos” (Tognina, 2011) La gestión de estos residuos es cada vez más eficaz y respetuosa con el medio ambiente, haciendo de Suiza es uno de los países más ecológicos de Europa. Anualmente cerca del 50% de los residuos son reciclados, mientras que la parte restante termina en las bóvedas de incineración, (estas instalaciones hacen factible la disposición de todos los desechos tóxicos no reciclables) las cuales representan un método eficaz para la reducción del volumen de residuos. “En 2006, la quema de basura generó una producción de 1,823 GW/h, es decir, 3% de la producción eléctrica global de Suiza (swissworld.org, 2011)

Otro país relevante en el la gestión y manejo de los RCD es Japón, donde anualmente se producen 496 millones de toneladas de residuos, de los cuales el 90% corresponde a residuos industriales (RI) área donde se encuentran los RCD. (Koji, 2004). Del 100% de los RI, el 51% de son reciclados o reutilizados, el 43% son incinerados y solo el 6% son depositados en sitios de disposición final. De acuerdo al estudio realizado en el año 2004, del total de RI, el 19% de estos corresponden a RCD, los cuales son clasificados de la siguiente manera: residuos de concreto: 41 %, asfalto: 27%, lodos: 10%, maderas: 6%, y otros: 9%.

En cuanto a su legislación se trata, esta se rige por la Ley de reciclaje de material de construcción, misma que estipula las obligaciones de clasificación, demolición y reciclaje destinadas a construcciones mayores; el ordenamiento de los procedimientos contractuales entre clientes y contratista, notificación previa de construcción y pagos adecuados de los gastos de clasificación y demolición; el establecimiento de un sistema para registrar empresas de demolición. La aplicación de



esta ley será dirigida a la demolición de edificios (más de 80 m² de superficie total), construcción o ampliación de edificios (más de 500 m² de superficie total), trabajos de reformas (contratos mayores a 1 millón de dólares) y obras civiles: (contratos mayores a 50,000 dólares)

Para el caso de España, el Ministerio de Medio Ambiente publicó en el año 2008 el Plan nacional de residuos de construcción y demolición (PNRCD 2008-2015), donde el objetivo fundamental incluye la recogida controlada, la correcta gestión ambiental, el reciclaje y la reutilización de los RCD. El período previsto de aplicación del plan es de siete años, y se estima que en el año 2015 debía producirse una disminución aproximada del 10% en la generación de RCD y un nivel de reciclado del 25% (GERD, 2012). Como parte de la gestión de RCD, en el año 2004 se crea la asociación española de RCD (GERD), cuyo objetivo principal es la normalización y promoción de los agregados reciclados provenientes de los RCD, destinado a mejorar la calidad de los agregados reciclados garantizando su uso en la industria de la construcción, con el objetivo final de consolidar en España un nuevo mercado basado en la reutilización y reciclaje.

Ley de recuperación y conservación de recursos, promulgada en el año de 1976 (RCRA, 1976) y vigente a la fecha, es la ley federal más importante de los Estados Unidos, haciendo referencia a la eliminación de residuos sólidos y residuos peligrosos., la cual tiene como objetivo principal proporcionar un programa que regule los residuos sólidos; elimine el vertido libre y proporcione alternativas de gestión en comunidades rurales. Esta legislación regula a su vez el uso de los grandes rellenos de RCD o mejor conocidos como "demo-rellenos" los cuales mantienen ciertos requisitos primordiales de operación, como: contar con una capa de impermeabilización, recolección y tratamiento de lixiviados, monitoreo de agua subterránea y ventilación, los cuales deben contar con la aprobación de la agencia de protección al ambiente.



1.3 LEGISLACIÓN PARA EL MANEJO DE RCD EN MÉXICO

Una vez analizada la perspectiva internacional sobre el manejo de los RCD es importante central este tema en el territorio mexicano, para lo cual se analiza en materia de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, incluidos dentro de estos los RCD, los instrumentos legales vigentes:

1. Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente:

Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LEGEEPA, 2011) establece en el capítulo IV del Artículo. 134 la prevención y control de la contaminación del suelo, en su título cuarto; Protección al Ambiente, que: “Deben ser controlados los residuos en tanto que constituyen la principal fuente de contaminación de los suelos” y “es necesario prevenir y reducir la generación de residuos sólidos, municipales e industriales; incorpora técnicas y procedimientos para su reúso y reciclaje, así como regular su manejo y disposición final eficientes”. Así mismo en su Artículo. 137 capítulo cuarto manifiesta lo siguiente: “Queda sujeto a la autorización de los municipios o del Distrito Federal, conforme a sus leyes locales en materia y a la normas oficiales mexicanas que resulten aplicables, el funcionamiento de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reúso, tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales” (Gobierno de la Republica, 1988).

De tal manera concluimos que la LEGEEPA transfiere toda responsabilidad sobre el manejo de los RSM al nivel local de gobierno, destacando la importancia en la reducción de la generación de RCD, reutilización y disposición final eficiente.

2. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos:

Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de octubre de 2003 con última reforma publicada el 19 de junio de 2007. Tiene como objetivo principal la prevención de la generación, valorización y gestión integral de los residuos peligrosos y residuos sólidos municipales, previniendo la contaminación de sitios con estos residuos llevando a cabo su recuperación.



3. Reglamento de Construcción del DF

De acuerdo a lo marcado por reglamento de construcción del Distrito Federal en cuanto a residuos sólidos maneja los siguientes artículos: (RCDF, 2004):

Art. 236.- “Con la solicitud de licencia de construcción especial para demolición considerada en el Título Cuarto de este Reglamento, se debe presentar un programa en el que se indicará el orden, volumen estimado y fechas aproximadas en que se demolerán los elementos de la edificación. En caso de prever el uso de explosivos, el programa señalará con toda precisión el o los días y la hora o las horas en que se realizarán las explosiones, que estarán sujetas a la aprobación de la Delegación”.

Art. 243.- “Los materiales, desechos y escombros provenientes de una demolición deben ser retirados en su totalidad en un plazo no mayor de 30 días hábiles, contados a partir del término de la demolición y bajo las condiciones que establezcan las autoridades correspondientes en materia de vialidad, transporte y sitio de disposición final”

4. Norma Ambiental del Distrito Federal NADF-007-RNAT-2004

Para efectos específicos de Residuos de Construcción y Demolición existe La Norma Ambiental NADF-007-RNAT-2004, la cual establece la clasificación y especificaciones para el manejo de residuos de la construcción en el Distrito Federal, optimizar su control, fomenta su aprovechamiento y minimizar su disposición final inadecuada, de la cual es importante considerar los siguientes puntos:

- El plan de manejo de residuos de construcción deberá ser presentado ante la secretaria del medio ambiente para su evaluación y autorización.
- El generador y demás personas que intervengan en la gestión de RC se considerarán responsables solidarios para el adecuado manejo de los mismos.
- El generador de RCD en conjunto con el prestador de servicios deberá comprobar mediante un manifiesto de entrega recepción el destino final de la totalidad de los residuos generados.
- Para el aprovechamiento de los RCD (concretos, cerámicos y morteros, etc.) se considera reciclar por lo menos un 30 % de estos durante el primer año de aplicación de la norma, incrementando así un 15% anual hasta conseguir un 100% de reciclaje.
- Los RCD (concretos, cerámicos y morteros) pueden ser reutilizados por el generador en el sitio de origen o en otro de aprovechamiento, lo cual deberá estar indicado en el informe de plan de manejo de RCD.
- En caso de aplicar otros usos para los materiales reciclados, estos deberán sustentar su uso con análisis o pruebas correspondientes.



- De acuerdo al Nuevo Código Penal del Distrito Federal, Art. 344 se establecen para una producción a partir de 3 m³ de volumen de cascajo depositado ilícitamente en barrancas, áreas verdes, áreas de valor ambiental, áreas naturales protegidas, las siguientes sanciones:
 - ✓ 1 a 5 años de prisión y 300 a 1,500 SMD. (menos de 3 m³)
 - ✓ 3 a 9 años de prisión y 1,000 a 5,000 SMD. (más 3 m³)

5. NOM-161-SEMARNAT-2011

Norma de carácter obligatorio, publicada en el diario oficial de la federación el 1 de febrero de 2013, cuya validez entra en vigor a partir del mes de Agosto de 2013. “Establece los criterios para clasificar a los residuos de majeo especial y determinar cuáles están sujetos a plan de manejo; listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo”. Cabe señalar que para el caso específico de los RCD, la norma establece como generador aquel cuya producción supera los 80m³

En base al análisis realizado tanto en países europeos como en México, podemos decir que nuestro país se encuentra en una etapa inicial en cuestión de reciclaje y aprovechamiento de recursos. Ante esta perspectiva, México se está iniciando en la planificación de medidas legales para el manejo, reutilización y reciclado de los RCD, sin embargo estas medidas resultan aún insuficientes. Nuestra realidad, es un México con carencias ambientales, culturales y de aprovechamiento de recursos, donde se cree que la sustentabilidad en la industria de la construcción es un tema inalcanzable; pensando que los beneficios ambientales que estas normalizaciones traen consigo, implica en los involucrados elevados costos, largos procesos y una ruptura con el sistema tradicional de manejo de residuos. Es evidente que un porcentaje muy bajo de los RCD generados diariamente son tratados de manera adecuada, donde la mayoría de estos terminan en rellenos sanitarios cuando existe algún proceso de tratamiento por llamarle de alguna manera. Al realizar estos depósitos no solo se está perdiendo o desaprovechando energía y material potencialmente reutilizable, reciclables o valorizables, sino que además se afecta de manera negativa el entorno.

Apoyados de la experiencia y buenas prácticas de los países punteros en este tipo de tecnologías amigables al ambiente es que hoy en día y apoyados en la implementación de esta normativa oficial y de carácter obligatorio para el territorio nacional, es nuestro deber como ciudadanos y profesionistas responsables el impulsar propuestas para el aprovechamiento y reciclaje de estos residuos, aprovechando al máximo posible las cualidades que tienen para ser reutilizados en el sector de la construcción, extendiendo así su vida útil y contribuyendo a una mejora en el medio ambiente.



1.4 ORIGEN DEL RECICLAJE DE RCD

El reciclaje de residuos de construcción no es una técnica nueva, esta, se remonta a la época romana de construcción. En Europa el reciclaje surge a partir de la segunda guerra mundial, cuando se tuvo la necesidad de retirar el escombros generado por los bombardeos en algunas de las principales ciudades alemanas ocupadas dicho evento, trabajo que se estimó duraría hasta cuatro décadas, lo que afortunadamente en tan solo diez años "la era del escombros" quedó olvidada en su totalidad. El objetivo de ese momento fue devolver a las ciudades una imagen "normal". Una parte importante de estos escombros fue depositada en las depresiones de los terrenos cercanos, así como en la creación de nuevos parques.

En el norte de Múnich fue empleado para rellenar los desniveles de terrenos, que más tarde servirían como base para la construcción del estadio olímpico y sus instalaciones para los juegos olímpicos de 1972. Otra parte de los escombros fue llevada a las plantas de reciclaje, las cuales fueron creadas para la ocasión, con la idea de aprovechar todo lo aprovechable e introducirlo de nuevo en la cadena de la construcción. Los programas de reciclaje más importantes se dieron en las ciudades de Stuttgart, Frankfurt, Hamburgo y Bremen. Para el año de 1952 en Stuttgart, se había conseguido retirar más del 88% de estos escombros, con los cuales se lograron construir más de 10,000 viviendas.

A partir de este acontecimiento la humanidad se dio cuenta de que la acción de reciclar o reutilizar RCD era una realidad, la cual contribuiría en gran medida a la satisfacción de necesidades o requerimientos demandados por la misma. Desde entonces esta práctica se lleva cabo en los países del viejo continente, siendo estos los pioneros en la industria del reciclaje.

Otro ejemplo del reciclaje de RCD es Dinamarca, quien posterior a la demolición de dos de sus puentes, aproximadamente 1,400 toneladas de RCD (concreto) sirvieron para los cimientos de nuevos edificios, lo que significó un ahorro total de 100 coronas danesas (228 pesos aproximadamente) por tonelada con respecto a la demolición y depósito del material siguiendo los métodos tradicionales. (Ministerio Danés del Medio Ambiente y Energía, 1999)

En Estados Unidos, la Asociación Federal de Carreteras, recicla los pavimentos de concreto de manera habitual. Por ejemplo, durante la ampliación de siete mil carreteras en Wyoming, en 1985, el agregado fue una mezcla de materiales naturales y reciclados, con los que se ahorraron un 16%. El uso de materiales reciclados supuso un ahorro de 35,000-100,000 dólares USA por mil, en comparación a los métodos tradicionales.



1.5 BARRERAS Y BENEFICIOS EN EL USO DE AGREGADOS RECICLADOS

A manera de resumen y tras analizar aspectos relevantes para la gestión de los RCD (generación, manejos, legislación, impacto ambiental, usos y aplicaciones) se elabora la tabla comparativa (Tabla 3) dando a conocer las principales barreras y beneficios para el tratamiento de los RCD y uso como agregados reciclados (AR)

Tabla 3. Barreras y Beneficios para el uso de materiales reciclados (AR), modificado de WBCSDR, 2009)

Cuestión	Barreras	Beneficios
Costo	Los agregados naturales resultan más económicos que los reciclados.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los costos de transportación de agregados naturales resulta muy elevados, frente a los agregados reciclados. 2. Los costos totales del proyecto pueden ser reducidos, si se emplean agregados reciclados.
Disponibilidad del material	<ol style="list-style-type: none"> 1. Posible escases en el suministro de RCD 2. Se requieren planes de gestión. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los RCD se encuentran generalmente en zonas urbanas, cerca de las construcciones y áreas de desarrollo (mayor accesibilidad del producto) 2. Los agregados y materiales tradicionales requieren ser trasladados de lugares lejanos (reducción de costo de trasportación y emisión de contaminantes)
Tratamiento del residuo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Requiere costosos procesos 2. Generalmente no existe regulación en los RCD 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se podrán establecer unidades móviles de clasificación y separación de RCD. 2. Establecer estándares para separación en origen de generación.
Cultura	<ol style="list-style-type: none"> 1. Idea errónea de que existe la recuperación de RCD. 2. Los materiales reciclados son percibidos de menor calidad que los tradicionales. 	El aumento en el deterioro del medio ambiente conduce a un aumento en la demanda de productos reciclados (amigables al ambiente)
Leyes, reglamentos e industria	<ol style="list-style-type: none"> 1. Gestión inadecuada del proceso de recuperación de RCD. 2. Largos procesos (informes y planes de manejo) 	Las leyes podrán promover políticas para incrementar el uso de materiales reciclados en el sector de la construcción.

Impactos ambientales	La tecnología usada para el procesamiento de RCD y la generación de agregados reciclados puede generar un elevado nivel de contaminación ambiental, así como un alto consumo de energía	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dentro del análisis del ciclo de vida, el uso de material reciclado podrá disminuir el impacto ambiental de manera global. 2. El material recuperado es inerte (menor contaminación) 3. La necesidad de transporte del material reciclado puede ser menor que el de los materiales tradicionales, lo que reduciría los contaminantes emitidos al ambiente. 4. El material reciclado funciona en óptimas condiciones para la mayoría de los usos propuestos (óptima calidad del producto).
Propiedades físicas de los Agregados	<ol style="list-style-type: none"> 1. Para el caso de aplicaciones específicas (alta resistencia) pudiera existir limitaciones. 2. La tecnología puede ser un factor limitante en el reciclaje 	Reutilización confiable de materiales y productos, cuyas características cumplirán de igual o mayor manera que el de un agregado tradicional.

Luego de confrontar las barreras y los beneficios que intervienen en el reciclaje de RCD, nos lleva a la conclusión de que las posibilidades de uso y comercialización de los productos reciclados son buenas y tienden a ir en aumento. Existen, sin embargo, ciertas barreras mentales para el uso de estos materiales causando dificultades para una utilización racional, barreras que deben vencerse para así establecer que la utilización de agregados reciclados es el camino hacia una construcción sustentable. Entendiendo por construcción sustentable la concepción de un diseño que busque el aprovechamiento de los recursos naturales y la utilización responsable de los insumos, con el fin de minimizar su impacto sobre el medio ambiente y sus habitantes; basándose en el correcto uso, gestión y reutilización de los mismos.



1.6 TIPOLOGIA DE PLANTAS DE RECICLAJE DE RCD

Según las normas europeas establecidas por el comité europeo de normalización (CEN), el agregado reciclado es: "el agregado resultante del tratamiento del material inorgánico previamente utilizado en construcción". Material inorgánico considerado como residuo de construcción y demolición y está generalmente compuesto por elementos de construcción, fabricación, demolición y remodelación.

1. Desde el punto de vista económico, se considera que el envío de residuos hacia una planta de reciclaje es una alternativa rentable, cuando el costo de eliminación de estos residuos es a través de vertederos resulta más elevado (debido a las tarifas por las grandes distancias de transporte y/o al elevado pago de recepción) esto, en comparación con los costes de selección en origen y del propio proceso de reciclado.
2. Entre los condicionantes técnicos, es relevante destacar el cuidado necesario durante la selección y preparación del residuo, antes de entrar en el proceso productivo; la existencia o no, de un mercado real de agregados reciclados; la necesidad de gestionar los elementos contaminantes y la necesidad de garantizar una continuidad de las características, propiedades y cantidad del producto producido.
3. En lo que se refiere a los condicionantes legales, se destaca el cumplimiento de normativas. Para el caso específico de México: NOM-161-SEMARNAT-2011 que si bien, es de recién implementación da pie al cambio progresivo hacia una construcción sustentable.

Los procesos tecnológicos del reciclaje de RCD tienen como objetivo principal la producción de agregados reciclados de calidad, con granulometría y composición definida, mismas que básicamente se cumplen a través de los procesos de: clasificación, trituración y tamizado del residuo.

El principio básico de una planta de reciclaje de RCD es por un lado, la clasificación y separación de los diferentes residuos que intervienen en la gestión ambiental, y por otro, el reciclar los residuos de construcción y demolición, reduciendo su tamaño y eliminando las impurezas de manera que se obtengan productos finales valorizables. A diferencia del proceso de producción de agregados naturales, el reciclaje requiere de la utilización de mayores técnicas de clasificación; primordialmente para optimizar la homogenización del material procesado y reducir el contenido de impuros (materiales no pétreos y contaminantes). Sin embargo, el nivel de complejidad de los procesos dependerá tanto de las características y variabilidad del material recibido en planta, así como de los usos destinados para el material procesado.



La gama de las características de las plantas y de los procesos de reciclaje son muy amplias y responden a situaciones y objetivos diversos, donde existen tres factores indispensables y trascendentes para la obtención de AR de calidad, considerando a este como la materia prima obtenida posterior al proceso de reciclaje.

El primero de esos factores se refiere a la complejidad o tecnología de procesos, siendo esta parte fundamental para el tratamiento del residuo. El esquema de producción de las plantas de reciclaje se compone normalmente de las etapas descritas a continuación, pudiendo contener uno o más líneas de producción.

1. Control de Admisión: procedimientos de control de documentación, registro e identificación/evaluación que permite realizar una clasificación inicial de la materia prima (residuo) y garantizar la manejabilidad del material recibido en planta.
2. Clasificación: proceso de separación mecánica o manual de los elementos considerados como contaminantes para los RCD (materiales no pétreos)
3. Pre tratamiento o Pre cribado: proceso mecánico de reducción del tamaño de partículas y separación de componentes de diversas fracciones con respecto al material procesado.
4. Limpieza: proceso más refinado de separación de partículas contaminantes o sustancias peligrosas, esta limpieza puede ser a través separación por gravedad, agua o aire.
5. Cribado: etapa final del proceso. Consiste en la separación granulométrica la cual otorga las características finales del agregado reciclado (uso granulométrico)

El segundo factor a considerar para el funcionamiento de una planta de reciclaje es la movilidad de los equipos que está en función de la complejidad o tecnología de procesos y que a su vez formaran la línea de producción. El proceso de reciclado puede hacerse en instalaciones móviles, fijas o semi móviles, también llamadas instalaciones de tipo 1, 2 y 3 respectivamente. La movilidad de las plantas puede ser un factor limitativo en las posibilidades de tratamiento de los RCD y por ende en la producción del producto final.

Las instalaciones de tipo 1 son unidades móviles de trituración que reciclan directamente en obra los materiales previamente seleccionados, (material homogéneo y con mayor limpieza) procedentes de demoliciones selectivas u obras específicas.

Las Instalaciones de tipo 2 son aquellas que disponen de un emplazamiento fijo y con una línea de producción completa. Siendo estas las más recomendadas para el proceso de tratamiento de los RCD.

Por último, las instalaciones de tipo 3, son aquellas también de emplazamiento fijo, pero estas disponen más de una línea de producción a la vez, generando una amplia gama de productos (AR). Este grupo representa una minoría.



A manera de resumen se realiza la Figura 4 mostrando las ventajas y desventajas que existe en el uso de instalaciones de tratamiento de RCD.

Tabla 4. Comparativa de instalaciones de reciclaje (Fijas y Móviles)

Instalación	Ventaja	Desventaja
Móviles	<ul style="list-style-type: none"> Aplicable para cualquier sitio y de funcionamiento más sencilla El material producido puede ser utilizado in situ Gestión relativamente sencilla 	<ul style="list-style-type: none"> Elevados costos de montaje y desmontaje limitado número de materiales producidos Elevados costos de planificación
Fijas	<ul style="list-style-type: none"> De aplicación universal debido al tamaño y concepto de la instalación Mejor calidad del producto Mayor eficacia de las instalaciones, debido a la capacidad de almacenamiento. No hay gastos de transporte, montaje y desmontaje Reducidos gastos de explotación Amplia variedad de productos fabricados 	<ul style="list-style-type: none"> Requiere de permiso y controles de las emisiones de la instalación Requiere de una garantía tanto para el suministro de residuos como para la comercialización de los mismos (relación entre la oferta y la demanda)

Por razones logísticas y económicas una planta móvil dispone del mínimo equipo y maquinaria necesario para desplazarse a una obra, lo que obliga a limitar la composición del material a tratar, utiliza pocos equipos de clasificación y consecuentemente genera un solo tipo de producto, esta no cuenta con sistemas de limpieza, limitando la obtención de resultados satisfactorios. De esta manera para conseguir un adecuado tratamiento de los residuos es recomendable hacer uso de instalaciones de nivel II “plantas fijas”.

1.7 EL RECICLAJE Y SUS APLICACIONES EN LA INDUSTRIA MEXICANA

Mientras el reciclaje de RCD es una actividad muy común en países de Europa, Japón o Estados Unidos, en México es hasta el año 2004 que se pone en operación la primera planta dedicada al reciclado de RCD, siendo esta, una empresa mexicana, que nace a partir de la actividad que Mina "La Esperanza" desarrolla desde hace más de 37 años, dedicada a la explotación, trituración y clasificación de agregados pétreos para la construcción.

Concretos Reciclados SA de CV, emplea el uso de maquinaria de trituración, clasificación computarizada y robotizada, equipado con motores ecológicos, siendo esta capaz de recibir 4,000 t/día de RCD para ser procesadas en sus dos diferentes turnos de trabajo. Cuenta con una superficie aproximada de 8 h, las cuales se encuentran 40 m por debajo del nivel de calle, con el fin de ser aprovechado como medida de mitigación ambiental contra polvo y ruido, además de contar con un área acondicionada como "área verde" y un estanque de almacenamiento de aguas pluviales las cuales son utilizadas durante el proceso de reciclaje.

Los materiales recibidos para su reciclaje son: tabique, ladrillo, concreto, cerámicos, arcillas, bloques, adocretos y mampostería, los cuales deberán estar limpios de contaminantes como plásticos, cartones, metales, papeles, etc. Mucho del material que aquí se recicla es utilizado principalmente para la elaboración de: base y sub base de caminos y estacionamientos, carpeta asfáltica para vialidades y caminos secundarios, terraplenes, pasos peatonales, cubiertos de rellenos sanitarios, andadores y ciclo pistas, así como bases hidráulicas

Cabe mencionar que a pesar de la puesta en marcha de esta planta recicladora, y de la implementación de la norma NOM-161-SEMARNAT-2011, aún falta mucho por hacer en cuestión del reciclaje. Es una realidad que en México ya se llevan a cabo prácticas de reciclaje por mínimas que estas sean, donde el material generado es comercializado para su uso como materia prima (AR) dentro del mismo proceso constructivo. Unos de las principales aplicaciones que se les ha dado a estos productos (AR) han sido suministrados por la planta de reciclaje Concretos Reciclados para diferentes obras de la ciudad de México.

La Delegación Tlalpan y la asociación de corredores del bosque de Tlalpan preocupados por el mejoramiento del mismo, trabajaron en la rehabilitación de brechas con una doble función; por un lado, elaborar caminos corta-fuegos que evitaran en lo posible la propagación de incendios y por otro, proporcionar a los corredores del propio bosque una superficie confortable para llevar a cabo sus actividades. Para lograr este objetivo, la empresa Concretos Reciclados suministro a la



delegación materiales reciclados con diferentes granulometrías para la rehabilitación de 15 km. de caminos. Este proyecto fue motivo de una mención especial, en el libro “San Agustín de las Cuevas Tlalpan”, en la que se hace énfasis de la gran utilidad de contar con una planta que recicle el cascajo en México.



Figura 3. Mejoramiento de caminos en Bosque de Tlalpan

En la delegación Xochimilco se realizó la rehabilitación del área natural protegida de los Ejidos de San Gregorio y del distrito de riego del Ex ejido de Xochimilco (zona declarada patrimonio de la humanidad por la UNESCO). En esta delegación existen alrededor de 100,000 m³ de escombros que se empezaron a acumular a partir del sismo de 1985, la empresa Concretos Reciclados se encargó reciclar 16,000 m³ de este escombros y el producto resultante se empleó para la rehabilitación de aproximadamente 14 km de caminos cortafuegos y de acceso del propio Distrito de Riego.



Figura 4. Rehabilitación de caminos Xochimilco



Otro caso específico es la línea 12 del metro; aprovechando la cercanía de esta obra a la planta de reciclaje (3km en el punto más próximo), la empresa encargada de la construcción de este tramo, transportó el escombros y producto de excavación generado en la obra; Concretos Reciclados recibió y recicló el material que posteriormente fue utilizado para la construcción de plataformas, fabricación de pilotes, relleno en zapatas, sub-bases y bases. Lo interesante de este proyecto, fue que la empresa logró reducir considerablemente los costos de transportación, aprovechando traer el escombros y cargando material reciclado en el mismo viaje.



Figura 5. Fabricación de pilotes y relleno de zapatas con material reciclado

La construcción del parque Ecológico 18 de marzo o también llamado Parque Bicentenario, desarrollado en lo que fuera parte de los terrenos de la refinería 18 de marzo, mismos que fueron donados por Pemex con el fin de crear un espacio ecológico, educativo y recreativo que fomentara los principios de la sustentabilidad dentro de la sociedad. En este sitio se realizaron trabajos de recuperación de suelo, en los que se remediaron aproximadamente 1,154,111 m³ de tierra, a través de la utilización de biodigestores, convirtiéndose este proyecto en una de las más grandes e importantes remediaciones de suelo no solo de la cd de México sino a nivel mundial.

Para la construcción del parque Bicentenario se demolieron las antiguas instalaciones de la refinería, tales como pisos armados de concretos y almacenes; este material fue procesado y triturado dentro de las mismas instalaciones del parque para ser reaprovechado en la construcción de bases y sub-bases para vialidades y estacionamientos en el interior del parque.



Figura 6. Proceso de Reciclaje de Escombros

Tras conocer algunas de las aplicaciones que los AR tienen en la industria mexicana, es importante señalar que la gestión de los RCD, debe convertirse en una práctica rutinaria de la cual se obtendrán importantes beneficios para la sociedad, la industria y el medio ambiente tales como: la reducción en la cantidad de residuos depositados en vertederos, reducción en la utilización de recursos naturales (explotación de minas y canteras para obtención de materias primas), reducción y prevención de daños ambientales (emisión de partículas al ambiente, ruido, contaminación de suelo y agua) durante todo el ciclo de vida de la construcción (extracción de materias primas, manufactura, edificación y generación de RCD), reducción en los costos de producción (explotación, transporte y suministro), disminución de la huella ecológica, crecimiento de la industria del reciclaje (generación de empleo) y apertura de nuevas líneas de investigación.





CAPITULO 2
RECICLAJE Y REUTILIZACION DE LOS
RCD

2.1 INTRODUCCIÓN

La metodología utilizada para el presente trabajo de investigación fue desarrollada con apoyo del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc) perteneciente al Consejo Superior de Investigación Científica al (CSIC) y la asociación de gestores de residuos de construcción y demolición de Madrid, España, proceso que consistió en analizar el modelo de gestión de RCD de la industria española, el cual incluye tres aspectos de gran relevancia: la normativa y funcionamiento de plantas de reciclaje, las características fisicoquímicas de los AR para su posterior utilización y la utilización de RCD para la generación de nuevos materiales. En el caso del funcionamiento de plantas de reciclaje, además de la industria española se toma como referente a la industria holandesa, está por considerarse como una de las industrias más desarrolladas en el ámbito del reciclaje de RCD, utilizando como su principal tecnología a las plantas de reciclaje.

Para abordar el aspecto del funcionamiento de plantas de reciclaje (normativa y línea de producción) se analizan siete plantas: cinco españolas, una holandesa y una mexicana; tomando como base el modelo de planta fija, considerada como la más apropiada para desarrollar la técnica de reciclaje, como se hace mención en el capítulo I y de acuerdo a lo propuesto en la Guía Española de Áridos Reciclados procedentes de los RCD (GEARD, 2012), así como las recomendaciones a considerar para un adecuado emplazamiento; propuestas en la norma “Especificaciones técnicas y de gestión ambiental” (UNE 134002 EX, 1999). Se dará a conocer el funcionamiento de las plantas estudiadas, los equipos utilizados y los AR obtenidos. Información con la que se realiza una tabla comparativa y análisis; siendo esto parte fundamental para la elaboración de las recomendaciones a implementar en la industria mexicana.

Para el caso de la utilización de RCD para la generación de nuevos materiales, se dará a conocer el proyecto que actualmente se desarrolla en el departamento de reciclado de materiales del IETcc que lleva por nombre: “Reutilización de residuos cerámicos como material puzolánico para la elaboración de cemento eco-eficiente” en el cual se dará a conocer de manera gráfica cada una de las etapas que componen este estudio, desde su proceso de valorización como residuo, su recolección en la planta de reciclaje, valoración química, hasta la elaboración de pastas y morteros; para el caso específico de este estudio no se mostraran los resultados finales de las pruebas físicas (flexión y compresión) ya que actualmente aún no se cuenta con estos resultados. Como parte complementaria de esta reutilización de RCD se analiza su impacto ambiental (nivel de contaminación) entre el proceso tradicional de fabricación de cemento y el propuesto con esta alternativa de sustitución de RCD por materia prima natural, así como la similitud que existe entre la normativa española y mexicana para la elaboración de cementos. De esta manera se comprueba que este resulta un proyecto altamente viable para su desarrollo en la industria mexicana debido a la similitud que existe en la normativa de ambos países. Como resultado de esta valorización se dan a conocer los requerimientos mínimos necesarios que debe contener un AR para su posterior utilización y reincorporación al ciclo de vida de la construcción.



Con la información obtenida a partir de este análisis se realiza una serie de recomendaciones a implementar en la industria mexicana; abordando cada una de las etapas involucradas en la gestión de los RCD tales como: normativa, implementación de centros de valorización, manejo de RCD en sitio de generación y tratamiento en la planta de reciclaje.

Siendo que se analizó el modelo de gestión español y holandés resulta importante conocer los datos en cuanto la generación y reciclaje de RCD que presenta estos dos países con el resto de la UE, considerando que el reciclaje de estos residuos es una actividad cada vez más estimulada por los países miembros. Según el plan nacional integrado de residuos de España (PNIR 2001-2006) como datos cuantitativos sobre la producción y gestión de los RCD en los países miembros de la UE (Figura 7) podemos destacar los siguientes:

- En Holanda, Dinamarca, Austria, Suiza y Alemania, el reciclaje de residuos ya es una actividad consolidada que cuenta con normativa, promoviendo así el uso de materiales reciclados en la construcción.
- España ocupa en la UE el séptimo lugar en producción de RCD, por detrás de Holanda, Alemania, Bélgica, Austria, Dinamarca y Reino Unido.
- La reutilización ó reciclado, es una práctica habitual en países como Bélgica, Dinamarca, Reino Unido y Finlandia; donde se alcanzan porcentajes de reciclado por arriba del 40%, y con tendencias tan claras como en Holanda donde la política de gobierno para el reciclaje es del 90% de los RCD que se producen.
- España ocupa el último lugar junto con Grecia, Portugal e Irlanda en reutilización ó reciclado con tan solo un 5% de la producción total.
- La media en cuestión de generación de RCD para los miembros de la unión europea es de 480 kg/hab/año. Mientras que el porcentaje de reciclaje es de un 45%.

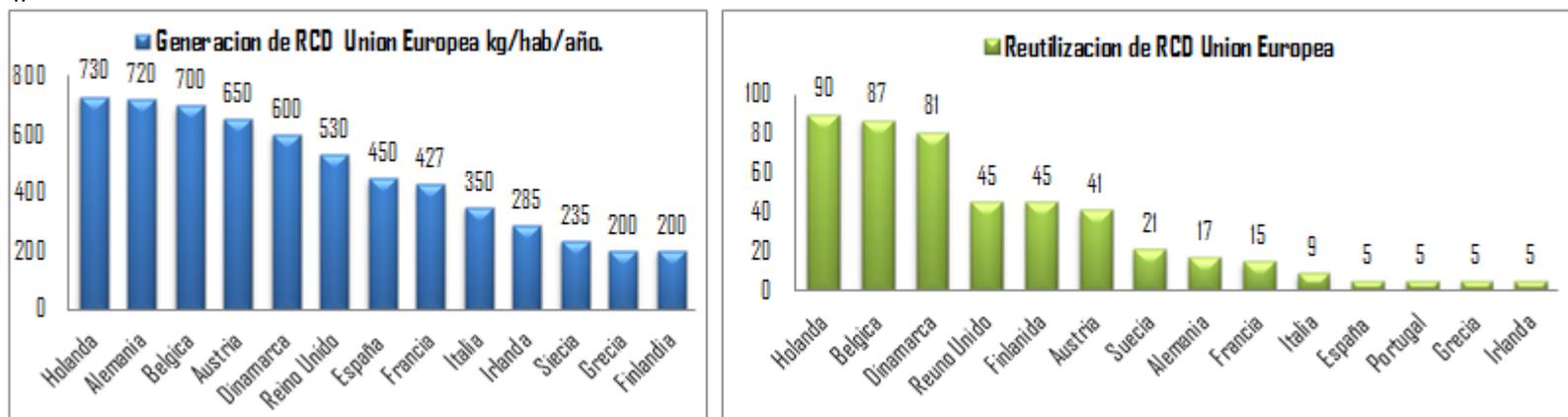


Figura 7. Producción y reutilización de países miembros de la UE PNRC (2001-2006)



Una vez conocidos los datos de reciclaje que los países involucrados en esta investigación mantienen, se describe el orden de operaciones o procesos a seguir en una planta de reciclaje fija, siendo esta la analizada para la presente investigación y cuya implementación se sigue en las plantas analizadas posteriormente. De acuerdo a lo sugerido por la Asociación Científico – Técnica del Hormigón Estructural (ACHE) y establecido en el proyecto de la Guía Española de Áridos Reciclados procedentes de RCD (GEARD) se describe (Figura 8).

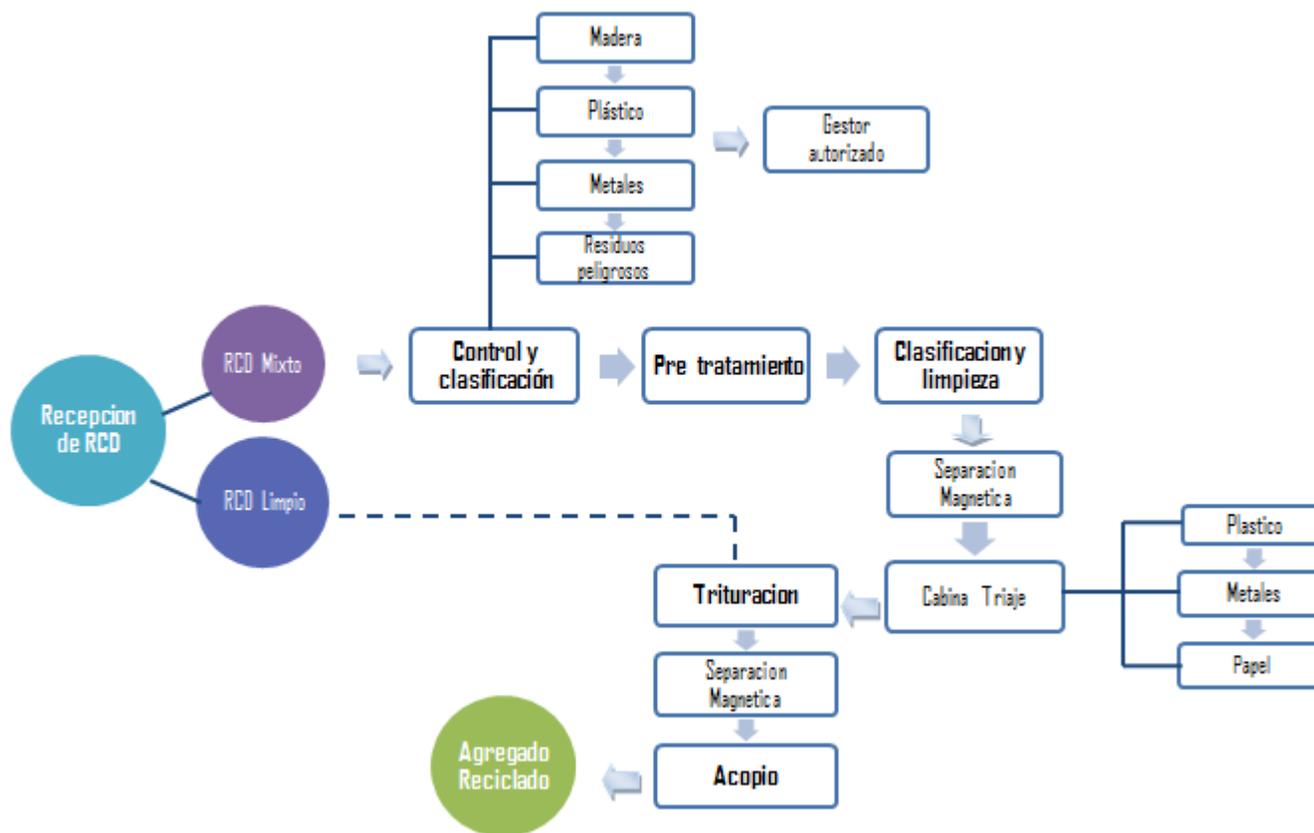


Figura 8. Línea de producción de planta de reciclaje modelo fijo

Control y clasificación de entrada: El control de entrada es un factor determinante para conseguir un proceso productivo adecuado y garantizar productos de calidad. Un buen control de admisión permite un buen dominio sobre todo el proceso productivo y sobre los productos finales, minimizando los riesgos en la calidad. En general, el proceso de clasificación del residuo a la entrada de la planta (separación de elementos reutilizables y elementos contaminantes) consiste en descargar el RCD en una zona previamente establecida para luego separar el material contaminante (madera, plásticos, metales, etc.) mismos que se recomienda sean enviados a un gestor especializado y autorizado. Los grandes bloques de residuo son fraccionados hasta conseguir un tamaño adecuado para continuar con el proceso. Este control y separación puede clasificarse por la calidad del material recibido (RCD limpio o sucio), por su composición (RCD predominantemente de hormigón o mixto), por su granulometría (el tamaño de los RCD recibidos) o por su procedencia (origen del RCD).

Pre tratamiento: El pre tratamiento, pre cribado o también llamada trituración primaria tiene por objeto la reducción del tamaño del residuo, separando aquellos de excesiva granulometría. El equipo consta de una criba de corte de 160 mm colocada en serie junto con otra criba de corte 40 y 80mm. El material procesado y saliente de la primera criba, es la alimentación y paso de la segunda, el material rechazado de ambas será regresado como alimentación del molino primario y así sucesivamente si el proceso lo requiere,

Clasificación y limpieza: Durante este proceso se realiza la adecuada separación de los materiales que componen los residuos, los materiales pétreos (hormigón, ladrillo, albañilería y cerámica) de los no pétreos (metales, madera, plásticos, etc.). Existen diversos métodos de separación de impurezas, tales como: tromeles, cribas, cabinas de triaje, electroimanes, lavadoras y ciclones; siendo la separación magnética, seguida de la cabina de triaje los más usuales. La separación magnética es empleada básicamente para retirar los materiales férricos del resto de los RCD, en la mayoría de los casos este proceso se realiza después de que el RCD pasa por la trituración primaria y secundaria evitando que el material férrico contamine el residuo. En cuanto al tema de limpieza, existen dos tipos de mecanismos: por aire o por agua, siendo la limpieza a través de aire la más empleada, este proceso puede realizarse antes o después de la trituración primaria.

Cribado o trituración: Un sistema de reciclaje puede comprender uno o varios tipos de trituración en los que se pueden emplear diferentes tipos de maquinaria, tales como: molinos de impacto, trituradora de mandíbulas y molinos de conos. Dependiendo del tipo de trituración seleccionada, la planta de reciclaje podrá clasificarse en tratamiento primario, donde el RCD recibido en planta pasa por un único proceso de trituración dentro de la línea de producción y tratamiento mixto (primario y secundario) donde el RCD tratado en planta pasa por dos procesos de trituración dentro de la misma línea de producción. La selección de un sistema de trituración es factor indispensable para el diseño de una planta de reciclaje; ya que los procesos de trituración contribuyen a obtener agregados reciclados de alta calidad. Del tipo de trituración empleado dependerán las características físicas del AR (coeficiente de forma, índice de lajas y granulometría de los materiales).



Como se hizo mención en la descripción de la metodología es imprescindible conocer las especificaciones técnicas necesarias que los centros de valorización o plantas de reciclaje deben considerar para su óptimo funcionamiento. Tomando en cuenta las recomendaciones establecidos en la norma española UNE 134002 EX, 2012 se enlistan los tres aspectos fundamentales a considerar:

1. Características administrativas:

Con respecto a este primer punto la normativa recomienda definir el proyecto técnico de la actividad a realizar, el cual deberá ser elaborado por un técnico especialista, revisado y autorizado por el departamento de medio ambiente correspondiente, mismo que deberá contener los siguientes aspectos:

- a) Identificación de la entidad que va a desarrollar la actividad, así como la dirección física donde será instalada la planta.
- b) Descripción de actividades proyectadas, especialmente descripción de las instalaciones, procesos, equipos, materias primas, energía utilizada y productos resultantes de dichos procesos.
- c) Medidas de protección y prevención en relación a las emisiones de la instalación de aire, agua y suelo.
- d) Estructura organizacional, descripción de controles, admisión de residuos tanto de los que se eliminarán como de los valorizables.

Adicional al proyecto deberá considerarse la licencia de actividades otorgada por la autoridad competente, así como la autorización por parte del organismo medioambiental correspondiente para la gestión, la cual deberá incluir lo siguiente:

- a) Seguro de responsabilidad civil sobre daños al medio ambiente, esto con el fin de cubrir los daños ambientales generados por esta actividad.
- b) Número de gestor de RCD, emitido por el organismo medioambiental correspondiente.
- c) Libro de registro de origen de residuos, el cual será aprobado por el organismo medioambiental, en el que señale la identificación del productor de residuos, número de permiso o licencia de la obra de procedencia y caracterización del material recibido (volumen, tipo y tarifa).

Otro aspecto indispensable será el catálogo de residuos aceptados por la planta de reciclaje, el sistema de tarifas de acuerdo al tipo de residuo, registros, formatos para admisión de residuo así como expedición de comprobantes o certificados de depósito de residuos (productor, volumen y tipo) procedentes de cada obra.



2. Características constructivas:

Características que corresponden a la distribución, diseño y emplazamiento de la planta de tratamiento, mismas que se sugieren contemplen los siguientes puntos:

- a) Terreno de superficie aproximada entre 200 y 300 m², lo mas horizontal posible, el cual deberá contar con acceso adecuado. La capa superficial del terreno deberá estar formada por una capa mineral perfectamente compacta y de espesor suficiente, con cerramiento y drenaje adecuado.
- b) Contar con infraestructura necesaria para desarrollar la actividad en condiciones de seguridad e higiene.
- c) Caseta de servicios con oficina, equipada con báscula para la admisión de material y la expedición de productos reciclados.
- d) Laboratorio de análisis químico.
- e) Lugar de acopio debidamente señalado donde serán colocados los residuos entrantes.

3. Características de Gestión Ambiental

- a) Los RCD recibidos deberán ser inspeccionados por personal responsable, localizada en el la caseta de la planta. Dicha persona realizara una inspección visual del residuo transportado con la finalidad de admitirlo o rechazarlo.
- b) Una vez descargado el residuo serán separados aquellos residuos contaminantes inaceptables, siendo colocados en contenedores perfectamente identificados que posteriormente se entregaran a gestores especializados, estos residuos pueden ser: plásticos, maderas, cartón, metales, vidrio y residuos peligrosos.
- c) Se deberá realizar el mantenimiento y control de las instalaciones (canalizaciones para escurrimiento de lixiviados)
- d) Contar con plan de mantenimiento para maquinaria e instalaciones existentes en planta
- e) Contar con sistema para minimizar la producción y dispersión de polvo generado durante el proceso de machacado y cribado, así como la generación de contaminación acústica.



2.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS PLANTAS ESTUDIADAS

Como parte del desarrollo de la metodología y apoyados de las recomendaciones establecidas en la normativa vigente tanto para el funcionamiento de las plantas de reciclaje como para su emplazamiento, se estudia el funcionamiento de siete plantas de reciclaje, cinco españolas (Figura 9), una holandesa (Figura 10) y una mexicana (Figura 11). Información con la que se realizara la valoración de una de la etapas más importantes dentro de la gestión de los RCD, elaborando una comparativa para dar a conocer los aspectos relevantes de este análisis en la línea de producción, instalaciones utilizadas y medidas de mitigación para efectos negativos al ambiente durante el proceso de transformación del RCD a AR.



Figura 9. Plantas españolas.



Figura 10. Planta holandesa



Figura 11. Planta mexicana

2.2.1 PLANTA BCN-01

El objetivo principal de esta planta de reciclaje es la realización de un adecuado tratamiento del residuo (separación, clasificación, limpieza y cribado) para la obtención de AR de alta calidad, produciendo arenas, gravas y zahorras recicladas, mismas que son utilizadas como AR en obras de infraestructura. Es importante destacar que las instalaciones cuentan con una clara distribución de los espacios, existiendo cinco zonas claramente diferenciables: zona de acopio, zona de residuos peligrosos, zona de acopio de materiales no deseados (madera, yeso, aislamiento acústico, aluminio, etc.) proceso tecnológico y zona de almacenamiento de los productos finales. Esta planta cuenta con equipos auxiliares (trituradora, separación magnética y banda transportadora) encargados de tratar y acondicionar la fracción que resulte rechazada en el cribado inicial y que reinicie la cadena principal. Por último esta planta cuenta con la disposición de rociadores en distintos puntos de la línea de producción para con esto minimizar las emisiones de polvo.

Descripción de la línea de producción:

1. Recepción de material
2. Acopio de residuo
3. Pre tratamiento
4. Alimentación
5. Separación magnética
6. Cabina de triaje
7. Separación neumática
8. Separación materiales ligeros
9. Trituración secundaria y separación magnética secundaria



1. Recepción de material

Esta planta acepta RCD mixtos (pétreos y no pétreos). La recepción consiste básicamente en el pesado e inspección visual del residuo (Figura 12). La planta cuenta con una zona específica de almacenamiento, donde los residuos peligrosos son colocados en contenedores especiales y separados del resto de los RCD, mismos que son enviados a gestores especializados. En esta zona se clasifican según su tipología y naturaleza.



Figura 12. Recepción del residuo y acopio de residuos peligroso

2. Acopio de residuo

Una vez aceptado el RCD se realiza el acopio al aire libre en un área delimitada del resto de las operaciones de la planta, para que posteriormente continúen con el proceso de reciclado. La tipología del residuo tratado se caracteriza por presentar mayoritariamente dos tipos de materiales: concreto y cerámica.

3. Pre-tratamiento

Antes de iniciar el proceso de reciclado se realiza una primera separación mecánica de aquellos residuos de concreto que por su tamaño requieren una mayor reducción, para así continuar su proceso. Esta fracción es contenida de manera independiente. Además de esta separación mecánica se realiza una separación manual eliminando todo aquel material de origen no pétreo (plástico, madera, cables, materiales metálicos, yeso, etc.) que interfiere desfavorablemente en la calidad del producto final, donde el material rechazado es depositado en contenedores especiales (Figura 13).





Figura 13. Acopio de materiales de origen no pétreo

4. Alimentación

La alimentación de la planta se realiza mediante el empleo de una retroexcavadora que vierte el residuo sobre la tolva que tiene en su parte inferior una parrilla inclinada (precibado) dotada de un movimiento oscilatorio que permite el paso del material de un determinado tamaño (Figura 14). Es importante resaltar que en el puesto de control existe la posibilidad de activar una serie de aspersores que permiten humedecer el residuo y con esto disminuir la generación de polvo.

El producto rechazado de esta etapa es sometido a un proceso adicional de trituración que verterá el producto en como una alimentación secundaria sobre la parrilla inclinada, avanzando en el proceso de reciclado.



Figura 14. Alimentación planta

5. Separación magnética

Una vez realizado el precibado, el residuo pasa a un trómel rotativo que permite que el producto avance. Este producto es depositado sobre una cinta transportadora donde posteriormente se llevará a cabo una separación magnética del acero suelto (Figura 15). La separación magnética consiste en la disposición de una cinta magnética rotatoria sobre la cinta transportadora captando todo material metálico que pasa por ahí, siendo éste depositado en un contenedor independiente.



Figura 15. Separador magnético

6. Cabina de triaje

En esta fase del proceso (Figura 16) se lleva a cabo la eliminación de materiales de origen no pétreo que no hayan sido eliminados en los procesos anteriores. Estos materiales son enviados directamente a unos contenedores que se encuentran en la parte inferior de la cabina. La entrada de la cabina cuenta con aspersores para humedecer el residuo y evitar en lo posible la generación de polvo en el interior de la misma.



Figura 16. Interior cabina triaje

7. Separación neumática

A la salida de la cabina de triaje se realiza una separación neumática (Figura 17) con el objetivo de eliminar los plásticos que no se hayan eliminado anteriormente, los cuales son conducidos a través de una tubería hasta un contenedor donde son depositados.



Figura 17. Separación neumática



8. Separación materiales ligeros

En este proceso el producto cae a una bañera de lavado donde son eliminadas las partículas flotantes (Figura 18). El movimiento producido por el propio vertido del material, hace que las partículas flotantes no se queden atrapadas entre el material y se suspendan en la parte superior. Esta bañera consta de unas paletas o cepillos que arrastran este material hasta un contenedor donde es depositado. Por el lado contrario sale el material limpio que pasa directamente a la parte final del proceso de reciclado.



Figura 18. Bañera de lavado

9. Trituración y separación magnética secundaria

El producto procedente de la bañera de lavado pasa directamente a una trituradora de impacto (Figura 19) que permite reducir el tamaño del RCD. Es importante destacar que el RCD se encuentra en estado húmedo, disminuyendo así la generación de polvo durante este proceso de trituración. El producto saliente del proceso de trituración es sometido nuevamente a una separación magnética, garantizando de este modo la eliminación de cualquier elemento metálico que pudiera haberse desprendido durante la trituración.



Figura 19. Trituración separación magnética secundaria

2.2.2 PLANTA MAD-02

El objetivo principal de esta planta de reciclaje es la realización de un adecuado tratamiento del residuo (separación, clasificación, limpieza y cribado) para la obtención de AR de alta calidad, produciendo agregado fino reciclado durante la trituración principal; arena mixta reciclada en la trituración secundaria; zahorra reciclada y agregado grueso mixto reciclado durante la etapa final de cribado. El agregado grueso y zahorra reciclada están constituidas principalmente por tres tipos de componentes: concreto y cerámica.

Otro aspecto que habría que mejorar es en relación con la cuestión ambiental; ya que durante los proceso de trituración existe un alto grado de emisiones de polvo al ambiente; por lo que habrá que considerar áreas de roseado.

Descripción de la línea de producción

1. Recepción de material
2. Acopio de residuo
3. Pre tratamiento
4. Alimentación
5. Separación magnética
6. Trituración principal
7. Cabina de triaje
8. Separación magnética secundaria
9. Trituración secundaria
10. Cribado



1. Recepción de material

El proceso de reciclado comienza con la recepción del residuo, la cual consiste básicamente en el pesado e inspección visual de este. Esta planta acepta RCD mixto, ya que cuenta adicionalmente con un vertedero para tratar aquellos residuos que por su naturaleza no pétreo no pueden ser reciclados aquí.

2. Acopio de residuo

Una vez aceptado el residuo, se procede a realizar su acopio en un hangar (Figura 20) o en su defecto al aire libre, esto, en función de la disponibilidad de espacio existente en el momento del depósito. Este hangar consiste en una especie de contenedores donde cae el residuo después de haberse sometido a una primera operación de cribado, mediante una parrilla formada por perfiles de acero. La tipología mayoritaria del residuo tratado está formada por fracción, aunque en algunos casos también el RCD está mezclado con un porcentaje menor de materiales como madera, plástico, metales, yeso y otros, los cuales resultan contaminantes para el producto final (AR).



Figura 20. Hangar de acopio del residuo y alimentación sistema

3. Pre-tratamiento

Antes de iniciar el proceso de reciclado se realiza un triaje mecánico y posterior uno manual, eliminando todo aquel material de origen no pétreo (plástico, madera, materiales metálicos, etc.) y que interfieran negativamente en la calidad del producto final. Este pre tratamiento comienza desde que se realiza la operación de acopio. El material rechazado será sometido a un posterior proceso de selección manual y una reducción de tamaño de aquella fracción que tiene un tamaño demasiado grande para ser introducido en el molino de impacto, procediendo a su trituración mediante una retroexcavadora de cadenas

4. Alimentación

La alimentación de la planta (Figura 21) se realiza directamente del camión que traslada los RCD a la bañera del camión, o bien mediante el empleo de una retroexcavadora que vierte el residuo al hangar. En el fondo de los contenedores dispuestos en el hangar se encuentra una cinta transportadora que permite que el residuo avance al siguiente proceso.



Figura 21. Alimentación de la planta

5. Separador magnético manual

La separación magnética (Figura 22) se realiza justo después de la alimentación para evitar desde un inicio que el acero suelto pase al molino lo dañe. El sistema consiste en el envío del residuo por la cinta transportadora donde en la parte superior de esta se encuentra una cinta magnética rotatoria que capta todo el material metálico que pasa, el cual es depositado en un contenedor. Es importante señalar que en esta planta todas las cintas transportadoras, excepto la que va de la cabina de triaje a la trituración secundaria, se encuentran cubiertas para evitar al máximo la emisión de partículas de polvo al ambiente.

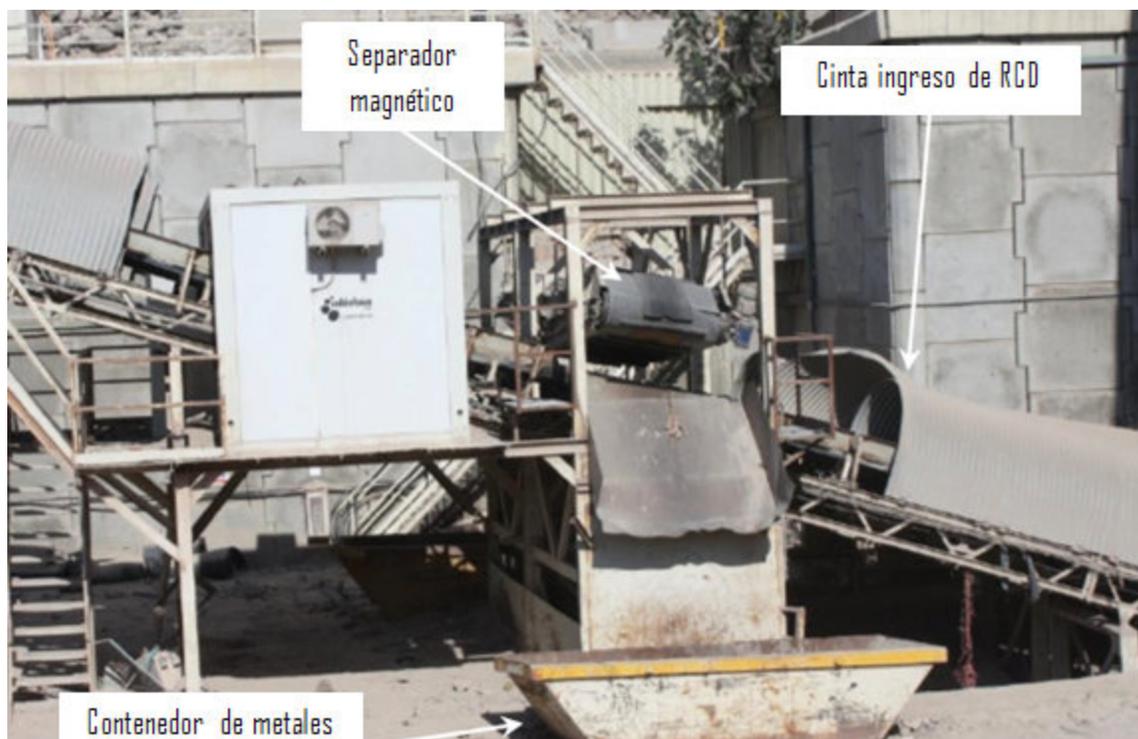


Figura 22. Separador magnético



6. Trituración principal

La elección del tipo de trituradora (machaqueo, conos o de impacto) a emplear en una planta depende principalmente: del consumo de energía, el costo de producción y la calidad del producto. En esta planta hay una pre trituración de aquellos residuos que inicialmente presentan un tamaño excesivamente grande, una trituración principal (Figura 23) y una secundaria antes y después de la cabina de triaje respectivamente. Esta trituración principal consiste en dos molinos de impacto horizontales que se encuentran dispuestos en paralelo, pudiendo funcionar bien los dos a la vez o uno u otro, permitiendo de este modo ajustarse a la demanda existente en cada momento.



Figura 23. Molino de impactos

En este punto de la instalación se obtiene un producto final, agregado fino. Este material se caracteriza por tener un elevado porcentaje de tierra y yeso, por lo que se trata de un agregado de baja calidad.

7. Cabina de triaje

En esta fase del proceso (Figura 24) se lleva a cabo la eliminación de materiales de origen no pétreo (plásticos, cartones, madera, metales, etc.) que no hayan sido eliminados con anterioridad. Estos materiales son enviados directamente a un contenedor.



Figura 24. Cabina de triaje

8. Separador magnético secundario

Esta separación magnética secundaria (Figura 25) tiene lugar a la salida de la cabina de triaje para eliminar cualquier material metálico que quede y pueda dañar las cintas transportadoras.





Figura 25. Separador magnético

9. Trituración Secundaria

El material una vez que pasa por el separador magnético es sometido a una trituración secundaria. Esta trituración se lleva a cabo en una trituradora de impacto, consiguiendo de este modo obtener un agregado reciclado con formas esféricas y menos laminares.



10. Cribado

Como última etapa, el material que no ha sido retenido en las fases anteriores continúa el proceso para ser sometido a un proceso de cribado en una parrilla inclinada (Figura 26), obteniéndose de este modo un agregado grueso mixto que tiene una granulometría comprendida entre 4 - 25 mm. y otro material de granulometría superior que continúa el proceso.



Figura 26. Equipo de cribado



2.2.3 PLANTA MAD-03

El objetivo de esta instalación es la producción de AR reciclados del concreto: arena reciclada, grava reciclada y macadam reciclado, mismos que presentan una buena calidad, tanto por su origen como por lo que parece un adecuado funcionamiento de la planta. Los AR están concentrados en áreas debidamente señalizadas y delimitadas. En la planta existen tres zonas claramente diferenciadas: zona de acopio, proceso tecnológico y zona de almacenamiento de los AR, además de una instalación anexa que permite el llenado de pipas para el riego de la planta, evitando de este modo la generación de polvo por el tránsito de vehículos en el interior de las instalaciones.

Descripción del proceso de tratamiento (línea de producción)

1. Recepción de material
2. Acopio de residuo
3. Pre tratamiento
4. Alimentación
5. Trituración principal
6. Separación magnética
7. Cribado

1. Recepción de Material

La recepción de los RCD (Figura 27) consiste básicamente en el pesado e inspección visual de este, donde se realiza un registro de la placa del camión que lo traslado, nombre del conductor y tipo de residuo que se acepta. Esta planta acepta solamente residuo limpio (concreto) aunque en algunos casos se acepta material con un porcentaje menor material cerámico y asfalto.





Figura 27. Recepción y control de residuos

2. Acopio de Residuo

El área de acopio está dotada de una serie de aspersores que tienen como finalidad humedecer los residuos para evitar la generación de polvo al ambiente. Este residuo carece prácticamente de impurezas (Figura 28) que puedan afectar negativamente a las propiedades del producto final, ya que prácticamente todo es concreto.



3. Pre tratamiento

Como siguiente paso se realiza un triaje manual y mecánico, eliminando con esto todo aquel material de origen no pétreo. En esta fase también se lleva a cabo un pre-acondicionamiento (Figura 29) de aquellos residuos que presentan un tamaño demasiado grande para ser enviados al molino.



Figura 29. Pre-acondicionamiento de los residuos

4. Alimentación

La alimentación de la planta se lleva a cabo mediante el empleo de una retroexcavadora que vacía el residuo a un alimentador y por medio de una cinta transportadora se lleva los residuos al molino de impacto. En este punto se lleva a cabo una primera separación (Figura 30), eliminando aquel material que no necesita ser sometido a un proceso de cribado. Este agregado fino es de baja calidad estando constituido principalmente por tierra y yesos sueltos.





Figura 30. Acopio de finos con elevado contenido de tierra

5. Trituración

La planta cuenta con una pre-trituración (Figura 31) que se realiza en la fase de pre-tratamiento y una trituración final del residuo que se realiza en una trituradora que cuenta con dos martillos y unas muelas de impacto.



Figura 31. Trituradora de impacto



6. Separación magnética

La separación magnética (Figura 32) se realiza justo después del machaqueo para evitar que el acero suelto dañe las cintas transportadoras. Este proceso consiste en el envío del residuo ya machacado a través de las bandas transportadoras, donde encima de estas se encuentra una cinta magnética rotatoria que capta todo el material metálico que viene junto con el demás residuo, depositándolo en un contenedor independiente.



Figura 32. Separador magnético

7. Cribado

Una vez que el residuo está limpio de materiales metálicos, este se somete a un proceso de cribado. Esta fase consiste en eliminar aquella fracción del material que tenga un tamaño superior al deseado (Figura 33). Durante este proceso son colocados aspersores en uno de los extremos de la cinta transportadora que evitan la generación de polvo al ambiente.



Figura 33. Pre cribado

El material continúa el proceso para ser enviado a una serie de cribas (Figura 34), obteniéndose de este modo los AR. Para esta planta la criba cuenta con dos diferentes curvas granulométricas.



Figura 34. Equipo de cribado: salida de curvas granulométricas



2.2.4 PLANTA GRN-04

El objetivo principal de esta planta de reciclaje es la obtención de AR provenientes de los RCD mixtos tales como agregado fino reciclado (menor de 6 mm) y agregado grueso reciclado (entre 6 – 10 mm). La planta presentan una buena distribución, separación y señalización de las distintas zonas de trabajo; existiendo tres zonas claramente diferenciables: zona de acopio, proceso tecnológico y zona de almacenamiento de los productos finales. Los AR presentan una gran calidad con la nula existencia de impurezas (plástico, cartón y madera), siendo este hecho indicativo de una correcta eficiencia en el funcionamiento de la planta. Otro aspecto importante es que se cuenta con sistema de rociadores para la minimización de las emisiones de polvo generadas durante el proceso de trituración y el desplazamiento de vehículos.

Descripción del proceso de tratamiento (línea de producción)

1. Recepción de material
2. Acopio de residuo
3. Pre tratamiento
4. Alimentación
5. Cabina de triaje
6. Trituración primaria
7. Separación magnética
8. Cribado

1. Recepción de Material

La recepción del RCD consiste en el pesado e inspección visual. La figura 35 muestra la báscula de pesado y las oficinas donde se realiza todo el proceso de control (datos del camión, conductor, tipo de residuo y documentación). Esta planta acepta prácticamente la totalidad de residuos mixto, excepto aquellos que contengan materiales que lixivien.





Figura 35. Control y recepción de los residuos

2. Acopio del residuo

Una vez aceptado el residuo se procede a realizar su acopio al aire libre (Figura 36). Este acopio está adaptado con una serie de aspersores que tienen como finalidad humedecer los residuos para evitar la generación de polvo. Los residuos están formados mayoritariamente por una fracción pétreo.



Figura 36. Acopio del residuo



3. Pre-tratamiento

Antes de iniciar el proceso de reciclado se realiza una separación manual y mecánica eliminando todo aquel material de origen no pétreo (plástico, madera, materiales metálicos, etc.) fácilmente identificables y que interfieran negativamente en la calidad del agregado final. En esta fase también se lleva a cabo un pre-acondicionamiento de aquellos residuos que presentan un tamaño demasiado grande, reduciendo su tamaño para así ser enviados al molino.

4. Alimentación

La alimentación de la planta se lleva a cabo mediante el empleo de una retroexcavadora que vacía el residuo a un alimentador vibrante (Figura 37). Como consecuencia de este movimiento vibrante se produce la caída del material a una cinta transportadora que llevará estos residuos a la cabina de triaje para continuar con el proceso.



Figura 37. Alimentador vibrante

5. Cabina de triaje

En esta fase del proceso (Figura 38) se lleva a cabo la eliminación de materiales de origen no pétreos (plásticos, cartones, madera, metales, etc.) que no se hayan eliminado con anterioridad en el proceso de pre acondicionamiento. Estos materiales son eliminados a un solo contenedor.

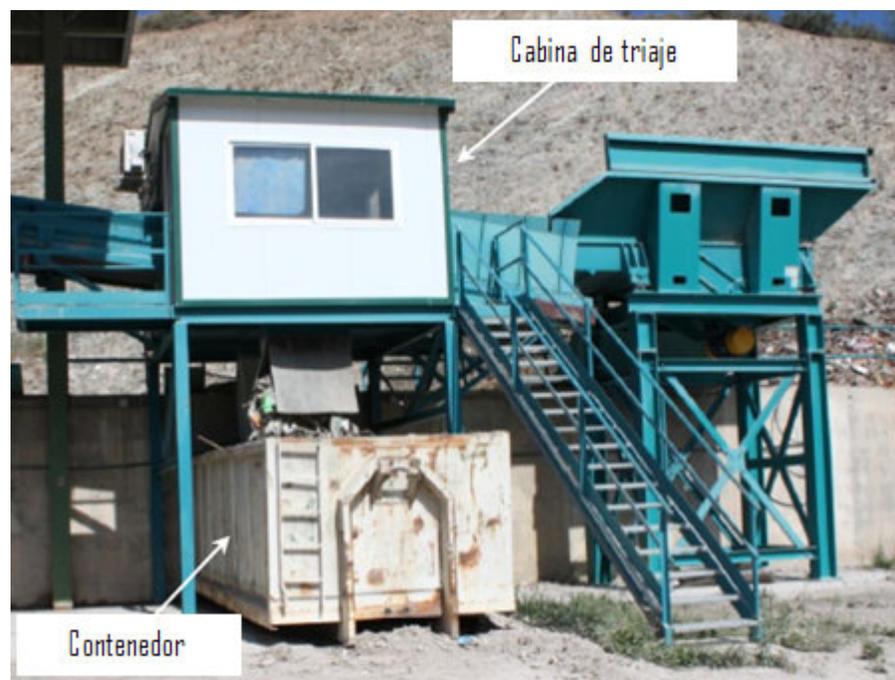


Figura 38. Cabina de triaje

6. Trituración primaria

El material que ya pasó por la inspección de la cabina de triaje es sometido a una operación de cribado con el objetivo de separar los materiales con granulometría más fina que no necesiten ser enviados al proceso de trituración (Figura 39). El material obtenido durante este proceso es almacenado como un agregado final, mientras que el material rechazo continuara el proceso de tratamiento. Este material fino obtenido en esta etapa es de baja calidad estando constituido principalmente por tierra y yesos sueltos.

Para esta planta se utiliza una pre trituración que es llevada a cabo en la fase de pre-tratamiento y una trituración final del residuo que se realiza en un molino de impactos (Figura 40).



Figura 39 Acopio de finos con elevado contenido de tierra



Figura 40. Molino de impactos

7. Separador Magnético

La separación magnética (Figura 41) se realiza justo después del machaqueo para evitar que el acero suelto dañe las cintas transportadoras y contamine el agregado final. El sistema consiste en el envío del residuo por la cinta transportadora, en la cual, en su parte superior se encuentra una cinta magnética rotatoria que capta todo material metálico, siendo este depositado en un contenedor.





Figura 41. Separador magnético

8. Cribado

El material no retenido en los procesos anteriores continúa el proceso para así ser sometido a una serie de cribas (Figura 42), obteniéndose de este modo los productos finales que presentan distintas granulometrías.



Figura 42. Equipo de cribado



2.2.5 PLANTA L-05

El objetivo principal de esta planta de tratamiento es la generación de AR a partir de los RCD mixtos, aunque también en un menor porcentaje se reciben RCD, los productos finales que aquí se producen son: agregados cerámicos y concretos (granulometría de 0-30 y de 30-60 mm), concreto triturado y piedra limpia. Estos AR presentan una gran calidad con la práctica inexistencia de impurezas (plástico, cartón y madera), siendo este hecho indicativo de una correcta eficiencia en el funcionamiento de la planta. La planta cuenta con sistemas de minimización de impacto ambiental (aspersores de agua durante la trituración inicial), presenta una adecuada distribución, existiendo tres zonas claramente diferenciables: zona de acopio, proceso tecnológico y zona de almacenamiento de los productos finales.

Descripción del proceso de tratamiento (línea de producción)

1. Recepción de material
2. Acopio de residuo
3. Pre tratamiento
4. Alimentación
5. Separación magnética y neumática
6. Cabina de triaje
7. Cribado

1. Recepción de Material

La recepción del material consiste básicamente en el pesado e inspección visual del residuo recibido en planta. La figura 43 muestra la báscula de pesado y las oficinas donde se realiza el proceso de control. Esta planta acepta tanto residuos limpios (concreto y asfalto) como mixto (concreto, cerámica, plástico, metales, maderas, etc.).





Figura 43 Oficina y bascula de pesado (recepción de material)

2. Acopio del residuo

Una vez aceptado el residuo es descargado en un área debidamente impermeabilizada y cubierta, este acopio está clasificado por tipo de residuo: metales, maderas, concreto, asfalto, plásticos y materiales peligrosos (Figura 44). Los residuos están formados mayoritariamente por una fracción pétreo (concreto, piedra y material cerámico principalmente).





Figura 44. Acopio de residuos recibidos en planta

3. Pre tratamiento

Con la retroexcavadora dotada de una pinza, se realiza la primera selección de los materiales más voluminosos y de los que por su composición no puedan entrar en la línea de producción (maderas, pasticos, metales, residuos peligrosos, etc.)





Figura 45. Clasificaciones de residuos no pétreos

4. Alimentación

La alimentación (Figura 46) se lleva a cabo mediante el empleo de una retroexcavadora que vierte el residuo a una cinta nervada (vibratoria) para iniciar el proceso de transformación. Como consecuencia de este movimiento vibrante se produce la caída del material a una cinta transportadora que llevará a estos residuos a la cadena de triaje.



Figura 46. Alimentación



5. Separación magnética y neumática

La separación magnética se realiza justo después del pre tratamiento. El sistema consiste en el envío del residuo por la cinta transportadora y mediante un equipo neumático se eliminan todos los materiales menos densos: plásticos, cartones, etc. (Figura 47) El proceso continúa y mediante un potente imán se le retiran todos los materiales de composición metálica, mismos que son depositados en un contenedor especial.

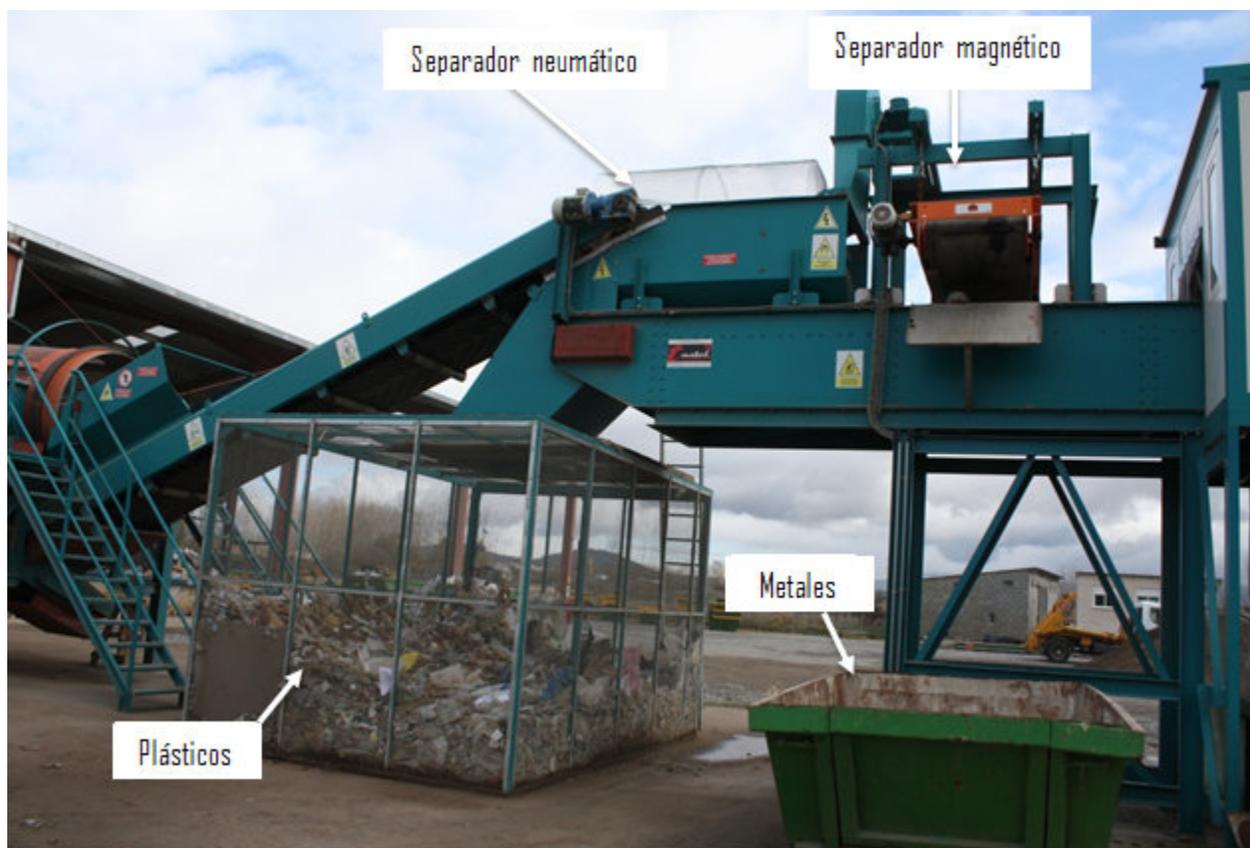


Figura 47. Separación magnética y neumática



6. Cabina de triaje

Las instalaciones incorporan una cabina de triaje manual (Figura 48) en la que pueden incorporarse hasta doce operarios. Estos realizan una inspección visual retirando las fracciones de material no deseable (plásticos, restos metálicos, vidrio, maderas, etc.) que no fueron separadas en los procesos anteriores y que serán gestionados por empresas autorizadas para cada uno de ellos.

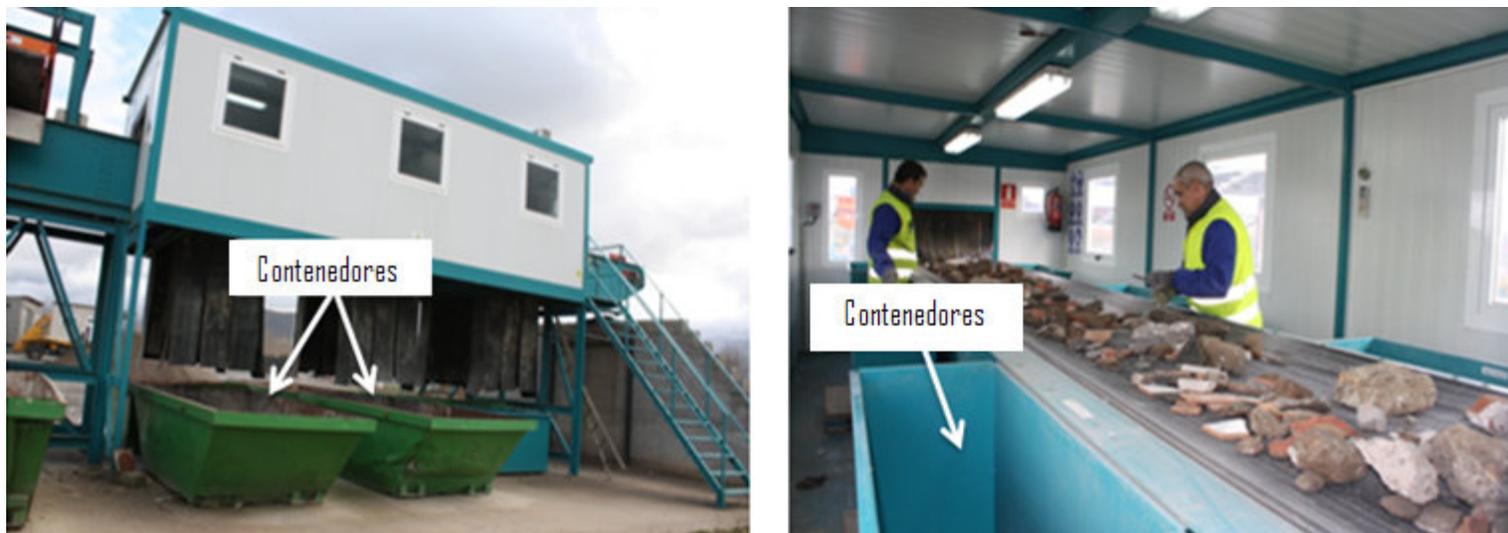


Figura 48. Cabina de triaje

Cribado

El material que ya pasó por la cabina de triaje continúa el proceso para ser sometido a una serie de cribas (Figura 49), obteniéndose de este modo los productos finales que presentan distintas granulometrías. Es importante mencionar que el equipo de trituración es un equipo móvil por lo cual se encuentra en un área independiente de la planta. Los agregados reciclado obtenidos son acopiados de acuerdo a su granulometría.





Figura 49. Trituración secundaria



2.2.6 PLANTA HOL-06

El objetivo de esta planta de reciclaje al igual que las demás es a partir de los RCD generar Ar de alta calidad listos para su reutilización; los agregados reciclados que se generan en las plantas holandesas son principalmente arengas y gravas. En cuanto a la línea de producción de esta y el resto de las plantas holandesas, incorporan procesos adicionales los cuales pueden ser (separación por flotación o aire). Adicionalmente, las plantas holandesas cuentan con medidas de mitigación de daños ambientales como: aspersión de agua durante proceso de trituración y cribado, riego de agua tratada en las áreas de circulación de la planta y muros verdes perimetrales

Descripción del proceso de tratamiento (línea de producción)

1. Recepción de material
2. Acopio de residuo
3. Pre tratamiento
4. Alimentación
5. Separación magnética y neumática
6. Cabina de triaje
7. Cribado

1. Recepción de material

Aproximadamente un 95% de las plantas de reciclaje holandesas aceptan la recepción de residuos tanto mixtos como limpios permitiendo tener un mayor número de recepción de RCD. El precio de recepción del residuo está en base a su nivel de contaminación; ya que los RCD mixtos requieren un mayor procesamiento.

2. Acopio de Residuo

Una vez aceptado el residuo es descargado en una playa debidamente impermeabilizada, delimitada y señalizada. Este acopio está clasificado por tipo de residuo, separando aquellos de origen peligroso los cuales serán tratados de distinta manera



3. Pre tratamiento

El tratamiento de las plantas holandesas se realiza por medios mecánicos, realizando la separación del residuo de acuerdo a su tipología, de donde los residuos no pétreos y peligrosos serán separados del resto para as ser enviados al gestor correspondiente (Figura 50).



Figura 50. Pre tratamiento. Adaptada de GERD, 2012

4. Trituración primaria

Una vez realizado el pre tratamiento y separación mecánica del residuo, este es dirigido mediante bandas transportadoras a la trituradora (Figura 51), las plantas holandesas manejan más de una trituradora a la vez, es decir, más de una línea de producción, de donde se tiene una primera separación de agregados reciclados, estos de menor calidad que los productos finales. En la parte inferior de la trituradora existen contenedores para aquellos materiales finos que se deriven del proceso de tratamiento.



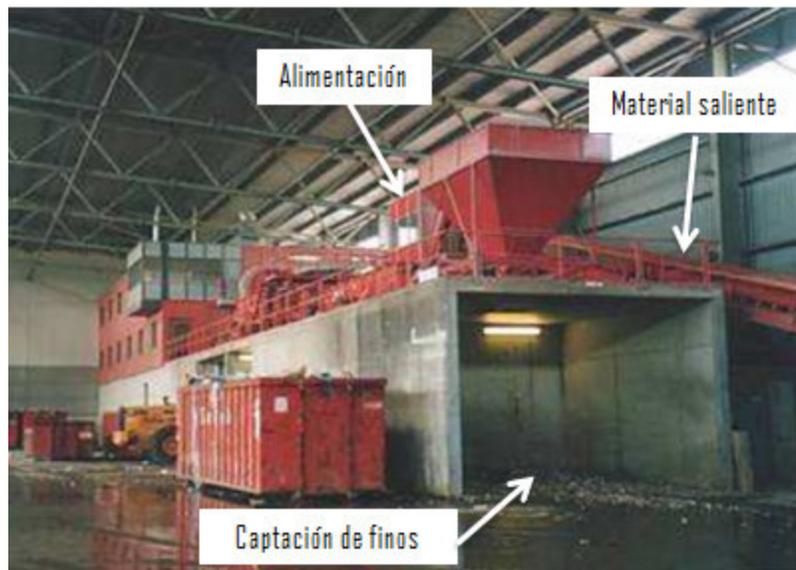


Figura 51. Trituración primaria. Adaptada de GERD, 2012

5. Separación magnética y neumática (aire)

La separación magnética (Figura 52) actúa sobre cintas transportadoras, atrayendo los materiales férricos y separándolos del material transportado. El separador está dotado de un dispositivo de descarga automática y continua de los desechos metálicos. Este proceso es posterior al pre tratamiento o trituración primaria. Como se mencionó con anterioridad también para la separación magnética existe más de una línea de producción.

La separación neumática (Figura 53) está colocada en puntos estratégicos de la instalación para separar mediante un sistema de aspiración y soplado y transportado vía neumática los materiales plásticos del resto del residuo. El sistema es totalmente automático, autónomo y es posterior a la trituración primaria.





Figura 52. Separación magnética. Adaptado de GERD, 2012



Figura 53. Separación neumática. Adaptado de GERD, 2012

6. Cabina de Triaje

A través de las cabinas los RCD son transportados por medio de las, de donde el residuo es inspeccionado visualmente, separando aquel de origen no pétreo, el cual cae al piso en diferentes contenedores de recogida. En las plantas holandesas se maneja más de una línea de producción simultánea (Figura 54), esto debido a la gran cantidad de residuos aceptados.



Figura 54. Cabina de triaje doble línea de producción. Adaptado de GERD, 2012



7. Trómel de lavado

Otro sistema de limpieza de RCD que manejan las plantas holandesas son los trómeles de lavado, los cuales a través de cilindros se realiza el lavado del residuo que llevan consigo un alto porcentaje de arcillas y tierras.

8. Cribado

Se utilizan equipos de trituración a base de quijadas con sistema de electroimán para separación de acero (Figura 55). Es en esta etapa donde se obtiene la clasificación final del material con diferentes niveles de granulometría. En las plantas holandesas se manejan equipos móviles y fijos facilitando así el traslado de los equipos en el interior de las instalaciones, con lo que se consigue un ahorro de combustible. En muchas de las ocasiones estos equipos móviles son trasladados directamente a la zona de generación de los RCD para hacer el proceso de reciclaje en sitio.



Figura 55. Equipo de Cribado (GERD, 2012)

2.2.6 PLANTA MEX-07

El objetivo de esta planta de reciclaje es a través de los RCD generar AR de óptima calidad para su reincorporación al proceso constructivo, los usos que se les da a estos AR son para bases, sub bases de caminos, mejoramiento de suelo, andadores y rellenos de cimentaciones. Los AR que aquí se producen son: arena reciclada (de ¼" a finos), grava (3", 1" 3" y 1 ½") grava controlada (2") y arcilla.

La planta cuenta con sistemas de minimización de impacto ambiental, lo que permite reducir la emisión de ruido y polvo al ambiente: se encuentra cuarenta metros debajo del nivel de calle, cuenta con un muro de vegetación (arboles) perimetral, aspersores durante la etapa de cribado, además de realizarse el riego de las vialidades en el interior de la planta.

Descripción de la línea de producción

1. Recepción de material
2. Clasificación
3. Almacenamiento
4. Alimentación
5. Trituración y cribado
6. Clasificación final

1. Recepción de Material

La recepción del material consiste básicamente en la supervisión visual del material entrante (Figura 56). El control de ingreso se realiza a través del guardia de seguridad quien se encarga de corroborar el metraje de material recepcionado. Se realiza el proceso de control y recepción de documentación (placa, conductor y tipo de residuo). Esta planta acepta únicamente residuos limpios, tales como: concretos, mamposterías, bloques, arcillas, tabiques, cerámicos, etc. Existiendo una separación entre cada uno de estos.





Figura 56. Recepción de RCD

2. Clasificación

La clasificación y del residuo se realiza por medios manuales (Figura 57) donde se realiza una primera separación de aquellos materiales contaminantes para los RCD tales como plásticos y cartones. Una vez realizado este proceso el residuo será almacenado en otra área.



Figura 57. Separación de material contaminante



Este acopio se realiza en el interior de la planta, área la cual no se encuentra debidamente delimitada (Figura 58) pues al encontrarse esta área en una depresión de 40m sobre el nivel de calle el residuo acopiado solo es depositado en este espacio sin estar contenido y delimitado de los demás. Al ser un área tan grande y ser más el residuo que entra del que sale procesado como agregado reciclado, la planta está convirtiéndose ya en un depósito de residuos más que en una planta de reciclaje (Figura 59).



Figura 58. Acopio de residuo sin delimitación y contención



Figura 59. Área de depósito y almacenamiento

3. Alimentación

La alimentación se realiza a través de medios mecánicos, utilizando camiones de volteo y retroexcavadoras (Figura 60) para así suministrar de material a los equipos de trituración. Al ser una planta con grandes dimensiones se cuenta con equipos móviles de trituración, los cuales pueden moverse por el interior de la planta para realizar el trabajo, a la par de obtener un ahorro en el gasto de combustibles.





Figura 60. Alimentación

4. Trituración y cribado

Se utilizan equipos de trituración a base de quijadas con sistema de electroimán para separación de acero, además de contar con sistema de aspersión de agua, lo que permite minimizar la emisión de polvos al ambiente producidos durante este proceso (Figura 61).

Es en esta etapa donde se obtiene la clasificación del material con 4 curvas granulométricas diferentes (Figura 62). Cabe señalar que estos equipos de cribado son equipos móviles, lo que permite un mejor desplazamiento por los diferentes almacenes, mitigando así la emisión de polvos producido por los camiones que alimentarían a la trituradora.





Figura 61. Sistema de electroimán con aspersion de agua.



Fig. 62. Equipo de cribado con cuatro curvas granulométricas

5. Calcificación final

Una vez concluido el proceso de cribado y teniendo las diferentes granulometrías del agregado reciclado este es transportado mediante camiones de volteo a un área medianamente delimitada (Figura 63). El material se encuentra separado de acuerdo al tipo y granulometría.



Figura 63. Calcificación y acopio de agregados reciclados para venta



2.3 ANALISIS

Una vez descrito el funcionamiento y tecnología de producción de las distintas plantas de reciclaje, se realiza una tabla comparativa (Tabla 5) con los aspectos más relevantes encontrados durante su análisis, esto con el fin de tener una visión más clara de la situación actual y de las medidas a considerar para un óptimo desarrollo y funcionamiento en la industria mexicana de reciclaje.

Tabla 5. Comparativa de línea de producción plantas de reciclaje

Clave de planta	Clasificación RCD		Línea de producción														Medida de mitigación Impacto Ambiental			
			Control Ingreso		Pre tratamiento		Clasificación/Separación			Cribado		Agregados Reciclados								
	Limpios	Mixtos	Manual	Mecánico	Impacto	Mandíbulas	Neumática	Magnética	Triaje	Impacto	Mandíbulas	Arena	Grava	Zahorra	Arcilla	Grava controlada	Aspersión	Riego	Muros verdes	Ubicación
BCN-01		*	*			*	*	*	*	*		*	*	*			*	*		*
MAD-02		*	*	*	*			*	*	*		*	*	*			*	*		*
MAD-03	*		*	*	*			*			*	*	*				*	*		*
GRN-04		*	*	*	*			*			*		*				*	*		*
LN-05	*	*		*		*	*	*	*		*	*	*	*			*	*		*
HQL-06	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				*	*	*	*
MEX-07	*		*		NO		NO				*	*	*		*	*	*	*	*	

Por lo anterior se resume que:

- A. La tecnología de tratamiento (equipos y procedimientos) utilizada en las plantas analizadas es muy similares entre sí, existiendo como principal diferencia que la tecnología holandesa cuenta con más de una línea de producción de manera simultánea, debido al gran porcentaje de reciclaje de RCD que tiene este país.
- B. La línea de producción holandesa adiciona procesos de separación de residuos (flotación y aire), permitiendo una mayor limpieza del residuo y como consecuencia un AR con menor índice de material contaminante.

- C. Tanto las plantas españolas como la holandesa aceptan RCD mixto y limpio, manejando un precio mayor para los residuos mixtos; y que estos requerirán de un proceso más exhaustivo de limpieza. La planta mexicana acepta únicamente la recepción de RCD limpios y separados, limitando con esto la posibilidad de reciclaje.
- D. La planta mexicana elimina de su línea de producción la etapa de pre tratamiento y clasificación, debido a que el residuo limpio ya no requerirá de estos procesos.
- E. Para el establecimiento de las plantas europeas se siguen controles y lineamiento de instalación y emplazamiento, mientras que para la planta mexicana no existe lineamiento alguno.
- F. Las plantas europeas cuentan con buena distribución de áreas generales, mientras que la planta mexicana carece de una adecuada delimitación de zonas de acopio de residuo entrante y productos finales, ocasionando con esto una posible contaminación de los mismos.
- G. Los equipos utilizados en las diferentes plantas (quijada, mandíbula y cono) para el proceso de trituración son prácticamente los mismos en cuanto a sus características físicas y mecánicas.
- H. Los AR obtenidos en las plantas BCN-01, MAD-02, LN-05 y MEX-07 cuentan con una buena calidad; ya que prácticamente carecen de impurezas (plástico, cartón y madera), siendo este hecho indicativo de que el funcionamiento de las plantas de reciclaje es adecuado, pudiendo mejorar en algunos casos.
- I. Para el caso de las plantas MAD-03 y GRN-04 los AR presentan cierto un porcentaje de impurezas (plástico, cartón y madera), lo que es indicativo que el proceso de reciclado no se encuentra ajustado a la tipología del residuo; por lo que sería conveniente que se realizaran algunas modificaciones en la línea de producción para mejorar la calidad del producto final.
- J. Todas las plantas analizadas cuentan con medidas para mitigación de impactos ambientales. La mayoría de estas utilizan sistema de aspersores para minimización de polvos durante el proceso de cribado, riego de agua tratada en el interior de las instalaciones y barreras vegetales como delimitantes del predio.
- K. Un sistema de reciclaje puede comprender de uno o varios tipos de trituración en los que se pueden emplear diferentes tipos de maquinaria. la elección de estas depende principalmente de tres factores: consumo de energía, costo de producción y calidad del producto. Siendo las trituradoras de mandíbulas las más recomendadas para la trituración primaria y las trituradoras de impacto para secundaria.
- L. La totalidad de las plantas analizadas utilizan equipos fijos, adicionando a estas algunos móviles para agilizar el proceso.



- M. Para los agregados reciclados existen dos criterios básicos de clasificación: la composición y granulometría. Esta última dependerá fundamentalmente del tipo de trituración al que sea sometido el residuo. Por lo cual se considera a la trituración como la etapa más importante dentro de la línea de producción (transformación de residuo a agregado).
- N. La composición de los AR pueden clasificarse como:
- agregado mixto (cerámico, mampostería y concreto)
 - agregado cerámico
 - agregado de concreto





CAPITULO 3
VALORIZACIÓN DE AR PROVENIENTES DE
LOS RCD

3.1 AR; CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

Partiendo de que los agregados reciclados son el resultado de la gestión y tratamiento de los RCD, que tras someterlos a un proceso de reducción de tamaño, cribado, y análisis de laboratorio, cumplen con las especificaciones técnicas para su utilización en el sector de la construcción, se podrá fundamentar que el diseño y la construcción de una planta de reciclaje de RCD está condicionada por tres aspectos: económico, técnico y legal.

Los agregados reciclados procedentes de RCD son productos garantizados para su utilización en obras y fabricación de materiales de construcción que pueden sustituir adecuadamente a los agregados naturales, siendo estos utilizados como materias primas en la construcción.

Basado en el análisis previo de estos: proceso de producción, tipología, usos y aplicaciones; y de acuerdo a lo establecido en la Guía Española de Áridos Reciclados procedentes de RCD, (GEARD, 2012) los agregados reciclados tienen dos criterios básicos de clasificación:

Su composición, clasificación que está en función de los rangos preestablecidos que delimitan la cantidad de elementos pétreos que componen el agregado material cerámico, concreto, asfalto y otros.

Su granulometría, la cual está en función del tamaño de máximos y mínimos del agregado, existiendo de esta tres subcategorías:

- Limpieza: determinado por la cantidad de elementos contaminantes (materiales no pétreos existentes en el residuo)
- Calidad: determinado por las propiedades técnicas el material y una determinada utilización
- Uso: para cada tipo de uso se establece una clasificación particular, ya sea por criterios de clasificación, composición y/o de calidad.

Con el objetivo de dar a conocer los requerimientos mínimos necesarios que los agregados reciclados procedentes de los RCD deben cumplir para su utilización y reincorporación en el ciclo de vida de la construcción, el presente estudio se basó en las recomendaciones recogidas por el grupo de trabajo ACHE (Asociación Científico - Técnica del Hormigón Estructural) en el texto Monografía M-II "Propiedades de Agregados Reciclados" (2006) que posteriormente fueron establecidas en la norma española EHE-08 Instrucción de Hormigón Estructural (2008) y ratificadas a través del proyecto GEARD "Guía española de áridos reciclados procedentes de residuos de demolición" (2012) se consideraran las siguientes características:

1. Granulometría

La granulometría en los agregados reciclados es el resultado del tipo de trituración y tamizado realizado en el proceso de reciclaje. Normalmente se obtiene entre un 70 y 90% de agregado grueso correspondiente al agregado total producido. Este porcentaje dependerá del tamaño máximo del agregado reciclado producido y de la composición del residuo original. La “granulometría óptima” depende del uso que se le dará al agregado reciclado. Dentro de este apartado es conveniente considerar lo siguiente:

1.1 Porcentaje de finos (material que pasa en el tamiz de 0.063mm)

El porcentaje de finos en el AR es una característica vinculada a la forma de producción de la planta. Está relacionada con el tipo y cantidad de machacadoras empleadas en la línea de producción. El agregado reciclado genera finos durante su manipulación, debido a la presencia de pequeñas partículas de morteros, arenas y demás productos que se desprenden del residuo. El porcentaje máximo de finos aceptado no deberá sobrepasar el 10% del total del residuo.

1.2 Contenido de partículas de tamaño inferior a 4 mm

Una vez obtenida la fracción gruesa del agregado reciclado, este sigue conteniendo pequeños porcentajes de finos o arenas (partículas menores a 4mm) debido a la disgregación que este sufre al ser manipulado. Por lo cual para la utilización de agregado grueso reciclado se establece un límite del 5% para el contenido de partículas de tamaño inferior a 4 mm.

2. Forma y textura superficial

Al tratarse de agregados reciclados de origen pétreo la presencia de mortero u otras pastas que quedan adheridos a los residuos, provocan que la textura de los agregados reciclados sea más rugosa y porosa que la de los agregados naturales.

Para el incide de lajas, debe saberse que si existen diferencias entre los agregados reciclados y el agregado natural, esto debido a la aparición de morteros, pastas y demás adherentes encontrados en los residuos, lo que hacen que estos, presenten menor cantidad de lajas; ya que los adherentes aumentan el espesor de las partículas que forman la laja, por lo cual se establece como límite máximo un 35% de aparición de lajas en agregados reciclados.



3. Propiedades Físicas:

3.1 Composición

La composición permite determinar el porcentaje en peso de los distintos materiales que suelen contener los agregados reciclados. Los materiales más comunes como: piedra suelta (sin mortero adherido), concreto, materiales cerámicos, asfalto, y otros materiales minoritarios, pero que suelen ser perjudiciales como: yeso, materia orgánica, residuos, etc. mismos que no podrán superar el 1%.

3.2 Densidad y absorción

La absorción y densidad de los agregados reciclados son parámetros importantes para la calidad del material. La densidad del agregado reciclado es menor al del agregado natural, debido a la pasta de cemento que queda adherida en los residuos. La densidad de un agregado reciclado oscila entre 2,100 y 2400 kg/m³, mientras que la densidad de un agregado normal está entre los 2,300 y 2,500 kg/m³, por lo cual se pueden considerar para agregados reciclados densidades mínimas de 2,000 kg/m³.

La absorción es una propiedad donde se muestra una mayor diferencia entre el agregado natural y el reciclado, debido a la absorción que tiene la pasta que queda adherido al residuo. Los valores habituales para agregados naturales oscilan entre un 4 y un 10% por lo cual se establece que para un agregado reciclado deberá ser como límite un 5% y como máximo un 10%. Los principales aspectos que influyen tanto en la densidad como en la absorción de los agregados reciclados son:

- Tamaño de partícula: las fracciones más pequeñas presentan menor densidad y mayor absorción que las fracciones más gruesas, debido a que las primeras se concentra una mayor cantidad de pasta.
- Técnicas de procesado: esto depende del proceso de trituración del residuo, pues cuanto más numerosas sean las etapas de trituración, mayor será el contenido de mortero o adherentes eliminados, lo que hará que la calidad del agregado mejore sustancialmente, presentando menor grado de absorción y un aumento en la densidad

Por lo tanto lo que se establece como requerimiento mínimo para absorción entre 5 a un 10% y para densidad entre 2,000 kg/m³ y 2,200 kg/m³ como mínimo

3.3 Resistencia a la fragmentación (coeficiente de los ángeles)

El agregado reciclado presenta un elevado coeficiente de los Ángeles, ya que durante el tratamiento se elimina todo el mortero y demás productos adheridos al residuo. El valor obtenido en agregados reciclados se sitúa en rangos entre el 30 y 50% dependiendo del tamaño, de la partícula y la calidad del residuo original. Por lo que para este caso se establece un coeficiente máximo del 35%.

3.4 Contaminantes e impurezas

Uno de los factores limitantes para el uso de agregados reciclados es la presencia de contaminantes en el residuo original. Los contaminantes más comunes son: plástico, madera, yeso, ladrillo, vidrio, materia orgánica, aluminio, asfalto, etc. Produciendo una reducción en las propiedades del material, algunas de las complicaciones que el agregado puede presentar son: reacciones álcali-árido (vidrio), lixiviación y ataque por sulfatos (yeso), y falta de compacidad (tierras arcillosas). Por tal razón es recomendable considerar como máximo un 2% impurezas o contaminantes en el agregado reciclado. Para lo cual se consideraran los siguientes parámetros:

- Contenido máximo de partículas ligeras: 1% del peso total de la muestra
- Contenido máximo de terrones de arcilla: 0.25% del peso total de la muestra

4. Propiedades químicas

4.1 Contaminantes orgánicos:

La determinación del nivel de contaminantes orgánicos se realiza por medio del método de determinación del contenido de humus. Cuyos porcentajes máximos recomendados para la presencia de contaminantes orgánicos deberá ser no mayor al 2% del total.

4.2 Contenido de cloruros

Este aspecto a considerar presenta una de las principales problemáticas en el uso de los agregados reciclados como materiales de construcción. Los agregados reciclados pueden presentar contenidos elevados de cloruros, dependiendo de la procedencia del residuo (obras marítimas, puentes y pavimentos expuestos a sales) o residuos de concretos donde se hayan utilizado aditivos o acelerantes. El contenido de sales solubles resulta ser función del contenido en yeso existente en el material reciclado. Por lo cual se establece un contenido máximo de cloruros solubles en agua para el agregado grueso reciclado de 1% máximo.

4.3 Contenido de sulfatos

La elevada cantidad de sulfatos en los agregados se debe a la presencia de impurezas como el yeso, y al sulfato procedente de las arcillas adheridas al residuo. Cabe mencionar que el porcentaje de sulfatos solubles en agua, disminuye a medida que aumenta el porcentaje de residuo de concreto.

Los agregados reciclados que fueron sometidos a un proceso de limpieza por agua suelen presentar un menor porcentaje de sulfatos en agua. Por lo tanto, el contenido de sulfatos solubles en ácido puede oscilar entre 0.10 – 0.62% como máximo.

4.4 Reacción alalí agregado

Algunos tipos de agregados pueden reaccionar con los álcalis del cemento en ambientes húmedos dando lugar a un compuesto gelatinoso que produce expansiones en el concreto. De acuerdo a la normativa los agregados reciclados deberán considerar un porcentaje entre 1 y 2% como máximo.

5. Mortero Adherido

El agregado grueso reciclado contiene cierta cantidad de mortero adherido. Este mortero es el causante de las diferentes reacciones como: menor densidad, mayor absorción, reacción álcali agregado y ataque de sulfatos, entre otros. Estas propiedades afectan de manera negativa a la elaboración de nuevos productos constructivos, en especial la elaboración de concretos, afectando: módulo de elasticidad y durabilidad principalmente. Por lo cual se recomienda realizar sucesivos procesos de trituración que reducirán considerablemente la cantidad de mortero adherido a los residuos, lo cual mejoraría la calidad del agregado reciclado resultante. Por lo que el contenido de mortero en un agregado reciclado será aproximadamente entre 35 y 40%.

De acuerdo a lo planteado en el proyecto GEARD 2012 y a manera de resumir las condicionantes o requerimientos mínimos necesarios con los que debe contar un agregado reciclado para su reincorporación en el proceso constructivo se realiza la tabla resumen (tabla 6)

Tabla 6. Características fisicoquímicas para AR provenientes de los RCD

Granulometría		Propiedades físicas					Propiedades químicas				Mortero adherido		
Porcentaje finos	Contenido partículas	Forma y textura (lajas)	Composición contaminación	Densidad	Absorción	Fragmentación	Impurezas		Contaminantes orgánicos	Contenido de cloruros		Contenido de sulfatos	Reacción álcali agregado
							P. ligeras	Arcilla					
10 % máx.	5% máx.	35 % máx.	1 % máx.	2,000kg/m ³ min.	10% máx.	35% máx.	1 % máx.	0,25% máx.	2 % máx.	1% máx.	0,35% máx.	2% máx.	40% máx.

3.2 REUTILIZACION DE RCD COMO MATERIAL PUZOLANICO EN LA FABRICACION DE CEMENTO ECO-EFICIENTE

Una vez analizado el proceso de tratamiento que los RCD tienen desde su ingreso a las plantas de reciclaje, su transformación como AR (materia prima alternativa) y las características mínimas necesarias con las que estos deben contar para su incorporación al ciclo de vida de la construcción se considera apropiado dar a conocer una de las tantas posibilidades de reutilización que los RCD tienen dentro de la industria de la construcción, consiguiendo de esta manera la extensión de su vida útil así como su reinserción en el ciclo de vida de la construcción.

Siendo la “Reutilización de RCD (cerámico) como material puzolanico en la fabricación de cemento eco eficiente” (Figura 64) un proyecto desarrollado actualmente por investigadores del departamento de reciclado de materiales perteneciente al Instituto de Ciencias de la Construcción “Eduardo Torroja” (ICTCC) el cual se encuentra actualmente en la fase final, se describe de manera gráfica la metodología utilizada para este proyecto con el objetivo de dar a conocer su factibilidad y posible implementación metodológica en la industria mexicana. El proyecto consta de siete fases, desde la recolección de muestras y hasta la elaboración de pruebas físicas en pastas y morteros, las cuales actualmente aún se encuentran en desarrollo. Adicional a esto se consideró apropiado hacer un breve análisis sobre el nivel de contaminación que se produce durante la fabricación tradicional o convencional del cemento y las posibilidades de minimizar esta contaminación a través de la utilización de materia prima alternativa (agregados reciclados procedentes de los RCD).

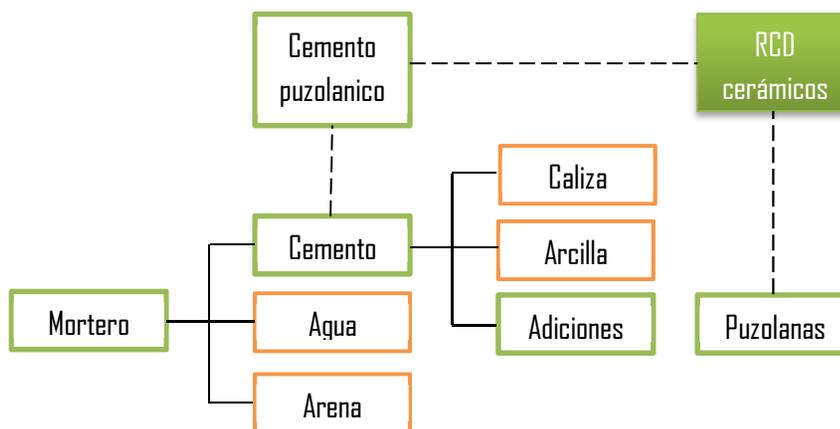


Figura 64. Sustitución de RCD por material puzolanico para la fabricación de cemento

Fase 1. Recolección de muestra

La recolección de muestras (RCD) se realiza directamente en las plantas de reciclaje, donde se obtiene el material ya triturado en forma de agregado grueso. Este es la primera etapa de valorización del residuo, pues es aquí donde se pretende seleccionar aquel AR con el menor porcentaje de impurezas (residuos no pétreos). Para este proyecto se utilizó AR pétreo con alto porcentaje de residuo cerámico, aproximadamente en un 75% (Figura 65).



Figura 65. Agregado reciclado recolectado en planta

Fase 2. Acondicionamiento de la muestra:

Una vez teniendo la muestra del RCD en el laboratorio, se realiza el secado del mismo a una temperatura de 40°C por un periodo de un día aproximadamente, pasado este tiempo se procede a la molienda en la trituradora de mandíbula que reducirá el tamaño del residuo para posteriormente ser molido en el molino vibratorio donde el residuo estará listo para ser tamizado y obtener la muestra final para las diferentes pruebas de laboratorio (Figura 66).



Figura 66. Acondicionamiento de muestra

Fase 3. Estudio del material y obtención de curva granulométrica

Este ensayo permite conocer cuál es el porcentaje cerámico que tiene el residuo recolectado en planta, ya que en este caso se trata de residuo mixto, (cerámicos, concretos, mamposterías) buscando que el porcentaje de cerámico sea como mínimo un 30%. Este ensayo se realiza posterior al secado y previo a la molienda del residuo, tanto para agregado fino como grueso.

Par realizar la curva granulométrica se toma una muestra de 1 kg de residuo mixto pasando por diferentes tamices para luego realizar el pesado del residuo de cada tamiz, en el que se pesara por separado el residuo cerámico del resto del residuo (Figura 67). El residuo que podrá ser utilizado para realizar las siguientes pruebas será aquel que pase en el tamiz de 65 mm.



Figura 67 Obtención de curva granulométrica

Disolución saturada de cal (DSC)

El objetivo principal de esta prueba es conocer la actividad puzolánica del residuo con el que se está trabajando. Esta es la prueba clave para saber si es factible continuar con el proceso de estudio y elaboración de pruebas. Este estudio de actividad puzolánica (DSC) es un método de aceleración por vía química, metodología propia del Instituto Eduardo Torroja.

Este método consiste en colocar 1gm de la muestra de RCD en una disolución saturada de cal (hidróxido de calcio) a una temperatura de 40 °C temperatura que ayuda a acelerar la reacción, las muestras se mantendrán por periodos determinados como 1, 7, 28, 90, 180 y 360 días. Una vez transcurrido el tiempo se realiza la valoración de la concentración de cal que se ha fijado en el residuo Este proceso se realiza tomando 20 ml de la muestra, la cual es colocada en el valorimetro donde se registraran las mediciones, esta mediciones se realizan automáticamente al momento de que el aparato incorpora ácido clorhídrico, a la muestra, la cual cambiara de color una vez concluido su proceso de absorción de cal. Estos datos son registrados y comparados con más muestras de RCD (Figura 68).

La prueba de iones, se realiza de la misma manera que la descrita anteriormente el único cambio es que se sustituye el ácido clorhídrico por calcio El ensayo se considera positivo si la concentración de hidróxido de calcio es inferior a la concentración de saturación. Los resultados obtenidos de este ensayo son registrados a través de la gráfica de Fratinni la cual permitirá visualizar el grado de puzolanidad que alcanzó la muestra.

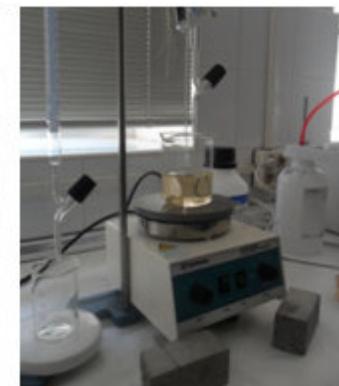
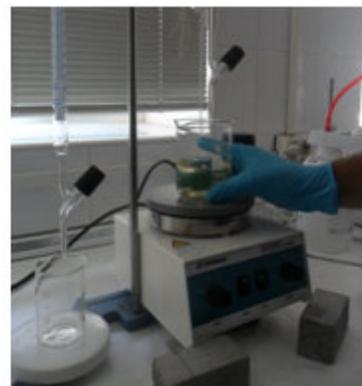


Figura 68 Elaboración de ensayo de disolución saturada de cal DSC.

Composición Mineralógica con difracción de rayos X (DRX)

La difracción de rayos X es el único método que permite determinar cualitativamente y semi cuantitativamente los componentes que existen en muestras sólidas de compuestos químicos o minerales.

Este ensayo se realiza en un difractómetro de rayos X donde la muestra de RCD previamente seca (estufa a una temperatura de 40 °C) será molida en el mortero de ágata para obtener una fracción más fina, con un tamaño aproximado de 63µm, la cual se coloca en una superficie de vidrio para luego posicionarla sobre el difractómetro de rayos X siendo aquí donde pasará el haz de rayos X emitido por el difractómetro en distintos ángulos, permitiendo obtener el registro del tipo de componente que contiene la muestra (Figura 69).

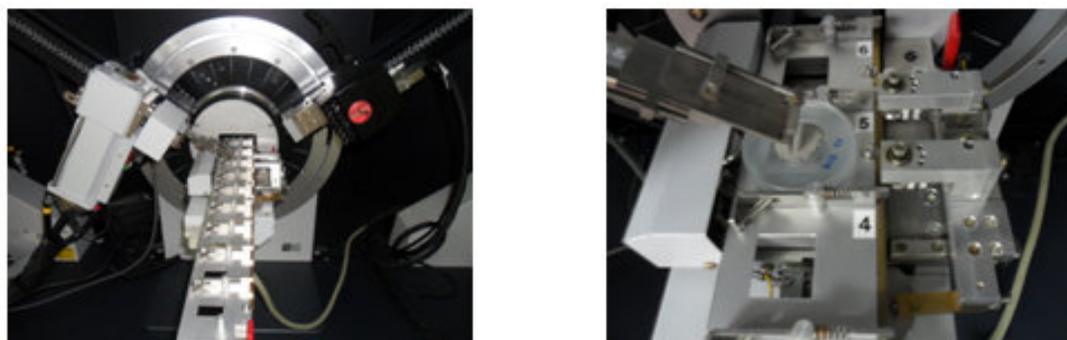


Figura 69. Difracción de rayos X (DRX)

Composición química determinada con fluorescencia de rayos X (FRX)

Es una técnica de análisis químico, la cual permite conocer cuantitativamente y cualitativamente los componentes mayoritarios que contiene el RCD. Este ensayo es complementario a la difracción de rayos X (DRX).

Para el desarrollo del ensayo se coloca en un molde la muestra de residuo (molida y tamizado) junto con material fundente y despegante, los cuales formarán una mezcla homogénea misma que será fundida a una temperatura de 1000 °C aproximadamente por 15 minutos posterior a esto se realiza el vaciado del material fundido dando inicio al proceso de enfriamiento por 3 minutos.

Una vez enfriada la muestra, se obtiene una “perla” (RCD fundido) con la cual se analizarán los componentes mayoritarios a través del espectrómetro de fluorescencia de rayos X donde serán analizados sus componentes (Figura 70).

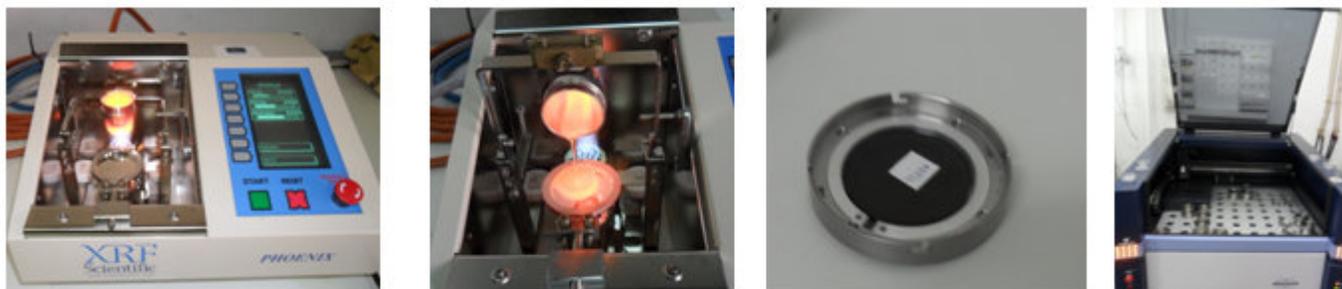


Figura 70. Ensayo de fluorescencia de rayos X (FRX)

- **Plasma de acoplamiento inductivo (ICP)**

Es una técnica de análisis inorgánico, capaz de determinar y cuantificar la mayoría de los elementos de la tabla periódica que contiene el RCD. Consiste en un equipo dotado de un monocromador posterior a la muestra y una serie de detectores dedicados a cada elemento en diferentes posiciones del plano focal. Su principal característica es que posee unos límites de detección para la mayoría de los elementos químicos, que la hace ideal para el análisis de elementos. La muestra líquida es vaporizada e ionizada. Los iones una vez formados pasan al espectrómetro de masas donde son separados mediante un analizador y de esta manera son detectados y registrados gráficamente (Figura 71).

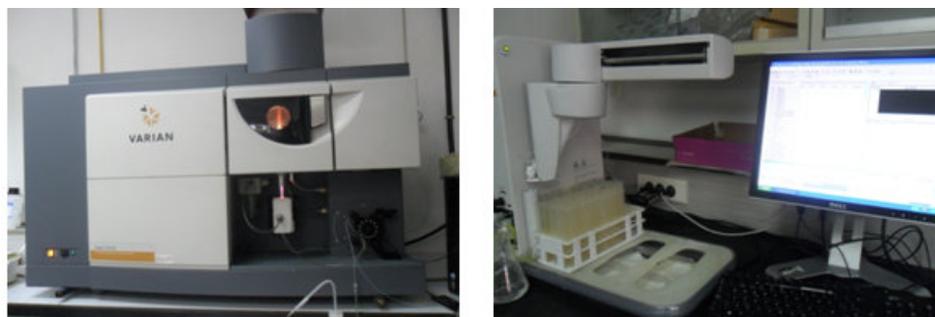


Figura 71. Ensayo plasma de acoplamiento inductivo

Espectroscopia Infrarroja (Frecuencia de enlaces)

Técnica Espectroscópica (espectro) la cual depende de la frecuencia de onda provocada por la energía, técnica semi cuantitativa que sirve para identificar un compuesto e investigar la composición de una muestra. El ensayo consiste primeramente en realizar la preparación de la muestra, para lo cual se requiere pesar 0.3 g de cianuro de potasio y 0.0010 g del RCD, esto es molido hasta obtener una mezcla homogénea la cual se colocara en una prensa de aceite a un aprensión de 5t por 3 minutos hasta formar una pastilla la cual será insertada en el espectrómetro para analizar y conocer los compuestos que conforman esta muestra (Figura 72). Se utiliza cianuro de potasio pues este absorbe el agua que pudiera contener la muestra, facilitando la lectura.



Figura 72b. Ensayo de espectroscopia de infrarrojo

Análisis térmico diferencial (ATD)

Ensayo que estudia el comportamiento térmico de los materiales e indica la temperatura a la cual tienen lugar estos cambios. Cuando un material es calentado o enfriado, su estructura y su composición química sufren cambios: fusión, solidificación, cristalización, oxidación, descomposición, transición, expansión, sintonización, etc. Estas transformaciones se pueden medir, estudiar y analizar midiendo la variación de distintas propiedades de la materia en función de la temperatura (Figura 73).

Primeramente se coloca una muestra del residuo en el molde, es introducido al calorímetro el cual se encuentra previamente programado a la temperatura referencia, misma que determinara la pérdida del volumen de masa de la muestra en base a los compuestos q está presente. Esta es otra manera para conocer los componentes químicos del material a analizar.



Figura 73 Análisis térmico diferencial

Microscopia electrónica:

Técnica que permite conocer la morfología del residuo y la distribución de los elementos químicos de lo que está formado. Esta prueba se realiza directamente en el residuo, es decir una vez que se recoge de la planta de reciclaje (no se requiere alguna preparación).

La muestra es colocada en el microscopio electrónico el cual envía la microfotografías del RCD a una de las pantallas donde es observada la muestra, imagen que puede ser manipulada para desplazarse dentro de esta ya así analizar alguna sección en particular. Una vez seleccionada el área a analizar se trazan puntos, con los cuales se obtendrá información de los componentes químicos y estos serán enviados de forma gráfica (Figura 74).

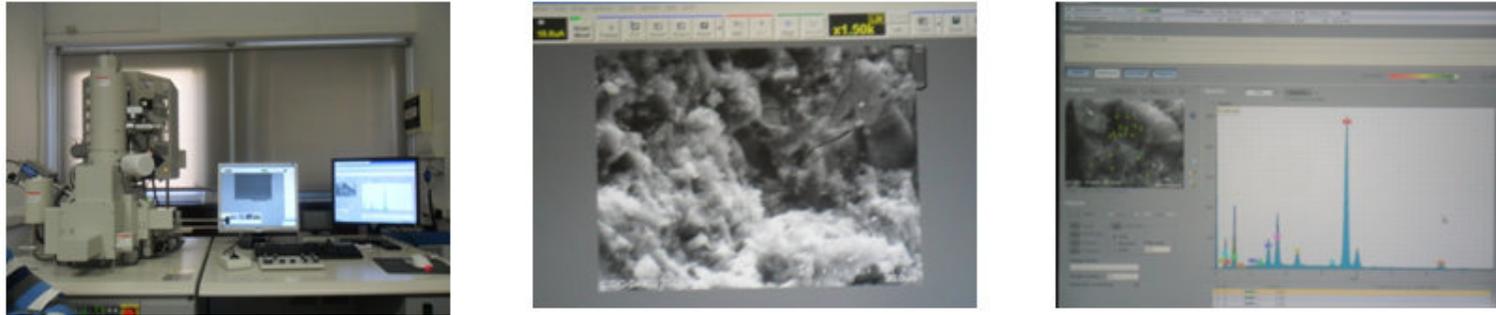


Figura 74. Microscopia electrónica

Es hasta esta tercera fase, donde se tiene caracterizado y estudiado químicamente el RCD. La evaluación es para conocer tanto la forma como los componentes que integran el material (RCD), el análisis se realiza por diferentes métodos para tener un mayor porcentaje de confiabilidad en los resultados que se están obteniendo; ya que si solo se utilizara un método los resultados serían inciertos. Con esta tercera fase ya se conoce con exactitud la composición real (forma, distribución y reacción) del RCD, así como la actividad puzolánica, es decir si es viable su utilización para la fabricación de cementos.

Una vez comprobando que los RCD Cerámicos pueden ser empleados como puzolanas naturales se continuara con la integración de estos al cemento ordinario y así dar inicio a las pruebas mecánicas.

Fase 4. Introducción de RCD como adición al cemento (puzolanas)

Es en esta fase es donde se realiza el mezclado de cemento portland ordinario con el RCD que previamente fue analizado químicamente. Para este caso de estudio se realizara una sustitución de clinker por diferentes proporciones de residuos de construcción y demolición (10, 20 y 30%). Es aquí donde se obtiene ya el cemento portland puzolánico de acuerdo a lo establecido en la normativa vigente (FprEN197-1) (NMX-C414-DNCCCE-2004) encontrándose en condiciones de ser probado en pastas y morteros.

El procedimiento es sencillo (Figura 75) basta con colocar las diferentes proporciones de RCD (10, 20 y 30%) y cemento portland dentro de la mezcladora, la cual tiene la función de crear una mezcla homogénea del material.

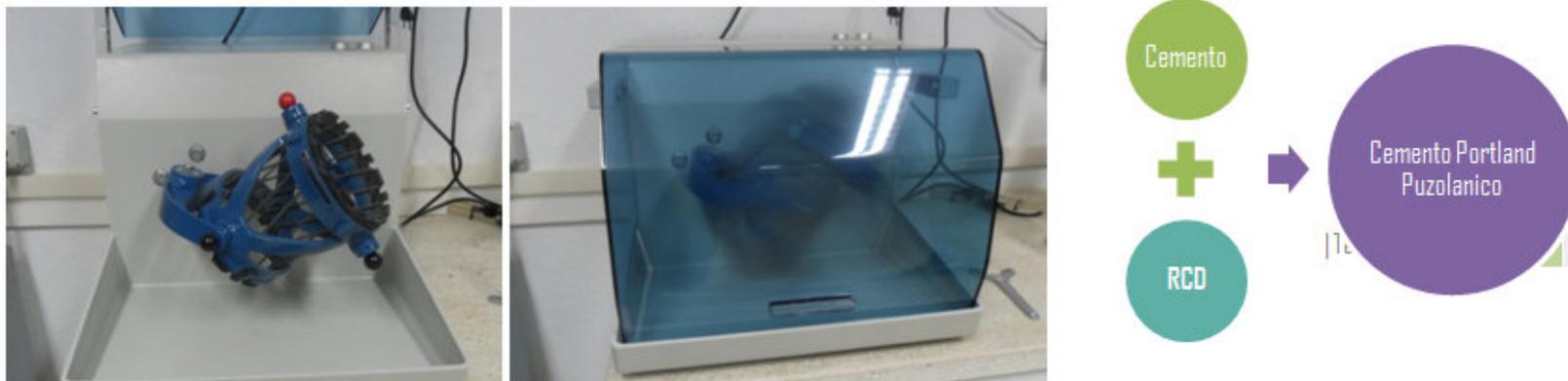


Figura 75. Mezclado de RCD con cemento portland

Fase 5. Caracterización de Pastas y Morteros

Par la caracterización de pastas y morteros se desarrolla el mismo tipo de ensayo (demanda de agua, tiempo de fraguado, escurrimiento y agujas de Chatelier)

Demanda de agua

Ensayo para conocer la cantidad de agua requerida para la conformación del cemento portland puzolanico (cemento + RCD). Se requiere de 500 g de la mezcla de cemento previamente preparada y secada a una temperatura de 105^oc, la cual se le agrega 150 g de agua medida base para determinar la cantidad de agua requerida la mezcla se realiza en tiempos de 90/30/90, es decir mezcla a velocidad rápida 90 s, 30s reposo y 90 s más de mezclado. La mezcla es colocada en el molde para posteriormente pasarla por la aguja de Vicat manual la cual medirá la penetrabilidad del mortero, determinado su consistencia (Figura 76). En base al ensayo realizado se requirieron de 152 mil de agua obteniendo una penetrabilidad de 34 mm.





Figura 76. Ensayo de demanda de agua

Tiempo de fraguado

Este ensayo es complemento de la demanda de agua y se utiliza la mezcla preparada anteriormente. La mezcla es colocada en el molde, la cual es golpeada para que asiente y permita liberar el aire que existe en su interior y pudiese alterar los resultados. Una vez teniendo la mezcla es colocada en la sonda Vicat automática, la cual es programada para que en determinado tiempo realice la medición de la penetrabilidad durante el tiempo de fraguado. Esta mezcla requerirá de un tiempo aproximado de 8 hrs de fraguado, cuya programación de análisis se realizó a cada 30 min. El resultado de este ensayo se obtiene a través de un registro donde se marcada cada una de las mediciones realizadas a lo largo de la prueba (Figura 77).



Figura 77. Llenado de molde



Figura 77a. aguja automática



Figura 77b. Registro de penetrabilidad

Agujas de expansión

Complementario del ensayo de demanda de agua y tiempo de fraguado. Con la mezcla utilizada para los ensayos anteriores se realiza el llenado del molde (Agujas de Chatelier) (Figura 78), las cuales una vez llenadas y selladas se realizara la medición inicial de estas; de acuerdo a norma deberán tener una abertura de 17 cm (± 2). Una vez medidas son sonlocadas en agua y permanecerán ahí 24 hrs. Pasado este tiempo se realiza una nueva medición. Posteriormente y previo anual temperatura de cocción (ebullición de agua de 3 horas) se realiza una nueva medición, dejando pasar 24 hrs más para realizar la medición final y así conocer la expansión del material.



Figura 78. Ensayo agujas de expansión

Escurremientos (morteros)

Este ensayo permite conocer la trabajabilidad que tienen las pastas y los morteros que han sido fabricados con el nuevo cemento. El procedimiento consiste en realizar la mezcla del cemento, arena y agua para luego ser colocada en el molde sobre la mesa de salto con pistones en la cual se le deberá aplicar una serie de 15 golpeteos (1/s) realizándose cuatro mediciones para conocer la expansión y la trabajabilidad del material (Figura 79).



Figura 79. Ensayo de escurrimiento

Preparación de probetas

Con esta mezcla se realizará el llenado de moldes cuyas dimensiones son de 1x1x6, los cuales serán llenados en dos fases con 60 vibraciones cada una. Terminado este proceso se tiene listos los especímenes que deberán ser curados a una saturación del 90% por tiempos establecidos: 9, 14, 28 y 90 días. Es importante señalar que para poder realizar una adecuada medición y comparación en el comportamiento de este nuevo cemento, es indispensable realizar un patrón de medición.

Este procedimiento es el mismo tanto para pastas como para morteros, la única variación es el tamaño del espécimen a estudiar, ya que para el caso del mortero la media es de 4x4x16 y para pastas es 1x1x6. Una vez concluido este proceso y pasado el tiempo de curado, los especímenes están listos para que se realicen las pruebas mecánicas de flexo tracción y compresión (Figura 80).

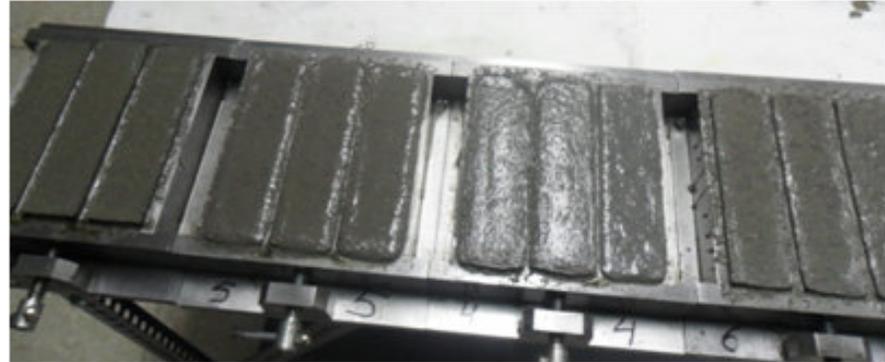


Figura 80. Preparación de probetas

Fase 6 Estudio de pastas

Resistencia mecánica

Como parte de las pruebas mecánicas se realiza la prueba de flexión y compresión. Para desarrollar esta prueba primero se realiza el desmote de las probetas las cuales son pesadas y medidas; esto es para conocer si durante el periodo de curación sufrieron alguna modificación (incremento o disminución de masa). La medición se realiza a lo largo y ancho de la probeta (la altura se mide en el centro y los extremos). Una vez terminado este proceso se seleccionan tres muestras de las seis desmoldadas, basándose en el peso y tamaño, siendo estas las probetas a las que se les realizaran las pruebas mecánicas (Figura 81).

La prueba de flexión consiste en colocar uno de los especímenes seleccionados previamente (1x1x6) a través del cual se ejercerá la fuerza suficiente hasta conseguir la ruptura del espécimen, con una de las dos partes del espécimen fracturado podrá realizarse la medición a compresión, donde se ejercerá una fuerza suficiente hasta generar alteraciones en la muestra (ruptura).

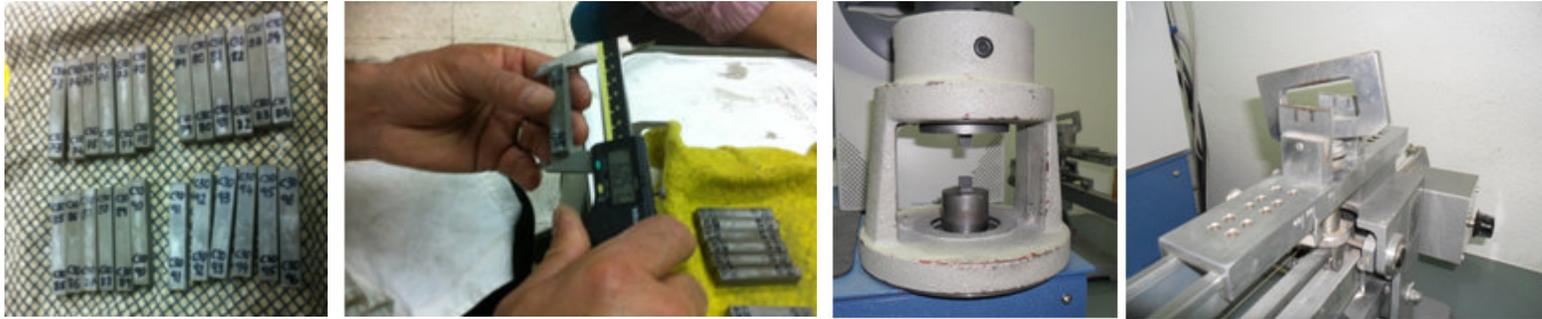


Figura 81. Ensayo mecánico de flexión y compresión para pastas

Porosidad

Este ensayo se realiza a materiales porosos como concreto, arcilla, cerámicos, etc. (Figura 82) para determinar la cantidad de agua que pueden absorber. Ensayo realizado posterior de las pruebas mecánicas. Para desarrollar este ensayo, la muestra deberá estar perfectamente seca (en estufa a 60°C por una semana) para eliminar la mayor humedad posible y obtener resultados precisos.

Una vez seca la muestra se realiza el pesado de esta, cuyo peso se recomienda de 2.5 g (tamaño aproximado para ser colocado en el penetrómetro) el cual será insertado en uno de los cilindros del porosímetro (baja presión). Etapa en la que se realizaran las lecturas de porosidad (alta presión). La medición en el porosímetro dependerá de dos fases:

1. Baja presión: etapa en la que la muestra a través del vacío realiza el intercambio de aire por mercurio. El mercurio entrara a los poros de la muestra.
2. Alta presión: etapa en la cual se realiza la medición de porosidad, densidad y peso de masa, es realizado a través de un software cuyos resultados son plasmados a través de gráficas.



Fig. 82 Ensayo de porosidad (pesado, penetrómetro, porosímetro y prueba a baja y alta presión)

Fase 7 Estudio de Morteros Resistencia Mecánica

Mismo procedimiento realizado en pastas. Se realizaran pruebas de flexión y compresión (Figura 83). Para el desarrollo del ensayo se consideran tres especímenes, los cuales serán probados primeramente a flexión, de donde se obtendrán seis muestras, cinco de ellas serán probados a compresión y la restante se colocara en la estufa a una temperatura de 60 °C para secar y detener su hidratación. Actualmente el proyecto se encuentra en las fases seis y siete (estudio de pastas y morteros) por lo cual aún no se cuenta con resultados finales para el caso de resistencias mecánicas.



Figura 83. Ensayo mecánico de flexión y compresión para mortero

3.3 NIVEL DE CONTAMINACION

Como parte integral en análisis de la reutilización de los AR procedentes de los RCD, se consideró apropiado analizar los impactos ambientales que la fabricación de cemento trae consigo, así como las posibles reducciones a conseguir, a través de la utilización de RCD durante su fabricación. Tomando como proceso de fabricación el establecido por el Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA, 2012) se describe a continuación:

1. Obtención y preparación de materias primas

El proceso de fabricación del cemento empieza con la extracción de las materias primas. Las canteras son explotadas y extraída la materia prima (calizas, arcillas y margas). Un vez extraído se procede a la trituración del material hasta obtener una granulometría adecuada para el producto de molienda y este es trasladado a planta en el área de pre higienización (Figura 84).



Figura 84. Obtención de la materia prima y preparación.: http://ieca.es/reportajeT.asp?id_rep=6 (2012)

2. Homogenización y molienda del crudo

En la planta de pre homogeneización el material triturado se almacena en capas uniformes para luego ser seleccionadas de manera controlada. Este pre homogeneización permite preparar la dosificación adecuada de los distintos componentes. Posteriormente estos son molidos en molinos verticales o de bola para así reducir su tamaño. Luego de esto la materia prima se almacena en silos para incrementar la uniformidad de la mezcla.

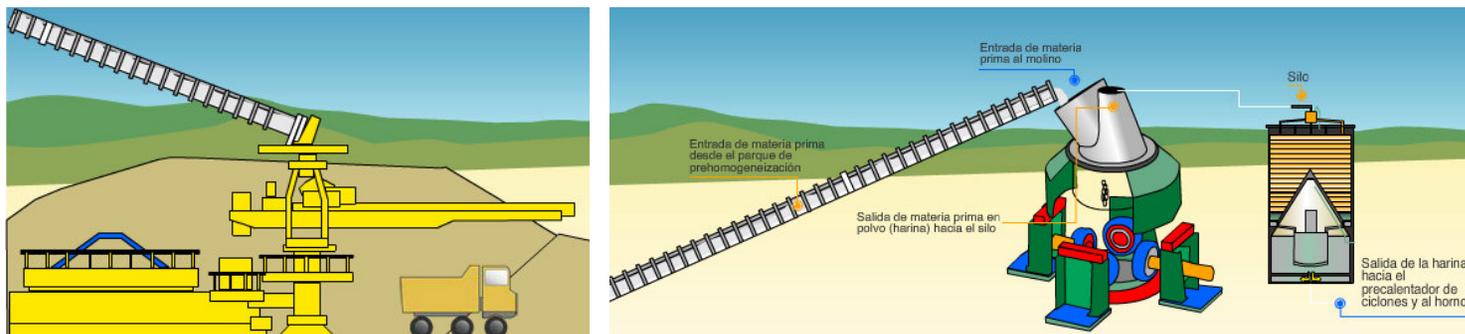


Figura 85. Homogenización del materia y molienda de crudo: http://ieca.es/reportajeT.asp?id_rep=6 (2012)

3. Precalentado de ciclones

La alimentación al horno se realiza a través de precalentamiento de ciclones que calienta la materia prima para facilitar la cocción (Figura 86). El crudo (materia prima cocida) se introduce en la parte superior de la torre y va descendiendo por ella mientras tanto los gases provenientes del horno que están a altas temperaturas ascienden en contra corriente y precalentando el crudo que puede llegar a alcanzar los 1000 °C antes de entrar al horno.

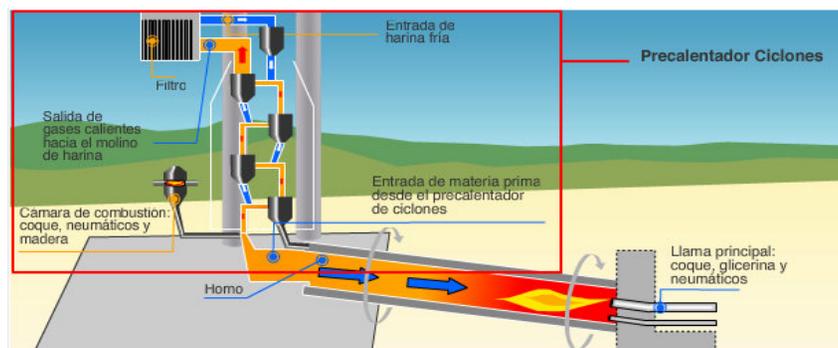


Figura 86. Precalentamiento. http://ieca.es/reportajeT.asp?id_rep=6 (2012)

4. Fabricación de Clinker.

En este paso el crudo avanza en el interior del horno giratorio, alcanzando temperaturas sobre los 1500 °C. Al llegar a estas temperaturas se producen reacciones químicas que dan lugar al clinker. A la salida del horno el clinker pasa al enfriador que inyecta aire frío del exterior para reducir su temperatura. El aire caliente generado en este dispositivo favorece la combustión, mejorando así la eficiencia energética del proceso (Figura 87).

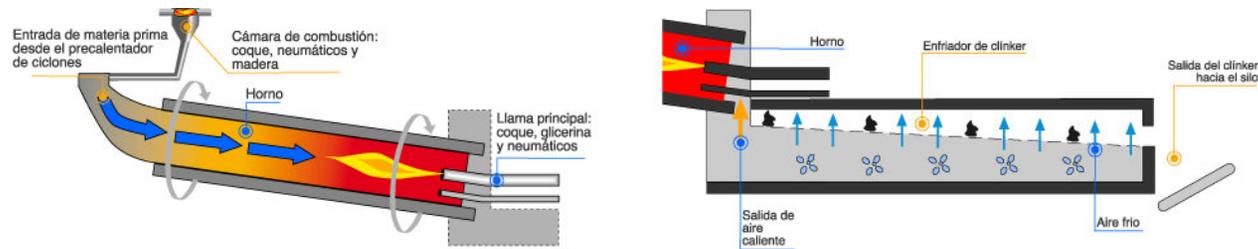


Figura 87. Fabricación de clinker. http://ieca.es/reportajeT.asp?id_rep=6 (2012)

5. Molienda de clinker

Una vez obtenido el clinker se mezcla con yeso y adiciones dentro de un molino de cemento, en el interior los materiales se muelen se mezclan y se homogeneizan. Los molinos pueden ser de rodillos o de bolas, que contiene bolas de acero en el interior, debido a la rotación del molino la bolas de acero consolidan entre sí triturando el clinker y las adiciones hasta lograr un polvo fino y homogéneo: el cemento (Figura 88)

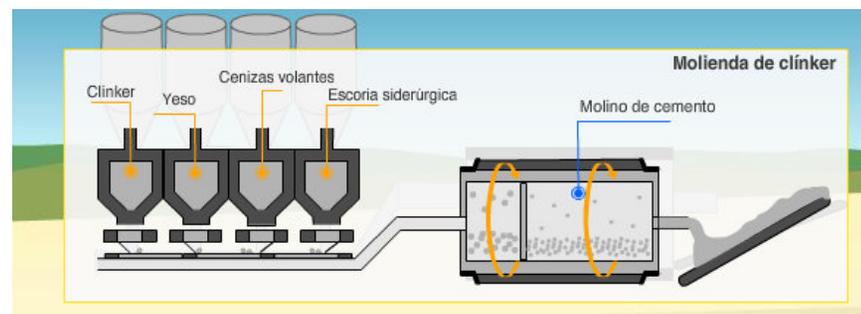


Figura 88. Elaboración de cemento. http://ieca.es/reportajeT.asp?id_rep=6 (2012)

6. Expedición

Como último paso el cemento se almacena en silos, separado según sus clases (Figura 89) antes de ser envasado para su utilización en el mercado.

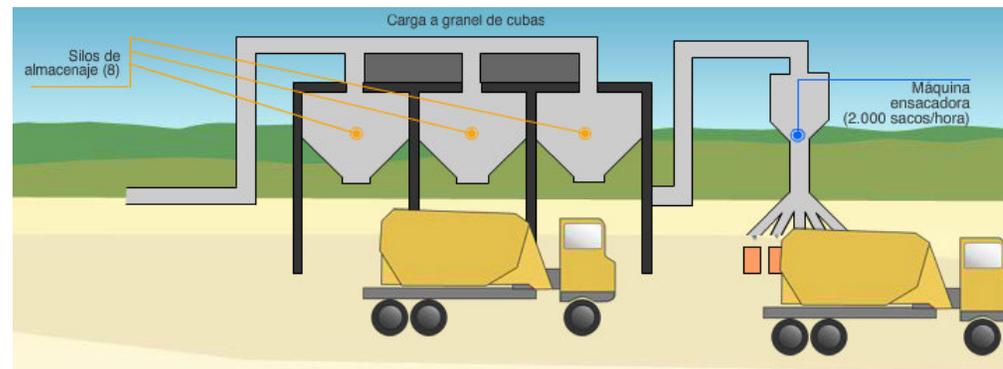


Figura 89. Envasado http://ieca.es/reportajeT.asp?id_rep=6 (2012)

La fabricación de cemento se realiza a través de la trituración y mezcla de caliza con otros materiales que contienen silicio, aluminio y óxidos de hierro. La mezcla se calienta a una temperatura muy elevada (1,500 °C) en un horno rotatorio donde los materiales reaccionan para formar un material granulado llamado clinker que se enfría a la salida del horno. El clinker es molido con cierta proporción de yeso y otras adicciones para producir el cemento. La fabricación de cemento es un proceso industrial muy intensivo en el consumo de recursos y está asociada a efectos ambientales tales como:

- La explotación de canteras; significa un impacto medioambiental derivado de la ocupación de espacios (impacto visual) y de las actividades realizadas durante la explotación (voladuras, trituración y transporte).
- La manipulación, almacenamiento y procesado de materiales, está asociada a la emisión de partículas al ambiente, aspecto de mayor impacto medioambiental dentro del proceso de fabricación.
- La cocción en el horno da lugar a emisiones de gases de combustión a la atmósfera. No obstante, la fabricación esta etapa del proceso de fabricación de cemento podría aportar un importante potencial de contribución ambiental, a través de la gestión de residuos (RCD).

Para la fabricación de una tonelada de cemento se emplean aproximadamente 1,200 kg de materias primas, 200 kg de adiciones, 90 kg de combustible, 200 kg de aire para combustión y enfriado y 100 kwh de energía eléctrica. (CSIC, 2012) por lo tanto se muestran los esquemas tanto del proceso tradicional (Figura 90), así como propuesta de utilización de RCD (Figura 91).

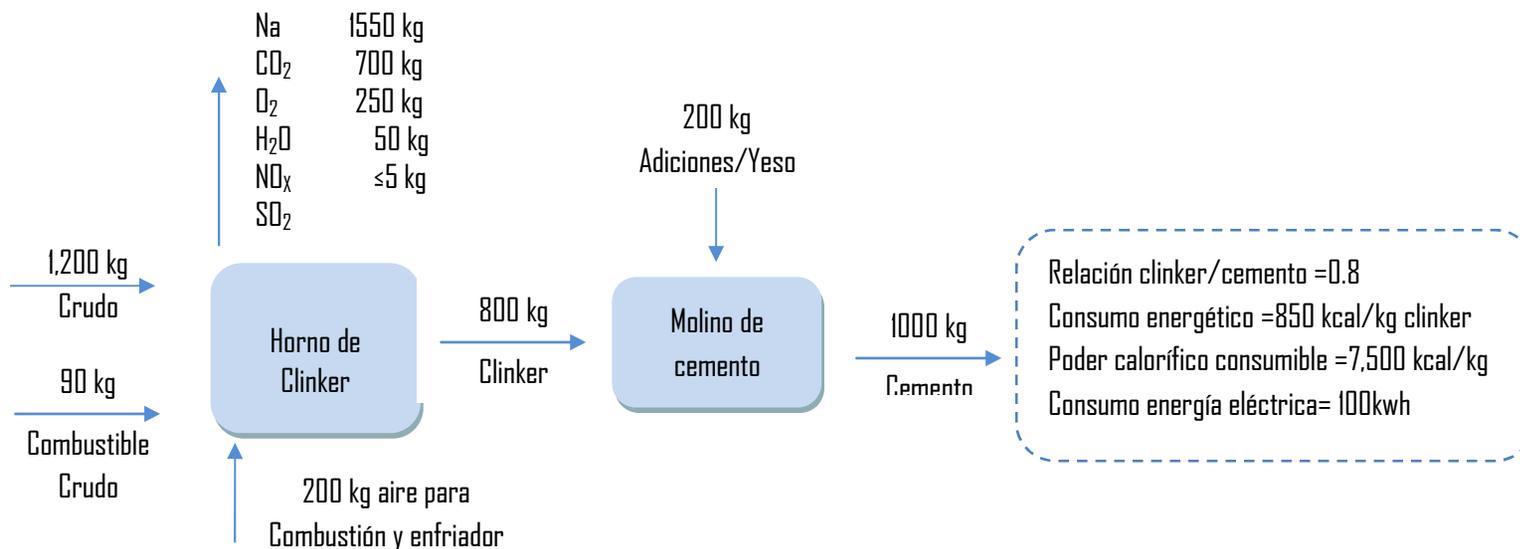


Figura 90. Balance de masa para la fabricación de 1t de cemento proceso convencional

Como se puede apreciar en el esquema, la contaminación más importante en la fabricación de cemento se da en la etapa de elaboración de clinker. Se estima que por cada tonelada de clinker se genera cerca de otra tonelada de CO₂, de las que el 60% aproximadamente proceden de la descomposición térmica de las calizas de los crudos (molienda de clinker) (CSIC 2012) siendo esta etapa la más contaminante del proceso. Mismo en la cual se pretende incorporar RCD como material puzolánico.



Figura 91. Balance de masa para la fabricación de 1t de cemento propuesta utilización de RCD.

Es decir que al elaborarse una tonelada de cemento portland puzolanico y sustituyendo un 30% de clinker por RCD se reducirían los siguientes consumos:

- Materia prima: 1200 a 840 kg
- Clinker: 200 a 60 kg
- Producción de CO₂: 700 a 210 kg

A continuación se muestra gráficamente la relación que existe entre la incorporación de RCD y las reducciones de sus componentes (materia prima, clinker y CO₂)

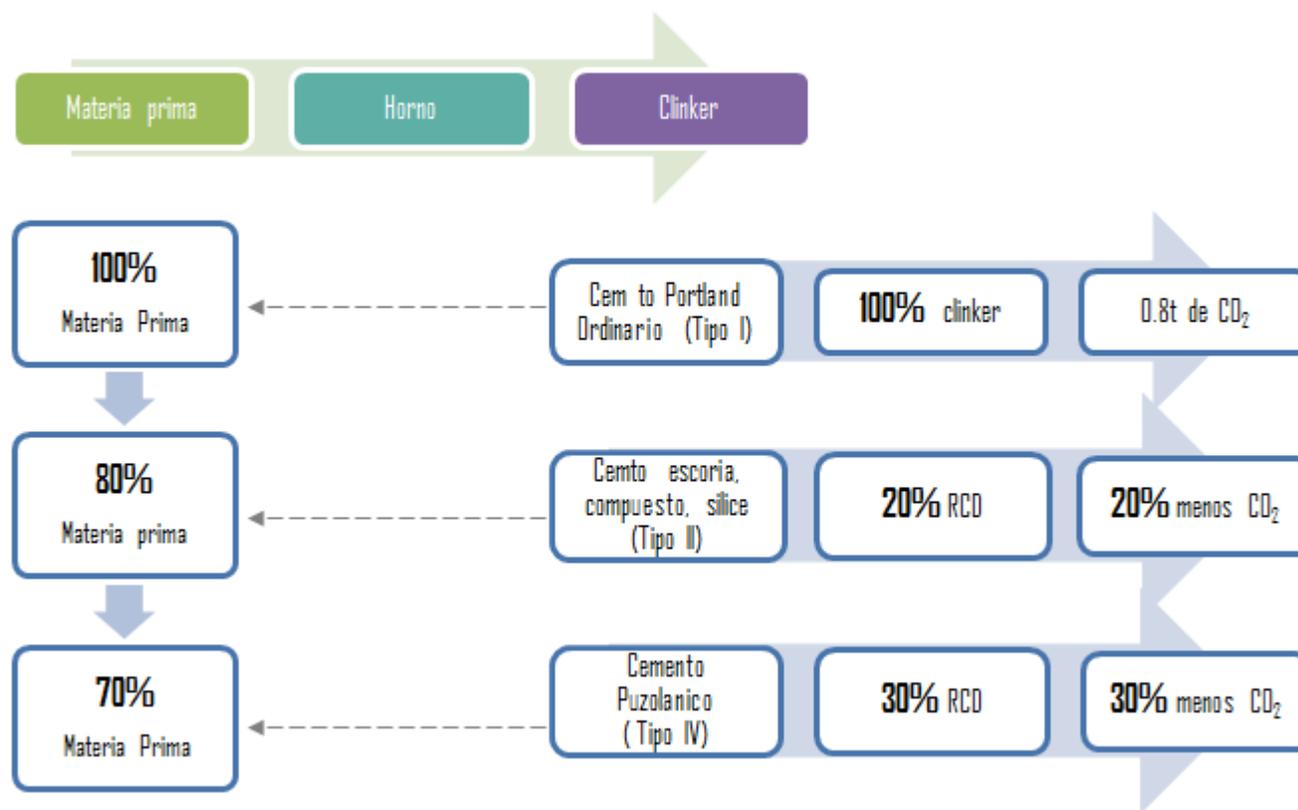


Figura 92. Relación entre utilización de RCD y reducciones de componentes del cemento

Con el análisis realizado, podemos concluir que mediante la utilización de RCD como material puzolánico para la fabricación de cemento Portland Pozolánico se obtendrá:

- Reducción en la utilización de materias primas
- Disminución de consumo energético
- Disminución en la producción de CO₂

3.4 NORMATIVA PARA CEMENTO

A fin de analizar la posibilidad de aplicación y desarrollo del caso de estudio en México, se realiza una comparativa entre la normatividad mexicana y española para el caso de cementos:

La norma mexicana **NMX-C414-DNCCCE-2004** cuyo contenido establece las especificaciones y métodos de prueba aplicables a los diversos tipos de cemento hidráulico de fabricación nacional o extranjera que se destinen a los consumidores en México.

Los cementos se clasifican en seis diferentes tipos, tal como lo muestra la tabla 7. Siendo de nuestro interés para este apartado el CPP Cemento portland puzolanico, que no es otra cosa más que el cemento que resulta de la integración de clinker portland, materiales puzolanicos y sulfato de calcio (yeso).

Tabla 7. Clasificación de los cementos (NMX-C414-DNCCCE-2004)

Tipo	Denominación	Clase resistente	Características especiales
CPD	Cemento portland ordinario	20	(RS) Resistencia a los Sulfatos
CPP	Cemento portland puzolanico	30	(BRA) Baja reactividad álcali agregado
CPEG	Cemento portland escoria Granulada	30R	(BCH) Bajo Calor de hidratación
CPC	Cemento portland compuesto	40	(B) Blanco
CPS	Cemento portland sílice	40R	***
CEG	Cemento portland escoria granulada	***	***

Los componentes de los cementos deben cumplir con los límites establecidos de acuerdo a cada tipo de cemento, tal como lo indica la tabla 8. Siendo de nuestro interés el porcentaje de materiales puzolanicos (6-50%).

Tabla 8. Componentes de los cementos. (NMX-C414-DNNCCE-2004)

Tipo	Denominación	Componentes (% en masa)					
		Principales					Minoritarios (1)
		Clinker Portland + Yeso	Escoria granulada de alto horno	Materiales puzolanicos (2)	Humo de sílice	Caliza	
CPD	Cemento Portland Ordinario	95-100	***	***	***	***	0-5
CPP	Cemento Portland Puzolanico	50-94	***	6-50	***	***	0-5
CPEG	Cemento Portland Escoria Granulada	40-94	6-60	***	***	***	0-5
CPC	Cemento Portland Compuesto (3)	50-94	6-35	6-36	1-10	6-35	0-5
CPS	Cemento Portland Sílice	90-99	***	***	1-10	***	0-5
CEG	Cemento Portland Escoria Granulada	20-39	61-80	***	***	***	0-5

- (1) Los componentes minoritarios deben ser uno o más de los componentes principales representados en la tabla
- (2) Los materiales puzolanicos incluye: puzolanas naturales, artificiales y/o cenizas volantes
- (3) El cemento Portland Compuesto debe llevar como mínimo dos componentes principales, excepto cuando se adicione caliza, ya que esta puede ser de forma individual o en conjunto con clinker más yeso.

Los especificaciones que deben cumplir los componentes principales del cemento se muestran en la tabla 9; siendo del interés de este apartado las puzolanas.

Tabla 9. Requisitos de los Componentes Principales (NMX-C414-DNNCCE-2004)

Componente Principal	Índice de actividad del cemento CPO 30 a 28 días % (mínimo)*	Carbonatos Totales (% mínimos)**
Escoria granulada de alto horno	75	***
Puzolana	75	***
Humo de sílice	100	***
Caliza	***	75

Dentro de las especificaciones físicas a considerar para los cementos se encuentra la resistencia mecánica, tiempo de fraguado y estabilidad de volumen mismos que deberán cumplir con lo establecido en la tabla 10.

Tabla 10. Especificaciones Físicas. (NMX-C414-DNNCCE-2004)

Clase resistente	Resistencia a compresión (N/mm ²)			Tiempo de fraguado (min)		Estabilidad de volumen en autoclave (%)	
	3 días mínimo	28 días mínimo	28 días máximo	Inicial mínimo	Final máximo	Expansión máximo	Contracción máximo
30	***	20	40	45	600	0,80	0,20
40	***	30	50	45	600	0,80	0,20
30R	20	30	50	45	600	0,80	0,20
40	***	40	***	45	600	0,80	0,20
40R	30	40	***	45	600	0,80	0,20

Para el cumplimiento de las especificaciones químicas de todos los tipos de cementos se deben cumplir con las especificaciones de la Tabla 11.

Tabla 11. Especificaciones Químicas (NMX-C414-ONNCCE-2004)

Propiedad	Tipos de Cemento	Especificación (% en masa)
Perdida por ignición	CPQ, CEG	Max. 5%
Residuo insoluble	CPQ, CEG	Max. 5%
Sulfato (SO ₃)	Todos	Max. 4%

Cuando se requiera que un cemento tenga alguna característica especial, este deberá cumplir con las características de la tabla 12.

Tabla 12. Especificaciones de los cementos con características especiales (NMX-C414-ONNCCE-2004.)

Nomenclatura	Característica especial	Expansión por ataque de sulfatos (máx. %)		Expansión por reacción álcali agregado (máx. %)		Calor de hidratación kj/kg (kcal/kg)		Blancura (min. %)
		6 meses	1 año	14 días	56 días	7 días	28 días	
RS	Resistencia a los sulfatos	0.05	0.10					
BRA	Baja reactividad álcali agregado			.020	.060			
BCH	Bajo calor de hidratación					250 (60)	290 (70)	
B	Blanco							70

Para el caso de la norma europea UNE-EN 197-1:2011 la cual define y especifica a los 27 tipos de cementos (Tabla 13), así como requisitos mecánicos, físicos y químicos, estableciendo los criterios de conformidad (Tabla 14).

Tabla 13. Familia y composición de los 27 cementos (UNE-EN 197-1:2011)

Tipos principales	Designación de los 27 tipos de productos (cementos comunes)		Composición en masa										Componentes minoritarios	
			Componentes Principales											
			Clinker	Escoria de horno	Humo de sílice	Puzolana		Cenizas volantes		Esquistos Calcinados	Calizas			
						Natural	Calcinada	Silíceas	Calcáreas		L	LL		
K	S	D	P	Q	V	W	T	L	LL					
CEM I	Cemento Portland	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM II	Cemento Portland con escoria	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento Portland con humo de sílice	CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento Portland con puzolana	CEM II/B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5
		Cemento Portland con ceniza volante	CEM II/A-V	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-
	CEM II/B-V		65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5
	CEM II/A-W		80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5
	CEM II/B-W		65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5
	Cemento Portland con esquisto calcinado	CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5
		CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5
	Cemento Portland con caliza	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5
		CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5
		CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5
		CEM II/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5
	Cemento Portland mixto (")	CEM II/A-M	80-94	6-20										0-5
CEM II/B-M		65-79	21-35										0-5	

CEM III	Cemento con escorias de alto horno	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM III/B	20-35	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM IV	Cemento puzolanico	CEM IV/A	65-89	-	11-35			-	-	-	-	-	0-5	
		CEM IV/B	45-64	-	36-55			-	-	-	-	-	0-5	
CEM V	Cemento compuesto	CEM V/A	40-64	18-30	-	18-30		-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM V/B	20-38	31-50	-	31-50		-	-	-	-	-	-	0-5

Tabla 14. Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos (UNE-EN 197-1:2011)

Componentes		Resistencias a Compresión	
Clinker	65 a 79 %	7 días	$\geq 16,0 \text{ N/mm}^2$
Puzolanas naturales	21 a 35 %	28 días	$\geq 32,5 \text{ N/mm}^2$
Componentes adicionales	0 a 5 %		$\leq 52,5 \text{ N/mm}^2$
Características Físicas		Características Químicas	
Principio de fraguado	≥ 75 minutos	Anhídrido Sulfúrico (SO ₃)	$\leq 3,5 \%$
Expansión Le Chatelier	$\leq 10 \text{ mm}$	Cloruros (Cl)	$\leq 0,1 \%$

En resumen se puede concluir que los parámetros establecidos por la norma mexicana y la europea son muy similares, tanto para sus componentes como para sus características físicas y químicas. De aquí surge la tabla 15.

Tabla 15. Comparativa de cementos

Norma Mexicana NMX-C414-ONNCE-2004		Norma Europea UNE-EN 197-1:2011	
Componentes		Componentes	
Clinker	50 a 94 %	Clinker	65 a 79 %
Puzolanas naturales	06 a 50 %	Puzolanas naturales	21 a 35 %
Componentes adicionales	0 a 5 %	Componentes adicionales	0 a 5 %
Características Físicas		Características Físicas	
Tempo de fraguado	≥ 45 min/ ≤ 600 min	Principio de fraguado	≥ 75 minutos
Estabilidad de volumen	0,8% máximo (expansión) 0,2 % máximo (contracción)	Expansión Le Chatelier	≤ 10 mm
Resistencias a Compresión		Resistencias a Compresión	
3 días (mínimo)	20 N/ mm ²	7 días	≥ 16,0 N/ mm ²
28 días (máximo)	30 N/ mm ²	28 días	≥ 32,5 N/ mm ²
	40 N/ mm ²		≤ 52,5 N/ mm ²
Características Químicas		Características Químicas	
Anhídrido Sulfúrico (SO ₃)	Máximo. 4%	Anhídrido Sulfúrico (SO ₃)	≤ 3,5 %
		Cloruros (Cl)	≤ 0,1 %

*Es importante indicar que el porcentaje de clinker señalado, así como el tiempo de fraguado que indica la normativa mexicana, dependerá del tipo de cemento a fabricar (portland, puzolanico o compuesto) La normativa engloba los porcentajes, no indicado casos específicos, de aquí el rango tan amplio que muestra la tabla 15.

Una vez expuesta la metodología del proyecto de reutilización de los RCD en la fabricación de cementos, analizar el nivel de contaminación generado en su fabricación tradicional vs la sustitución de los RCD y verificar la viabilidad que de aplicación en la industria mexicana que esta propuesta tiene se puede concluir que

- A. Los RCD son altamente valorizables generando la posibilidad de reutilización y re inserción en el proceso constructivo, ya sea como agregado reciclado o como materia prima para la fabricación de nuevos productos constructivos.
- B. Las características y calidad del material a utilizar (AR) dependerá de las condiciones en que se realice el tratamiento del mismo, tanto en las plantas de reciclaje como de las características del residuo original.
- C. Es imprescindible establecer pautas para la optimización de los procesos de tratamiento en las plantas de reciclaje de RCD, permitiendo mejoras en los productos finales, eliminando así posibles efectos perjudiciales para el uso destinado de estos.
- D. La normatividad española y mexicana manejan parámetros similares para el caso específico de cementos, haciendo posible el empleo de los residuos de construcción y demolición (RCD) para la fabricación de cementos, bajo la metodología expuesta.





CAPITULO 4
IMPLEMENTACIÓN EN LA INDUSTRIA
MEXICANA

Es evidente que la industria de la construcción en México (Figura 93) debe poner en marcha la implementación de técnicas de reciclaje, así como la utilización de agregados reciclados, consiguiendo de esta manera reducir la reducción de la huella ecológica y un uso racional en los recursos, llegando a así a una construcción sustentable.

Mediante la implementación de estas prácticas es altamente factible que el proceso de la vida útil en la industria de la construcción se extienda y pueda convertirse en un ciclo cerrado (Figura 94), donde los residuos sean aprovechados, convirtiéndose nuevamente en materias primas listas para su reutilización.

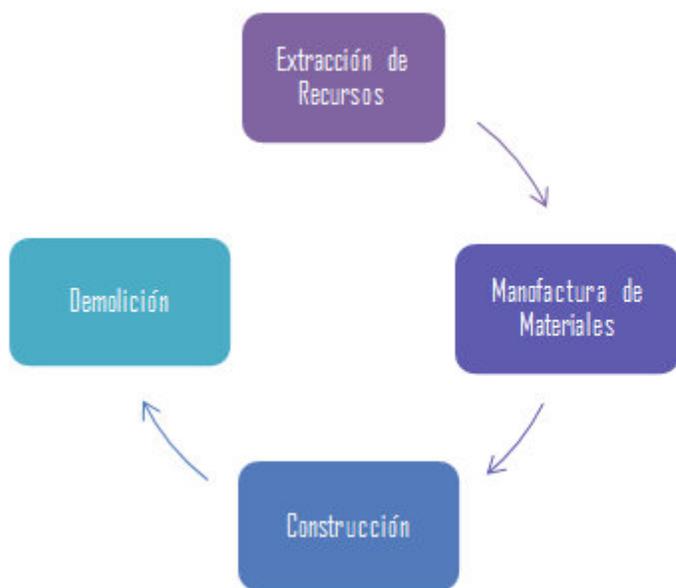


Figura 93. Proceso convencional de la industria de la construcción

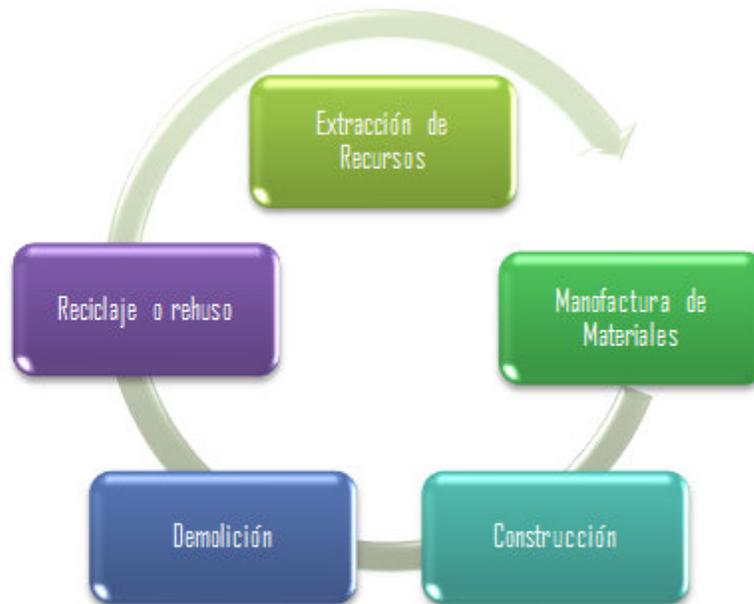


Figura 94. Ciclo de vida de la construcción a través del Reciclaje de RCD



El concepto de desarrollo sustentable en el sector de la construcción y en particular en la gestión de los RCD, es al día de hoy una necesidad que la sociedad demanda con una preocupación creciente sobre los sistemas tradicionales de eliminación de residuos y sus consecuencias para el medioambiente. Los objetivos medioambientales de la reducción, reutilización, reciclado y valorización de RCD se centran principalmente en la gestión de los RCD, donde el objetivo principal debe ser el minimizar su generación y en caso de existir, buscar su reciclaje o reaprovechamiento; donde la etapa fundamental de este proceso de reciclaje sea la recogida selectiva, seguida del adecuado proceso de transformación del residuo al agregado reciclado.

La transformación de un residuo en un producto apto para su reutilización mediante el reciclaje, es un elemento básico para lograr una construcción sustentable. Para lo cual es imprescindible que dicho proceso sea completo y exhaustivo, con el objetivo de que el producto resultante (agregado reciclado) cumpla con las características técnicas de las normativas fijadas; y de esta manera responda al criterio de fin del residuo. La transformación que existe del RCD en agregados reciclados a través del reciclaje, requiere equipos y procesos industriales específicos (plantas de reciclaje) así como un sistema de control de la producción, que garantice la calidad de los productos finales.

Es evidente destacar que para lograr el éxito en la industria del reciclaje de RCD debemos cambiar la visión de lo que hasta hoy conocemos como residuo, dejar de ver a estos como **“basura”** y verlos como **“productos”** de calidad. Productos que pueden ser utilizados y reincorporados en la industria de la construcción de manera segura y eficiente, garantizando así una construcción sustentable.

Partiendo de esta premisa, del análisis en las buenas prácticas realizadas en el sector de la construcción española (proyecto GEARD) así como del funcionamiento de las plantas analizadas (españolas y holandesas), se realizan las siguientes recomendaciones para su implementación en la industria mexicana a fin de marcar pautas en beneficio del reciclaje (legislación y optimización de procesos), consiguiendo llegar a la creación de una industria responsable con el medio ambiente y la sociedad minimizando al máximo posible los efectos negativos que ésta genera.

Como punto de partida y en base a la iniciativa que el gobierno federal ha manifestado con respecto a la gestión de los RCD a través de la promulgación de la norma oficial mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011 de amplio cumplimiento y del gobierno del distrito federal con la creación de la norma NADF-007-RNAT-2004 se pretende dar pautas que favorezcan el mejoramiento en la gestión de los RCD desde el sitio de generación, hasta su transformación como agregado reciclado. Por lo cual se considera apropiado dar a conocer las siguientes recomendaciones:



4.1 Normatividad:

Partiendo de la reciente creación de la normativa mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011 para el manejo de los RCD, será imprescindible considerar para su óptimo cumplimiento lo siguiente:

El objetivo de la legislación deberá ser: minimizar y controlar la generación de RCD por medio de planes de manejo y reciclaje, así como sancionar a aquellos que vayan en desacuerdo con este objetivo. En base a estos tres puntos (minimizar, controlar y sancionar) un aspecto que podría favorecer e incrementar la industria del reciclaje será la creación y apertura de nuevas plantas de reciclaje, lo ideal sería contar con una instalación por cada una de las delegaciones que conforman el Distrito Federal, así como en cada uno de los estados de la república, para lo cual es conveniente considerar:

- a. Plan de gestión o plan de manejo de RCD, donde además de especificar la cantidad estimada de residuos a generarse durante el proyecto; se deberá solicitar a los generadores de residuo una fianza para garantizar la correcta gestión de estos. Dentro del plan de gestión será conveniente establecer algunos requerimientos como mínimos:
 - Tipos y cantidad de residuos a tratar.
 - Descripción de procesos e instalaciones para el tratamiento en origen, incluyendo plano con instalaciones previstas
 - Identificación y caracterización de los diferentes residuos así como su destino final
 - Medidas de prevención y control de efectos ambientales negativos producidos por esta actividad (manifestación de impacto ambiental)
 - Plan de manejo de residuos peligrosos
 - Plan de seguridad y prevención de riesgos laborales.
- b. Fianzas, mismas que estarna condicionadas a la entrega de permisos de construcción, con el fin de garantizar la correcta gestión de los RCD generado. El monto de estas fianzas podría estimarse en base a los m² de construcción, a las cantidades previstas de residuos a generar. De lo contrario, la fianza podría ser utilizada para realizar la gestión adecuada de los residuos.
- c. Cobro de impuestos por concepto de RCD no valorizados.
- d. Licencias Ambientales: autorización para realizar actividades de gestión de RCD (valorización, traslado y tratamiento)
- e. Formación de especialistas en gestión de RCD.

4.2 Manejo de RCD en sitio de generación: separación, almacenamiento y traslado

Una de las etapas importantes para el manejo de los RCD corresponderá a la etapa de diseño, como etapa inicial de todo proyecto, donde se deberá considerar la planificación racional de los materiales, la ejecución en obra, acopio, separación y clasificación de residuos. Esta fase es un primer acercamiento a la gestión de los RCD, la cual permitiría cuantificar y estimar las necesidades de espacios y medios a utilizar, de manera que garantice su posterior desarrollo.

Otra etapa obligada es la planeación de obra, la cual se refiere a la fase de planeación, programación e implementación de procedimientos a realizarse durante la ejecución de obra, de la cual deberían considerarse tres aspectos relevantes:

- a. Formación: capacitación a personal involucrado en la gestión de RCD (administradores, constructores, obreros, etc.)
- b. Normativa: desarrollo de planes internos de trabajo (involucrados en el desarrollo de la obra)
- c. Asignación de recursos (partida presupuestal exclusiva para la gestión de RCD)

Como última etapa en el manejo de RCD corresponde al seguimiento en obra, el cual consta de una adecuada coordinación de las actividades que se desarrollaran como parte de la gestión de RCD entre los actores involucrados (características de la obra y contratista). En esta fase el gestor deberá tratar el residuo convenientemente para permitir su reutilización, reciclado, o depósito sin que estos provoquen un efecto negativo sobre el medio. Si cualquiera de las fases anteriores falla o no se cumplen, el proceso correría el riesgo de interrumpirse, por lo tanto será indispensable que todos los involucrados actúen de manera eficaz y eficiente.

Dentro del sitio de generación de RCD (obras nuevas, demoliciones, remodelaciones) se recomienda considerar los siguientes aspectos:

- a. Las zonas destinadas al almacenamiento de los residuos deberán estar convenientemente señaladas, delimitadas y con uso exclusivo para su almacenamiento. Estas áreas no podrán destinarse para ningún otro uso.
- b. El almacenamiento de residuos deberá ser en el interior del sitio de generación, cercano al acceso principal, esto facilitará el traslado de los mismos. No podrán ser almacenados en la vía pública (calles, banquetas, andadores, etc.).
- c. Los contenedores destinados a los residuos, deberán estar identificados de acuerdo al tipo de residuo que contengan, indicando tipo, nombre de la obra y pictograma de peligro en caso de tratarse de residuos peligrosos.
 - Los residuos permanecerán en todo momento en los contenedores asignados, permaneciendo estos cerrados y sin sobrepasar el límite de su capacidad para evitar su dispersión en el ambiente.

- Los residuos peligrosos como: solventes, pinturas, aceites y ácidos; serán almacenados en sitios especiales, perfectamente ventilados, iluminados, ordenados, cerrados y cubiertos de la intemperie, manteniéndolos separado del resto de los residuos para evitar la contaminación de los mismos.
- Se destinará un área exclusiva para el cargado de vehículos, el cual deberá contar con un área específica de lavado, donde se realizara la revisión del residuo saliente, lavado de llantas y tapado de carga, esto para evitar que durante el trayecto, el residuo sea disperso al medio ambiente.
- En el área destinada al cargado de residuos se deberá considerar el rociado de agua (tratada) como medida de mitigación para la emisión de polvos al ambiente.
- Los camiones que trasportaran el residuo desde el sitio de generación hasta la planta de reciclaje deberán contar con una identificación especial, que los acredite como transportistas autorizados (existencia de un padrón de transportistas autorizados).
- El generador del residuo deberá contar con acreditación de manejo de RCD, en la que se deberá incluir identificación del generador de residuo, obra de procedencia, tipo, cantidad y destino final.

Con las recomendaciones descritas anteriormente se pretende conseguir un mejor control de los residuos generados, clasificación, separación y traslado a las plantas de tratamiento, con lo que se pretende realizar una adecuada valorización y aprovechamiento de los mismos, a la par de reducir en la medida de lo posible la generación de contaminación ambiental durante este proceso.

4.3 Proceso de tratamiento en planta de reciclaje

Correspondiente a la etapa de transformación, desde su recepción como residuo y hasta la generación de AR, esta etapa de transformación tiene lugar propiamente en la planta de reciclaje, en la cual se recomienda considerar las siguientes recomendaciones para su emplazamiento y funcionamiento.

4.3.1 Características constructivas:

- a. La planta deberá estar separada de cualquier otra actividad por medio de un muro o valla perimetral así como una puerta de acceso controlada
- b. La planta deberá considerar una instalación adecuada para que a través de esta se recojan los lixiviados producidos durante el tratamiento, con esto se pretende impedir su vertido en los mantos acuíferos.

- c. La planta de reciclaje deberá asegurar que las distancias de transportación de los residuos sean las menores posibles, es decir, es conveniente situar dichas plantas lo más cerca posible del lugar donde se origine la mayoría de los RCD y donde se podría tener una mayor demanda del producto reciclado (agregado reciclado)

4.3.2 Características de funcionamiento (línea de producción)

- a. Es recomendable que las plantas de reciclaje cuenten con el doble sistema de recepción de residuos (mixtos y limpios) esto permitirá incrementar las posibilidades de reciclaje, ya que este esquema resulta más atractivo para el generador de residuos. Las plantas podrán establecer distintas tarifas de recepción dependiendo de la limpieza del residuo.
- b. Es recomendable incorporar dentro de la línea de producción (pre tratamiento y trituración) un sistemas de limpieza por aire y agua para reducir el porcentaje de yeso, sulfatos y sales en el agregado reciclado.
- c. Durante el proceso de cribado del residuo, es recomendable el uso de un sistema de trituración de mandíbulas como trituración primaria; ya que este minimiza la aparición de partículas finas en el agregado reciclado. Para la trituración secundaria es recomendable considerar un molino o trituradora de impacto, este tipo de trituración optimiza la separación entre el residuo y el mortero que se encuentra adherido a este, consiguiendo de esta manera agregados reciclados con menores porcentajes de índice de lajas.
- d. Lugares de acopio debidamente identificados y diferenciados tanto para los residuos recibidos como para los productos reciclados. En ningún caso podrán destinarse como material de relleno sanitario los residuos no tratados previamente.
- e. Se deberá considerar un espacio exclusivo, debidamente señalado y delimitado del resto de las áreas. con esto se evitara que exista una mayor contaminación del residuo a tratar.
- f. Para el caso de los residuos que no serán tratados en planta (metal, papel, cartón, plástico, madera, etc.) estos deberán estar en áreas perfectamente delimitadas, manteniéndose en condiciones de higiene y seguridad hasta que sean entregados a un gestor especializado
- g. La altura del acopio de los residuos admitidos no podrá ser mayor a tres metros de altura. Este acopio deberá estar impermeabilizado y separado del resto de los acopios, esto evitara la erosión del residuo y por ende la emisión de polvos al ambiente.
- h. Será conveniente no almacenar los agregados reciclados finos por tiempos prolongados, o en áreas que no confinadas; ya que estos al ser ligeros, favorecen a la erosión de los mismos.
- i. Destinar un área exclusiva, perfectamente identificada para el acopio de los agregados reciclados, separando en base a su granulometría. Esto evitara la contaminación del producto reciclado.



- j. Como punto indispensable se sugiere contar con inspección de calidad para los agregados resultantes: control de granulometría, limpieza y contenido en materia orgánica (coeficiente los ángeles (%), el equivalente de arena (%), el Índice de lajas y el contenido de sulfatos (%).

4.3.3 Características ambientales:

- a. Es recomendable que la planta se encuentre fuera del área urbana; evitando con esto la contaminación visual y auditiva, así como la propagación de polvos a las zonas urbanas.
- b. La planta deberá contar con sistemas de aspersión, misma que contribuirá en la reducción de partículas al ambiente, mediante la humectación de los residuos.
- c. Deberá considerarse el riego de caminos y brechas en el interior de la planta con agua tratada para así minimizar la generación de polvos.
- d. Contar con planta de tratamiento de aguas o captación de aguas pluviales, pudiendo con esto ser reaprovechada a su máximo porcentaje el agua suministrada por la propia naturaleza.
- e. Efectuar un perfecto control y mantenimiento de los vehículos, maquinaria y herramientas utilizados en la línea de producción (trituradoras, cribas y bandas transportadoras) evitando en la medida de lo posible la emisión de contaminantes al ambiente (humos y gases).
- f. La planta deberá contar con vertedero autorizado para depósito de aquellos residuos que ya no puedan ser reciclados ni reaprovechados.

4.4 Características de regulación, mantenimiento y mejoramiento

Dentro de la gestión de los RCD, será necesario considerar programas de evaluación, mantenimiento y mejoramiento para las plantas de reciclaje, realizando por parte de las entidades gubernamentales visitas periódicas a las plantas, con la finalidad de conocer los equipos, maquinaria, procesos utilizados y medidas de mitigación para el medio ambiente; así como los AR producidos y sus características. De esta manera se podrán aplicar planes de mejoramiento enfocados específicamente a las necesidades de cada planta con el objetivo principal de obtener AR de la más alta calidad.



A low-angle, upward-looking photograph of several modern skyscrapers with glass facades. The buildings are set against a clear, light blue sky. The perspective creates a sense of height and scale, with the buildings converging towards the top of the frame. The word "CONCLUSIONES" is printed in a bold, black, sans-serif font in the lower right quadrant of the image.

CONCLUSIONES

La industria de la construcción es responsable de consumir el 50% de los recursos naturales, el 40% de la energía total y del 50% del total de los residuos generados, siendo los RCD uno de los flujos de residuos más importantes, por su elevada tasa de producción y por la viabilidad técnica y económica de su reciclaje. El reciclaje de RCD está considerada como una de las tecnologías más limpias y la que permite un importante ahorro de energía, donde la gestión de los RCD debe seguir la jerarquía de residuos que consiste, en primer lugar, en minimizar y reutilizar todo lo que se pueda; en segundo lugar, se debe reciclar lo que no se pueda reutilizar, esto con la prioridad en la obtención de agregados para la construcción; en tercer lugar, todo lo que no se pueda reciclar o reutilizar se debe valorizar energéticamente y como última opción será el depósito en vertederos autorizados. Con esta gestión, se alcanzaran objetivos sociales, medio ambientales y económicos tales como:

- Facilitar a los productores y poseedores de residuos inertes el cumplimiento de sus responsabilidades de eliminación.
- Reducir el impacto ambiental al evitar la proliferación de vertederos incontrolados.
- Ahorro de espacio en los vertederos de residuo inertes.
- Reutilización del producto final obtenido, evitando la explotación innecesaria de recursos naturales.

Para hacer posible la gestión de RCD, es necesario implicar a todos los participantes que intervienen en el ciclo de vida de estos materiales, (productores, generadores, gestores y organismos públicos) que permitan el cumplimiento de los objetivos medioambientales de la legislación vigente, gestionar correctamente los residuos que se producen, orientar los residuos desde el origen, hacia los procesos de reciclado, y fomentar el consumo de agregados reciclados como alternativa en obras de construcción, donde la clave fundamental que los RCD tienen para la reinserción en el ciclo de vida de la construcción, es mediante un adecuado proceso de transformación (de residuo a agregado) a través de su tratamiento en plantas de reciclaje.

Los agregados reciclados son el resultado de la gestión y tratamiento de los RCD, que tras someterlos a un proceso de reducción de tamaño, cribado y análisis en laboratorio, cumplan con las especificaciones técnicas para su utilización dentro del sector de la construcción. La calidad del agregado reciclado dependerá completamente de la complejidad en el sistema de producción, de la calidad del RCD de origen y de la selección en el sitio de generación. Mediante una adecuada selección en origen se asegurará la calidad del agregado reciclado, reduciendo de esta manera el costo de tratamiento y por ende el precio final de producto, cuanto mayor sea la separación de RCD en sitio, más económico resultará su tratamiento; ya que las plantas recicladoras cobran distintas tasas en función del grado de limpieza que presenta el residuo al momento de la recepción. De aquí la importancia de implementar técnicas de separación, almacenamiento selectivo y traslado del residuo.



Para los agregados reciclados existen dos criterios básicos de clasificación: la composición y granulometría, esta última dependerá fundamentalmente del tipo de trituración al que sea sometido el residuo. Por lo que se considera a la trituración como la etapa más importante dentro de la línea de producción y por ende resultara conveniente llevar un control exhaustivo del mantenimiento de estos equipos. Un sistema de reciclaje puede comprender uno o varios tipos de trituración en los que se pueden emplear diferentes tipos de maquinaria. La elección de los tipos a emplear depende principalmente de tres factores: consumo de energía, coste de producción y calidad del producto; siendo las trituradoras de mandíbulas las más recomendadas para la trituración primaria y las trituradoras de impacto para secundaria.



REFERENCIAS

Referencias



- Arenas, C. F.J. (2007) "El Impacto Ambiental en la Edificación, Criterios para una construcción sostenible." España. Ed. Edifoser, ISBN 9788496261365, 17 págs.
- Asociación Científico - Técnica del Hormigón Estructural ACHE (2006) "Monografía, Utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural", España, I.S.B.N. 84-89670-55-2, pág. 3-54.
- Asociación Española de Normalización y Certificación, AENOR (1999) "Norma española experimental UNE 1340002 EX centros de eliminación y de valorización de los residuos inertes de derribo y demás residuos de la construcción. Especificaciones técnicas de gestión medioambiental". España, Ed. AENOR, M 38035:1999, 26 págs.
- Asociación Española de Gestores de Residuos de Construcción y Demolición GERD (2012) "Guía española de áridos reciclados procedentes de RCD, Proyecto GEARD", España, Ed. Fueyo, ISBN: 987-84-939391-2-0, 142 págs.
- Concretos Recicladados SA de CV, www.concretosrecicladados.com.mx. (2012).
- Consejo Superior de Investigaciones Científicas, (2012) "Química del cemento" España, Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, pág., 27.
- European committee for standardization CEN (2011) final draft FprEN 197-1:2011, págs. 39.
- EPA (2010) Legislación Norteamericana, consultado el 23 de febrero de 2011 en: <http://www.epa.gov/epawaste/laws-regs/rcrahistory.htm>
- Gregorio, B. M. (2008) Construcción y tecnología, la certificación verde, México, págs. 40-43.
- Instituto español del cemento y sus aplicaciones (2012) disponible en: http://ieca.es/reportajeT.asp?id_rep=6 consultado en octubre 2012.
- Koji K, (2004)"La situación Actual de los Residuos Generados en Obras de Construcción y los Reciclajes en Japón". México, Ministerio del Medio Ambiente, JICA. 17 págs.
- LEGEEPA (2011) Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, publicada en el Diario Oficial de la Federación, 28 de enero de 1988, reformas publicadas DOF 28-01-2011.



- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (2007), publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de octubre de 2003, última reformas publicada DOF 19-06-2007.
- Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (2003), publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el 22 de abril de 2003.
- Ministerio Danés del Medio Ambiente, (1999) "Residuos en Dinamarca". Dinamarca. Revista Internacional. 24 págs.
- Ministerio de fomento español, (2001) "Instrucción de hormigón estructural EHE-08", Secretaria general técnica, NIPD: 161-II-150-2, quinta edición, pág. 652-638.
- NMX-C-414-DNNGCE-2004 (2004) Norma mexicana para morteros: especificaciones y métodos de ensayo, México, 28 págs.
- Norma ambiental DF NADF-007-RNAT-2004, Gaceta Oficial del DF, 12 de julio de 2006.
- Normativa europea de cementos UNE-EN 197-1: 2011 (2012) "Cemento. Parte 1: composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes", publicado en el boletín oficial del estado el 16 de febrero de 2012. 24 págs.
- Norma oficial mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011, Gaceta Oficial de la Federación 11 de febrero de 2013.
- Plan nacional integrado de residuos (PNIR 2007-2015), España. 17 págs.
- RCRA (1976) Ley de conservación y recuperación de recursos "Derecho ambiental Estadounidense", Estados Unidos de Norteamérica, págs. 71-74.
- Reglamento de construcción del DF, publicado en la Gaceta Oficial de la Federación el 29 de enero de 2004.
- Reglamento de la ley general para la prevención y gestión integral de los residuos. Nuevo reglamento DOF 30-II-2006.
- Secretaria del Medio Ambiente (2002) "Minimización y manejo de residuos de la industria de la construcción, diagnostico 2002", México, 56 Págs.
- Suiza a la cabeza del Reciclaje, 2011, consultado el 18 de octubre de 2011 http://www.swissworld.org/es/medio_ambiente/?gclid=CNSuuLvU8qsCFYReTAodwCRFvw



-Tognina, A. (2011) "Los suizos reciclan e incineran casi toda su basura" Suiza, consultado el 18 de octubre de 2011 en [http://www.swissinfo.ch/spa/Portada/Actualidad/Los suizos reciclan e incineran casi toda su basura.html?cid=6370686](http://www.swissinfo.ch/spa/Portada/Actualidad/Los_suizos_reciclan_e_incineran_casi_toda_su_basura.html?cid=6370686)

-WBSCD, (2009) World Business Council for Sustainable Development, Recycling Concrete. Consejo empresarial para el desarrollo sostenible.

