

Proyecto Fin de Carrera

Diseño de una Planta de Reciclaje de Materiales de
Construcción. Análisis de Rentabilidad

Escuela Superior de Ingenieros

Sevilla. Julio 2001

Autor: Juan Estrada Pérez

Profesor Director del Proyecto: D. Ángel García López

Índice

1. Memoria Justificativa	6
1.1 Introducción.....	6
1.2 Descripción del Problema	7
1.3 Reciclaje de Materiales de Construcción y Demolición. Aspectos Generales	8
1.4 Descripción del Proceso en una Planta de Reciclaje	10
1.5 Aspectos Medioambientales de una Situación de Ausencia de-Reciclaje ..	14
1.5.1 Extinción de Materias Primas	14
1.5.2 Vertido de Materiales de Construcción y Demolición	16
1.6 Implicaciones Económicas de una Situación de Ausencia de Reciclaje	17
1.7 Conclusión: La Necesidad del Reciclaje	18
1.8 Alcance.....	20
1.9 Terminología.....	20
2. Memoria Descriptiva	23
2.1 Métodos.....	23
2.2 Reciclaje de Materiales de Construcción y Demolición. Aspectos Generales	24
2.2.1 Descripción de los Materiales Reciclables. Origen	25
2.2.2 Materiales Vírgenes en la Construcción de Carreteras	27
2.2.3 Materiales Reciclados en la Construcción de Carreteras	30
2.2.4 Otros Usos de los Materiales Reciclados	33
2.2.5 Productos Secundarios.....	35
2.3 Proceso en una Planta de Reciclaje	36
2.3.1 Disposición General del Proceso en una Planta Fija	36
2.3.2 Plantas Móviles. Descripción	42
2.3.3 Empleados.....	43
2.3.4 Consumo Energético. Gastos de Inversión	46
2.3.5 Impactos Medioambientales	47
2.3.6 Tecnologías de Separación	48
2.3.7 Maquinaria. El Proceso de Triturado	53
2.3.8 Capacidad.....	63
2.3.9 Almacenaje de Materiales.....	64
3. Diseño de una Planta de Reciclaje	67

3.1	Restricciones para el Diseño de una Planta de Reciclaje en la Región de Estocolmo	67
3.1.1	Volumen Disponible de Materiales de Construcción y Demolición.....	68
3.1.2	Precios de Áridos (Naturales)	68
3.1.3	Precio del Terreno (Planta Fija)	69
3.1.4	Jurisdiccional y Política	69
3.1.5	Calidad del Material Reciclado	69
3.1.6	Exigencias Medio-Ambientales.....	71
3.1.7	Costes de Transporte.....	75
3.1.8	Precios de los Productos Secundarios	77
3.2	Diseño de una Planta.....	77
3.2.1	Planta Fija	77
3.2.2	Planta Móvil	106
4.	Impacto Ambiental. Medidas de Protección	116
4.1	Planta Fija	116
4.1.1	Impacto Ambiental.....	116
4.1.2	Medidas de Protección	116
4.1.3	Conclusiones.....	118
4.2	Planta Móvil	119
4.2.1	Impacto ambiental.....	119
4.2.2	Medidas de protección.....	120
4.2.3	Conclusiones.....	120
5.	Análisis de Rentabilidad	122
5.1	Planta Fija	122
5.1.1	Costes e Ingresos de la Planta.....	122
5.1.2	Escenario A	129
5.1.3	Escenario B	133
5.1.4	Escenario C	134
5.1.5	Tasas de aceptación en función de la calidad del material repcionado.....	135
5.1.6	Otros escenarios	137
5.1.7	Costes en función de la producción.....	138
5.2	Planta Móvil	141
5.2.1	Escenario 1	141

5.2.2	Otros escenarios	149
5.2.3	Coste en función de la producción	156
5.2.4	Múltiples Operaciones Anuales Triturado	160
6.	Conclusiones y Recomendaciones	164
6.1	Planta Fija	164
6.2	Planta Móvil	165
6.3	Recomendaciones.....	165
6.4	Comentario final.....	166
7.	Referencias.....	168
8.	Pliego de Condiciones Generales.....	173
8.1	Objetivo	173
8.1.1	Definiciones	173
8.2	Bases Generales	175
8.2.1	Objeto de los Concursos.....	175
8.2.2	Idioma Oficial	175
8.2.3	Documentos que el Propietario Pone a Disposición de las Empresas Constructoras	175
8.2.4	Datos que Figuran en el Proyecto	176
8.2.5	Admisión Previa a la Licitación	177
8.2.6	Propuesta	177
8.3	Condiciones Generales.....	178
8.3.1	Terminología General.....	178
8.3.2	Perfeccionamiento Del Contrato	180
8.3.3	Cumplimiento de los Plazos.....	181
8.3.4	El Trabajo Y Su Ejecución	185
8.3.5	Control del Material.....	189
8.3.6	Relaciones y Responsabilidad Jurídica ante el Público	192
8.3.7	Subcontratos y Asignaciones	195
8.3.8	Medición, Pago y Garantía	197
8.4	Condiciones Facultativas.....	198
8.4.1	Armadura	198
8.4.2	Condiciones Generales Complementarias para los Trabajos en el Lugar de la Construcción	200

9. Pliego de Condiciones Específicas.....	202
9.1 Especificaciones Calidad	202
9.2 Datos Técnicos.....	208
9.2.1 Calidad Productos Planta Fija	209
9.2.2 Calidad Productos Planta Móvil.....	210
9.3 Descripción Ensayos.....	210
9.3.1 Californian Bearing Ratio/Proporción de Aguante Californiana (Arell. 1995).....	210
9.3.2 Fines Modulus (FM)/Módulo de Finos (Neville. 1973)	211
9.3.3 Nordic Abrasion Value (NAV)/Valor Nórdico de Abrasión (Schouenborg y Viman. 1994).....	212
9.3.4 Los Angeles Abrasion Test/Ensayo de Abrasión Los Angeles (Draft European Standard. 1991).....	212
9.3.5 Sulphate Soundness Test/Ensayo de Validez ante Sulfatos (Hansen. 1992).....	214
9.3.6 Arbetsindex/Índice de Trabajo (Svedala Svenska AB. 1995)	214
9.3.7 Dutch Static Compression Value/Valor Holandés de Compresión Estática.....	215
9.3.8 Boiling Test/Ensayo de Ebullición	216

1. Memoria Justificativa

1.1 Introducción

La investigación realizada para la realización de este Proyecto Fin de Carrera se realizó fundamentalmente en el período temporal que va desde Junio de 1995 hasta Diciembre del mismo año.

En ese tiempo y, como colofón a la culminación de un Máster en Ingeniería Ambiental y Desarrollo Sostenible realizado (merced a una beca Erasmus) en la Real Escuela Técnica de Estocolmo (Kungl Tekniska Högskolan, KTH) entre Septiembre de 1994 y Junio de 1995, se desarrollaron las labores de investigación, visitas a fábricas y organismos oficiales tanto en Suecia como en Dinamarca, análisis de la información obtenida (incluyendo también la bibliografía recolectada), redacción y defensa en dicha Escuela Técnica de este Proyecto.

Este Proyecto original se desarrolló completamente en Lengua Inglesa.

Este trabajo fue tutorado en Suecia por los profesores Gert Knutsson y Lars Arell y contó con una beca de la KTH para su realización.

En la época de realización de este Proyecto, Suecia era un país que empezaba a introducirse en el campo del reciclado de materiales de construcción y demolición para su uso en la construcción de carreteras, si bien no alcanzaba niveles de desarrollo de países como Japón, Países Bajos, Dinamarca o Alemania.

Las principales fuentes de información estudiadas fueron:

- Bibliografía.
- Empresas de países como: Suecia, Alemania y Dinamarca.
- Viaje de investigación por el Sur de Suecia y Dinamarca visitando empresas del sector.
- Entrevistas con autoridades locales de la ciudad de Estocolmo.
- Visitas a fabricantes de maquinaria.
- Varios.

Tras seis meses de dedicación exclusiva a este Proyecto, tuvo lugar la Defensa Oral del mismo, en Diciembre de 1995 en la KTH (Estocolmo).

Tras la misma se realizaron algunas mejoras en el texto, tutoradas por los dos profesores arriba mencionados para obtenerse finalmente la versión definitiva que sería publicada por la KTH con el título:

" Design of a Recycling Plant in the Stockholm Region"

y número de identificación:

Thesis Report series 1996:7.

Durante todo el período de investigación y elaboración del original de este Proyecto, estuve en permanente contacto con D. Francisco José Vale Parapar, que fue el Profesor que decidió tutorarme este Proyecto desde la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Sevilla.

Como se indicó anteriormente, este Proyecto Fin de Carrera se ha basado en el Proyecto original de la Escuela Sueca, KTH.

Además, se han incorporado algunas mejoras y/o modificaciones como son:

- Traducción íntegra al Idioma Español.
- Adición de un Pliego de Condiciones.
- Adición de un Pliego de Condiciones Específico.
- Reestructuración de algunos capítulos en aras de una mayor claridad en su lectura.
- Mejoras de presentación en diagramas, tablas y figuras.
- Adición de fichas técnicas de algunos de los equipos analizados.
- Etc.

En las páginas siguientes se encontrará un resumen de este Proyecto que pretende destacar la esencia del mismo, esencia que será posteriormente detallada en los distintos capítulos que componen este Proyecto Fin de Carrera.

1.2 Descripción del Problema

El vertido de materiales de construcción y demolición se está convirtiendo en un grave problema en muchos países. En los países industrializados con una alta densidad de

población, la ausencia de vertederos disponibles para eliminar estos materiales ha encendido el interés por su reciclaje.

El reciclaje de materiales de construcción y demolición no sólo evitaría el uso de elementos de la Naturaleza como vertederos, sino que además proporcionaría productos de alta calidad para la construcción de carreteras: áridos reciclados. Estos áridos se aplicarían en las capas base y sub-base del perfil de la carretera. Haciendo esto se conseguiría disminuir el uso de áridos naturales.

Debido a la ausencia de conocimiento general sobre cómo diseñar el proceso para producir áridos reciclados, junto con la actual incertidumbre sobre las posibilidades de obtener beneficios económicos de esta actividad, este proceso de reciclaje aún no está mayoritariamente extendido.

Este estudio trata de aclarar algunos de esos puntos fundamentales. Para ello, se ha hecho un análisis de todo el proceso, destacando sobre manera tres aspectos del mismo: calidad del producto, impactos ambientales tanto del proceso como de los productos y beneficio económico del proceso de reciclaje. Se han descrito y comparado dos instalaciones para el reciclaje capaces de llevar adelante el proceso: planta fija y planta móvil.

Los resultados de este estudio muestran que esta actividad del reciclaje podría llevarse a cabo en la provincia de Estocolmo. En base a algunas leyes medioambientales que deberían entrar en acción en 1996 y, sobre todo, a medidas técnicas incluídas en el diseño del proceso, su seguridad medioambiental no debería ser un problema. Muchas pruebas para analizar la calidad del producto final (CBR, Valor de Compresión Estática, Sulfato 'Soundness', Abrasión Los Angeles entre otros) demostraron que los áridos reciclados cumplen las exigencias de calidad estándar tanto como los áridos vírgenes. Por último, se ha hecho un análisis económico para conocer si el proceso es o no factible. Se han hecho dos estudios paralelos: uno para la planta fija y otro para la móvil.

Con algunas distinciones, y teniendo en cuenta que hoy día no hay ninguna ayuda pública en Suecia para esta actividad de reciclaje, las conclusiones para ambos tipos de instalaciones prevén un brillante futuro para el reciclaje de materiales de construcción y demolición en la provincia de Estocolmo.

1.3 Reciclaje de Materiales de Construcción y Demolición. Aspectos Generales

La mayor parte de los residuos (MCD) que se generan, proceden de procesos de demolición (y, en menor medida, de procesos de construcción y reconstrucción) de distintos tipos de estructuras.

La composición típica de estos residuos consiste en hormigón, asfalto, tierra, mampostería, etc. Es normalmente esta última la que copa la mayoría de este tipo de residuos.

Descripción de materiales reciclables. Origen

- Hormigón: compuesto por 80% áridos, 10-15% cemento y 5-10% agua y aditivos. Se encuentra presente en la mayoría de las construcciones.
- Asfalto: mezcla de 95% de áridos y 5% de asfalto bituminoso. Procede de carreteras, aparcamientos, etc.
- Mampostería: ladrillos, tejas, mármol, granitos, etc. Muy abundante en viviendas.

Materiales vírgenes en la construcción de carreteras

En este Proyecto, se analizará el uso de áridos minerales (tanto vírgenes como reciclados) en la construcción de carreteras.

El perfil tipo de una carretera consta de las siguientes capas: superficial, base, sub-base y sub-grado.

El suelo sobre el que se asiente la carretera así como el uso que esta tenga, son también de suma importancia para la elección de los áridos minerales más adecuados.

Materiales reciclados en la construcción de carreteras

Los materiales reciclados más adecuados y utilizados en las distintas capas del perfil de una carretera son: asfalto 0-16 mm (superficial), hormigón 0-40 mm (base), mampostería 40-120 mm (sub-base) y arena (sub-grado).

Según algunos fabricantes de hormigón, el uso del hormigón reciclado podría crecer en el futuro ya que puede sustituir en muchas aplicaciones al hormigón vírgen.

La mayoría de los residuos del asfalto se generan cuando se vuelven a asfaltar superficies ya asfaltadas. En general, el asfalto virgen es de más calidad que el reciclado ya que no ha sido sometido a esfuerzos que desgastan, algo que sí ocurre con el reciclado.

Otros usos de los materiales reciclados

Los materiales reciclados pueden también destinarse a otros usos distintos de la construcción de carreteras: fabricación de hormigón, obras de relleno, etc. En estos casos el comportamiento final de la estructura es prácticamente igual que en el caso de áridos vírgenes en lo que respecta a la manejabilidad o a la dureza. Un aspecto negativo es la mayor capacidad de absorción de los áridos minerales frente a los vírgenes.

Productos secundarios

En el proceso del reciclaje de los escombros, se generan productos no minerales que formaban parte de los residuos originales: acero, madera, papel, plástico, yeso, etc. El uso que se puede hacer de ellos varía de unos a otros: mientras el acero puede venderse a acerías, la madera puede venderse para incineración, papel y plásticos para su reciclaje, etc.

1.4 Descripción del Proceso en una Planta de Reciclaje

En este capítulo se analizarán y compararán una planta fija y otra móvil.

Descripción general tanto sobre las características que debe tener el lugar elegido para situar la planta como sobre los distintos procesos tipo que tienen lugar en ellas, según el tipo de planta.

Situación

Factores importantes a tener en cuenta son: existencia de infraestructuras en el entorno de la planta, pertenencia a un polígono industrial y cercanía a la ciudad, origen principal de los escombros con lo que los costes de transporte serían los mínimos. Debe tener el espacio suficiente que le asegure la disponibilidad de escombros como para funcionar sin interrupciones por falta de material.

Proceso

Por lo general consiste en: recepción y pesada de escombros en la planta, almacenamiento según tipo material, rotura de piezas mayores de las que permiten los molinos en su entrada, separación de finos mediante tamices vibratorios, triturado en molino de mandíbula (molino primario), eliminación de piezas metálicas, triturado en molino de impacto (secundario),

recirculación de áridos al molino secundario hasta conseguirse especificaciones, control polvo generado en operación.

Plantas de primera generación

Carecen de tecnología para la separación de materia extraña, no mineral, que está mezclada con los escombros. Pueden tener o no recirculación. Si se tiene, se ajusta más el tamaño de partícula; si no se tiene, la capacidad es mayor.

Plantas de segunda generación

Disponen de la tecnología y mano de obra necesaria para la separación de una fracción de la materia no mineral asociada a los escombros.

Plantas de tercera generación

No admiten la entrada de materia extraña junto con los escombros.

Plantas móviles. Descripción

Vehículos que trasladan uno o dos molinos para proceder al reciclaje de escombros. Tienen menos capacidad que las plantas fijas. La calidad del producto reciclado aquí es peor que en la planta fija a no ser que se disponga de maquinaria adicional (pretrituradores, separadores de materia extraña). El coste de la tonelada de producto final está en función de la cantidad total de escombros tratada.

Empleados

Mientras en plantas móviles pueden bastar uno o dos, en las fijas puede haber en torno a diez (peso, pretriturado, separación manual, mantenimiento, laboratorio, conductores).

Consumo energético

Mayor en las plantas fijas debido tanto al procesamiento de una mayor cantidad de escombros como a la disponibilidad de más herramientas en su proceso. Sin embargo, es el proceso de la trituración el que más energía consume. La elección del tipo de molino será, pues, de gran importancia para ajustar costes.

Costes de inversión

Mayores en las plantas fijas que en las móviles. Valores típicos son, respectivamente, 340 MM ptas y 70 MM ptas (datos del año 1989).

Impacto medioambiental

Ruido

Mayor en las plantas fijas que en las móviles, a pesar de que el proceso de triturado es la principal fuente de ruido. Medidas para mantener el nivel de ruido bajo control son: instalación de motores generadores diesel con amortiguadores de ruido así como instalar paneles absorbentes alrededor de los generadores.

Polvo

Mayor en las plantas fijas que en las móviles. Se trata de uno de los mayores problemas de este tipo de plantas. Medidas preventivas son el rociado con agua en distintos puntos del proceso así como en las pilas de producto almacenado.

Otros problemas medioambientales

Menor importancia tienen problemas como: vibraciones y contaminaciones químicas al subsuelo.

Tecnologías para la separación

Se describen los procesos más generales para la limpieza de escombros de materia extraña.

Eliminación de acero del hormigón armado

Muy común. Se realiza tanto en el pretriturado (trozos más grandes) como en distintos puntos del proceso (separadores magnéticos). El acero recuperado puede ser vendido en función de su calidad.

Eliminación de otros materiales extraños

Materiales como papel, plásticos, madera y yeso se separan por inspección visual y manual. Pueden usarse también tamices.

A continuación se describen las operaciones más usuales para separar materiales extraños de los escombros.

- Tamizado: separa en función de formas y tamaños.
- Separación manual: imprescindible para material no ferroso.
- Separación magnética: muy común, también en plantas móviles.
- Separación seca: con aparatos de succión o tamizados con aire.
- Separación húmeda: métodos de flotación-hundimiento o aquamator.

Maquinaria

Los tres tipos de molinos existentes pueden usarse tanto en plantas fijas como móviles.

- Molino de mandíbula: ideales para primera etapa de trituración (baja producción de finos).
- Molino de cono o giratorio: ideal para etapa secundaria, producen cantidades medias de finos así como material bien cubicado.
- Molino de impacto: produce material relativamente duro así como muchos finos; sufre un gran desgaste mecánico y pueden emplearse en etapa única o secundaria.

Otro tipo de maquinaria empleado lo forman: alimentadores, tamices, palas de carga y descarga, martillos hidráulicos, tractores, cintas transportadoras, etc.

El proceso de triturado

Muy similar en los casos de material virgen o reciclable. La principal diferencia estriba en los procesos de separación de materiales extraños (no minerales). La calidad final de los áridos reciclados (medida por diferentes tipos de análisis) vendrá determinada por la configuración que se elija para el proceso de triturado (una, dos o tres etapas, orden de los molinos, tipos de molinos elegidos). La relación típica entre material grueso y finos es 75-25. En general, los áridos gruesos son más valiosos que los finos.

Trituración de asfalto en ambientes calurosos: problemática por propiedades del asfalto (viscosidad) que dificultan su trituración. Se emplean molinos de impacto específicamente diseñados para estas ocasiones.

Triturado de áridos del asfalto: se trata de evitar triturar más los áridos unidos al asfalto. Para conseguirlo suelen emplearse molinos de mandíbula.

Capacidad

Muy variable en función de múltiples factores tales como tipo del material, tamaño de partículas, método de alimentación, humedad y contenido en arcillas, densidad de bulbo, etc. Valores típicos son 250 ton/h y 100 ton/h respectivamente para plantas fijas y móviles.

Almacenamiento de materiales

- Superficie: valores típicos para una planta fija son 1-3 ha.
- Recepción materiales: es importante que estén ordenados en pilas según calidades.
- Productos reciclados: también deben ordenarse por tipos de productos, deben rociarse periódicamente para evitar fracturas y mantener el grado de humedad preciso.

Palabras clave

Reciclaje, árido, edificio, MCD, materias primas, tasa por vertido, vertedero, construcción de carreteras, trituradora, planta fija, planta móvil, costes de transporte, hormigón, asfalto, mampostería.

1.5 Aspectos Medioambientales de una Situación de Ausencia de-Reciclaje

1.5.1 Extinción de Materias Primas

Uno de los problemas que surgen de una situación en la que no se produce el reciclaje de los materiales es la potencial extinción de aquellas materias primas necesarias para distintas actividades, entre las cuales, la construcción de carreteras es una de ellas.

En Suecia, la cantidad estimada de materias primas producidas ronda los 80 millones de toneladas al año. Los principales tipos de estos materiales se muestran en la Figura 1.1 (Sveriges Geologiska Undersökning, 1994).

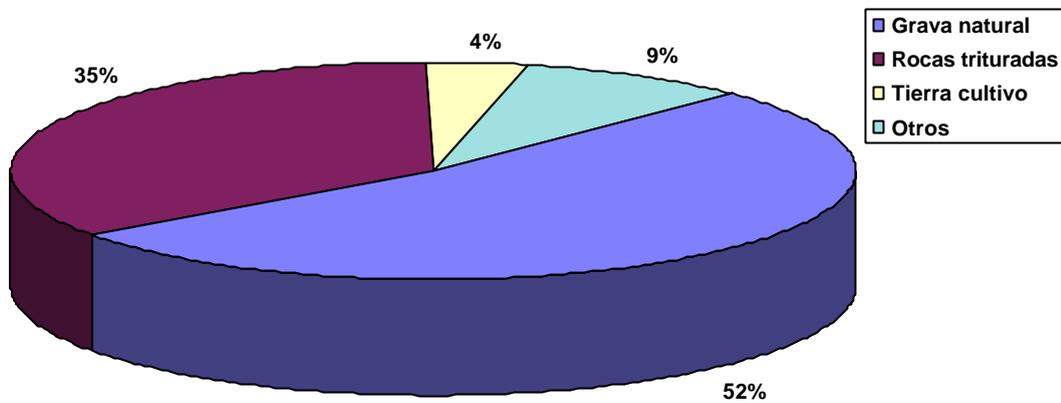


Figura 1.1. La producción de áridos en 1994 en Suecia distribuidos como porcentajes sobre tipos de materiales.

Comparando estos datos con la cifra de 2 millones de ton/año de material reciclable producido en el país (Nordberg AB, 1995), puede entenderse fácilmente que, al menos en el momento actual, los productos reciclados no son considerados necesarios, ya que la cantidad existente de materias primas es lo suficientemente grande como para abastecer la demanda del mercado. Neville (1973) estima la producción de MCD en 2-5 millones ton/año en Suecia. Para él, la tendencia en la trituración de hormigón en Europa será la que se indica en la Tabla 1.1 debajo (en millones ton/año).

Año	50 años de vida media	50 años de vida media, sin embargo, un 20% tiene 30 y un 30%, 70 años
1990	210	220
2000	220	310
2010	460	470
2020	800	680

Tabla 1.1. Millones de toneladas de hormigón previstas para ser demolidas en Europa.

Resumiendo, las materias primas usadas sin ningún control, podrían desaparecer en el futuro en algunas partes del mundo. Este no parece ser el caso de Suecia, país que cuenta con una gran cantidad de ellas. Además, la calidad de sus materias primas es muy alta y resultan ser muy baratas. Estas dos características han influido también en la ausencia de reciclaje de MCD en Suecia, hasta ahora.

1.5.2 Vertido de Materiales de Construcción y Demolición

En una situación de ausencia de reciclaje, los MCD simplemente son echados en vertederos. Cuando se lleva a cabo un proceso de demolición, se genera un gran volumen de materiales, tanto minerales como productos secundarios. Tres son los aspectos que deben ser mencionados con respecto a esta vía de eliminación de los materiales:

Daño al medio ambiente

El vertido de MCD siempre afecta al medio ambiente, de alguna manera. Los MCD pueden incluir una pequeña, pero en algunos casos significativa, proporción de elementos potencialmente dañinos como metales pesados, sulfatos, sulfuros, nitratos, cloruros, etc.

Debe prestarse, por tanto, atención a la disminución de la probabilidad de lixiviación de estos elementos. Una de las posibles soluciones a este problema es la estabilización, por medio de cemento, de los MCD (Goumans, J.J. J. M. (ed.). 1994).

También puede darse la posibilidad de reacciones químicas ácidas con el hormigón.

Falta de vertederos

Este aspecto está muy ligado con el anterior. En Dinamarca, uno de los países líderes en el campo del reciclaje de MCD (en 1993, 1,8 millones de toneladas de MCD fueron recicladas, representando un porcentaje de reciclaje del 80%, (Juul. 1995)), fue este problema (la falta de vertederos) el que más contribuyó al desarrollo del sector (la ciudad de Copenhague no disponía de más vertederos). Algo similar podría decirse de los Países Bajos (otro de los países punteros en este sector en Europa).

A pesar de que Suecia es un país escasamente habitado y de que la disponibilidad de superficie es grande, la situación dentro de la Región de Estocolmo es justo la contraria: como cualquier otra gran ciudad europea, Estocolmo se está quedando sin lugares disponibles para albergar vertederos. Este hecho se está convirtiendo en un problema de relevancia política (Jansson. 1995).

Pérdida de uso potencial

Aunque este aspecto es normalmente menos conocido y considerado que los otros dos, es de una gran importancia en cuanto al reciclaje y una manera de pensar basada en el ahorro energético. Mientras que el valor dado a aquellos materiales que son vertidos es nulo, es decir, no son útiles, mediante su reciclaje adquieren valor por sí mismos. Que el Planeta necesita que se ahorre energía para poder disponer de la necesaria para abastecer a toda la población que vive en la Tierra, es una aseveración ampliamente aceptada. La producción de materiales de construcción como el hormigón, asfalto, ladrillos, etc. requiere energía. Es fácil de entender que cuanto mayor sea el tiempo en el que esos materiales pueden ser usados, menores serán las necesidades de fabricación de nuevos materiales de construcción, o lo que es lo mismo, mayor será el ahorro energético. Arrojando materiales a un vertedero, se impide que puedan ser usados de nuevo por lo que se tendrán que fabricar nuevos materiales. Pero hoy día la tecnología hace posible el dar una vida más larga a estos materiales, considerados inservibles hasta ahora.

En la Región de Estocolmo, los MCD son arrojados a vertederos. El organismo encargado de conceder los permisos para tal actividad en Suecia, es el Gobierno Regional.

1.6 Implicaciones Económicas de una Situación de Ausencia de Reciclaje

Sin lugar a dudas, una situación de ausencia de reciclaje (como la actual en Suecia) tiene evidentes connotaciones económicas que afectan, tanto a los empresarios como también a la sociedad.

A continuación, se describen algunas de éstas:

Empresarios

Aquellos que llevan a cabo la producción de áridos naturales, seguirán teniendo beneficios mientras duren los recursos naturales con la suficiente calidad.

Para las empresas de demolición, una situación de ausencia de reciclaje implica costes debido al transporte del material demolido a los vertederos. Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente sobre la carencia de vertederos en la Región de Estocolmo, al menos cercanos a la capital, es lógico pensar que los costes derivados del transporte de MCD crecerán en el futuro debido a unas mayores distancias entre los lugares de demolición y los de vertido.

En algunos países europeos, como se explicará más adelante, la empresa de demolición tiene que pagar una tasa por arrojar MCD en vertederos. En Suecia, este coste es considerablemente menor (en torno a 200 pta/ton vertida). Por tanto, a pesar de ser un coste añadido para las empresas de demolición, éste no es todavía demasiado alto.

Además de esta tasa, puede haber también un impuesto por vertido. Éste penaliza el vertido de materiales en la naturaleza. Se aplica en la mayoría de países donde el reciclaje de MCD es una práctica habitual (Dinamarca, Alemania). Este no es el caso de Suecia.

Como se explicará más adelante, la existencia de tasas por vertido de gran importancia cuando se trata de analizar la viabilidad económica de una planta de reciclaje.

Sociedad

La extracción continua de materias primas en Suecia podría llevar a su escasez a largo plazo. Esto es algo que no ocurrirá pronto debido a su abundancia a lo largo del país. Pero, indudablemente, si la extracción de recursos naturales no se detiene, podría ocurrir que, o bien no haya suficiente cantidad de ellos para las futuras generaciones, o bien que incluso en el caso de que haya suficientes para abastecer la demanda, su calidad no sea la requerida por dicha demanda. En este caso, las implicaciones económicas hacen referencia a la posibilidad de tener que importar materias primas.

1.7 Conclusión: La Necesidad del Reciclaje

El reciclaje podría ser la llave para solucionar o disminuir muchos de los problemas que se dan en una situación de ausencia de reciclaje. A continuación se describen algunas ideas relacionadas con este asunto.

Los costes del transporte para las empresas de demolición se evitarían si, por ejemplo, una trituradora móvil reciclara todo el material en el lugar de demolición. De esta manera, los costes del transporte para estas empresas serían nulos. Además, dependiendo del lugar elegido para instalar la planta fija, podría ocurrir que la distancia entre el lugar de demolición y dicha planta fuera menor que la existente entre dicho lugar y los vertederos. Este podría ser el caso de la Región de Estocolmo, debido a la práctica ausencia de vertederos cercanos a la ciudad. Es razonable pensar que nuevos y adecuados vertederos sólo podrían encontrarse lejos de la ciudad que es donde se encontrarán la mayoría de lugares de demolición.

Considerando que los costes del transporte para materiales de construcción están creciendo, el reciclaje se convertirá en una atractiva actividad en muchos lugares (Yrjanson. 1989).

Desde un punto de vista medioambiental, el vertido se está convirtiendo en una opción menos atractiva y más costosa. Esto es particularmente cierto en zonas urbanas. El cómo tratar las masivas cantidades (ver Tabla 1.1) de desechos de hormigón generados en estas zonas, es un problema de difícil solución (Yrjanson. 1989).

En cuanto a las tasas sobre vertidos, puede decirse que una empresa de demolición preferirá, en principio, entregar su material a una planta de reciclaje en vez de verterlo siempre y cuando las tasas de recepción del material sean más bajas que las de vertido. Por tanto, la relación tasas de recepción/vertido determinará, en la mayoría de los casos, las probabilidades del reciclaje.

Existe una necesidad de materiales de construcción de alta calidad, tales como áridos, que proporcionen tanto las estructuras como los mecanismos de transporte necesarios para una sociedad en expansión. Como se dijo antes, a largo plazo podría ocurrir que los materiales se encontraran tan distantes de los mercados que no fuera rentable para los empresarios el explotarlos para obtener de ellos beneficios produciendo áridos. Hay una necesidad de desarrollar fuentes alternativas de áridos en aquellas zonas donde se encuentren en vías de extinción. Los materiales reciclables existentes (hormigón, asfalto, mampostería) representan una provisión de áridos perfectamente disponible que pueden ser reciclados para distintos usos.

A pesar de que la viabilidad económica del reciclaje será analizada más adelante en este trabajo, puede adelantarse que incluso esta cuestión (viabilidad económica) ha sido lograda por aquellos países que lideran el campo del reciclaje de estos materiales en el contexto europeo (así como en Japón y E.E.U.U.), principalmente los Países Bajos, Dinamarca y Alemania.

Resumiendo, la disminución de costes debida a los proyectos de reciclaje procede fundamentalmente de:

- Eliminación de tasas por vertido
- Ahorro en la compra de áridos naturales para la construcción de carreteras
- Ahorro en combustible (costes de transporte)

1.8 Alcance

El propósito de este trabajo ha sido analizar la viabilidad de operar una planta de reciclaje en la Región de Estocolmo. Dos grandes tipos de instalaciones han sido descritas, comparadas y su viabilidad analizada: plantas fija y móvil.

En el análisis se han considerado tres aspectos: la calidad exigible a los áridos reciclados, requerimientos ambientales que han de cumplirse en el proceso y viabilidad económica de la planta.

La viabilidad de ambos tipos de plantas ha sido examinada desde esos tres puntos de vista. Las conclusiones basadas en los resultados obtenidos tratan de explicar algunos puntos esenciales de este asunto.

Basada en estas conclusiones, se hace una recomendación final referida a la elección de la mejor de las posibles alternativas entre dichos dos tipos de instalaciones de reciclaje.

1.9 Terminología

– A –

Árido basto: partícula mayor de 8 mm por su lado más estrecho.

Áridos reciclados: áridos obtenidos triturando MCD. Algunos ejemplos son: hormigón, asfalto y mampostería.

Áridos vírgenes: áridos hechos de materias primas.

– C –

Contaminantes: partículas incrustadas en los materiales de construcción y demolición, que podrían disminuir la calidad de los áridos reciclados si no fuera posible eliminarlos. Si pudieran ser

aprovechados para algún uso, se denominarían productos secundarios.

– F –

Finos: materiales que, tras haber sido triturados, tienen un tamaño menor de 8 mm.

– M –

Materiales de construcción y demolición (MCD):

materiales generados en los procesos de construcción y demolición de edificios, puentes, carreteras, etc.

Materiales de demolición: materiales generados en los procesos de demolición de edificios, puentes, carreteras, etc.

Materiales reciclables: materiales con la capacidad de ser triturados y reciclados, como los MCD.

Materiales reciclados: materiales que han sido triturados (entre otros procesos) para ser usados en nuevas aplicaciones. Algunos ejemplos son: hormigón reciclado, asfalto reciclado, mampostería (sobre todo, ladrillos), yeso reciclado, papel reciclado, etc.

Materias primas: toda clase de material obtenido directamente de la naturaleza por cualquier medio (cargas explosivas, excavaciones, etc.). Entre estos materiales, los de mayor interés en el campo de la construcción de carreteras son arena, grava y rocas.

– P –

Proceso de reciclaje: proceso en el que los materiales reciclables son convertidos en áridos reciclados.

Productos secundarios: materiales que surgen del proceso de reciclaje y que no pueden ser usados ni reciclados para la construcción de carreteras. Pueden ser vendidos para su incineración (madera, plásticos, papel de baja calidad), su reutilización (acero), etc.

– U –

Unidad de triturado: maquinaria que lleva a cabo el proceso de triturado, desde la tolva de alimentación hasta la cinta transportadora previa al almacenaje del producto final.

2. Memoria Descriptiva

2.1 Métodos

Para alcanzar el objetivo de este Proyecto Fin de Carrera, se han aplicado los siguientes métodos:

Recopilación de información

- Revisión bibliográfica
- Entrevistas con Autoridades Locales, gente de la industria, profesores
- Viaje de estudio visitando distintas plantas durante algunos días, tanto en Suecia como en Dinamarca

Estructura del trabajo

- Análisis de calidad
- Análisis ambiental
- Análisis económico

Proceso de diseño: plantas fija y móvil

- Diseño técnico
- Análisis
 - Calidad
 - Ambiental
 - Análisis económico
- Proceso iterativo: escenarios

2.2 Reciclaje de Materiales de Construcción y Demolición. Aspectos Generales

Los procesos de demolición representan la mayor parte de la generación de materiales reciclables (los procesos de construcción y reconstrucción completan el resto). Los procesos de excavación también generan materiales reciclables (rocas barrenadas), pero no serán considerados en este trabajo. Los edificios son las principales estructuras demolidas, aunque el proceso de reciclaje no se restringe a ellos: naves industriales, puentes, carreteras, etc. podrían también ser demolidos. Entre los materiales más comunes que aparecerán tras la demolición están: hormigón, asfalto, tierra, mampostería (ladrillos, mármol, etc.), etc.

Por ver un ejemplo, la composición media de materiales de demolición de edificios en los Países Bajos es la que aparece en la Tabla 2.1 debajo:

Material	Porcentaje sobre el total
Ladrillos	62%
Hormigón	24%
Piedras	6,1%
Tejas	2,3%
Material Bituminoso	0,2%
Madera	4,7%
Acero	0,1%
Otros	0,6%

Tabla 2.1. Porcentaje de distintos materiales de demolición en los Países Bajos (Kreijger. 1981).

En Europa, un porcentaje típico de distribución de las principales fracciones de material de demolición se muestra en la Figura 2.1 debajo:

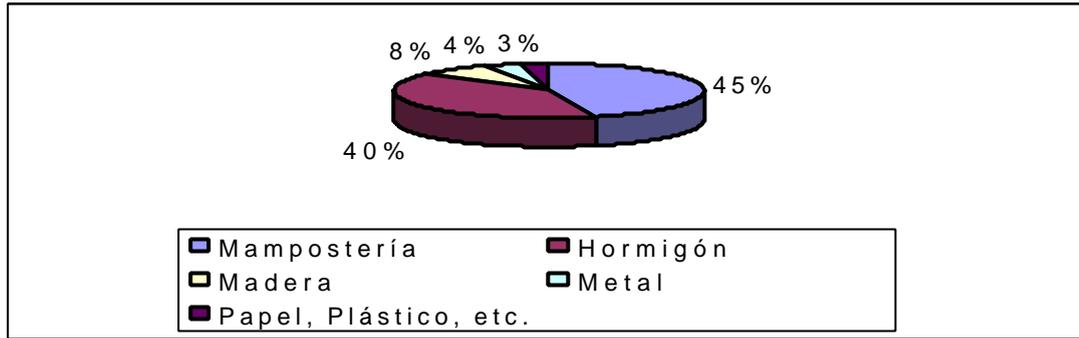


Figura 2.1. Distribución media de materiales de demolición en Europa (Lauritzen. 1993)

En Suecia, los datos sobre materiales de construcción, reconstrucción y demolición de edificios, se encuentran disponibles por separado. Ver Figura 2.2.

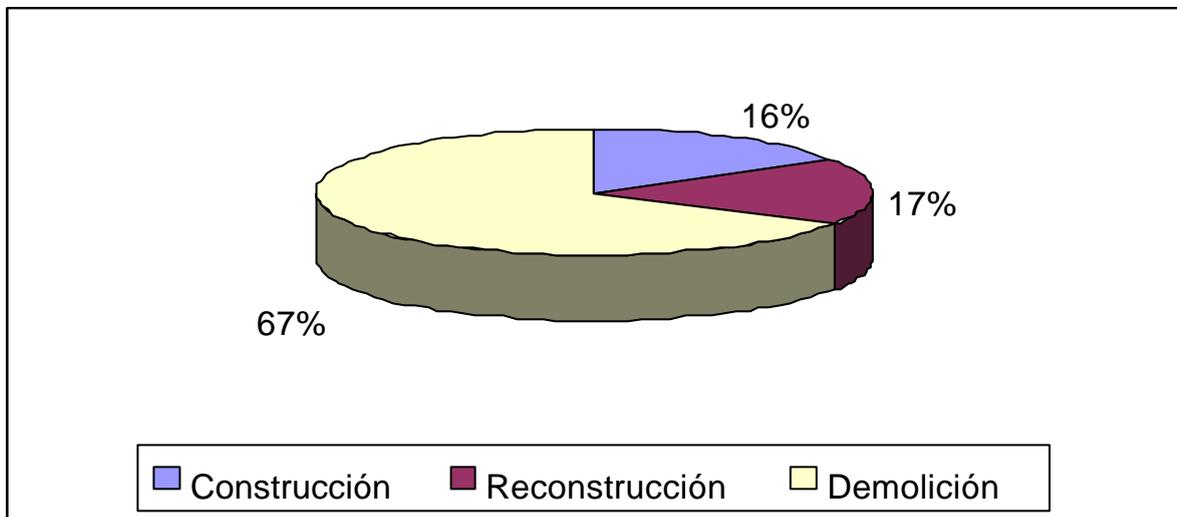


Figura 2.2. Porcentaje de material mineral generado en Suecia (Sigfrid.1994).

2.2.1 Descripción de los Materiales Reciclables. Origen

Hormigón

El hormigón es uno de los materiales más comúnmente usados en obras de ingeniería. Los desperdicios (sobrantes) de hormigón son generados por una gran cantidad de actividades tales como construcción y reparación de puentes, relleno de cimientos de edificios, construcción o reparación de aceras y creación de soportes estructurales para edificios comerciales e industriales. La generación de desperdicios de hormigón depende de la proliferación en la construcción de edificios así como de la disponibilidad de fondos para las mejoras de carreteras y puentes (Neville. 1973).

El hormigón se usa habitualmente con refuerzo metálico; en este caso, se llama hormigón armado y consiste, habitualmente, en un bloque de hormigón con, bien una barra, bien una malla metálicos dentro de él. El hormigón está fabricado con (los porcentajes son en peso):

- Áridos (80%): grava, rocas trituradas
- Cemento (10-15%): piedra caliza, escoria, cenizas volantes
- Agua y aditivos (5-10%)

Un tipo de hormigón muy conocido y usado es el llamado hormigón de cemento Portland. Este es el cemento típicamente usado en Suecia. El cemento Portland se elabora calentando una mezcla de arcilla finamente dividida y piedra caliza dura en un horno hasta que el dióxido de carbono ha sido eliminado. Este cemento se obtiene mediante una íntima mezcla de materiales calcáreos y otros materiales que soportan la sílice, alúmina y los óxidos de hierro, quemándolos a la temperatura de calcinación y triturando la escoria de hulla resultante. Ningún otro material distinto de yeso y agua podrán añadirse tras el quemado (Neville. 1973).

Asfalto

Según el material de deshecho de que se trate, el asfalto puede representar una gran proporción en los MCD. El asfalto es un material aceitoso usado en pavimentos, ripios para tejados (y, a veces, apartaderos), juntas protectoras para cimientos y algunos tipos de tejas para suelos.

La mayoría del asfalto usado en construcciones y demoliciones es el empleado en asfaltar (o reasfaltar) carreteras, autopistas y solares para aparcamientos. A pesar de que el material para asfaltado contiene teóricamente un 95% de áridos y sólo un 5% de betún asfáltico, es conocido comúnmente con el nombre de asfalto (Donovan. 1991).

Mampostería

Se consideran incluidos en ella los siguientes materiales: ladrillos, tejas, mármol y escombros en general. Es, junto con el hormigón y el asfalto, el material más abundante en los trabajos de construcción y demolición.

Se obtiene de las estructuras de los edificios, cuando son demolidos.

2.2.2 Materiales Vírgenes en la Construcción de Carreteras

Los áridos vírgenes se usan en una gran variedad de actividades, siendo la construcción de carreteras la más importante (ver Figura 2.3) con 4.851.782 ton/año en la Región de Estocolmo (Jansson. 1995).

El uso de áridos en la construcción de carreteras se describirá en este trabajo, mientras que sólo se mencionarán otros de sus usos.

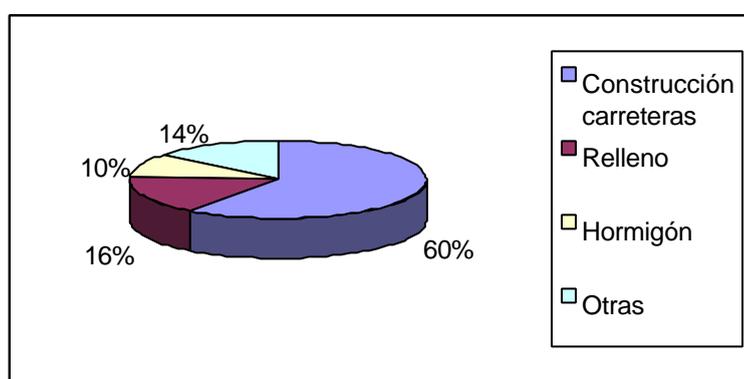


Figura 2.3. La producción total en 1994 distribuida en porcentajes sobre áreas de consumo (Sveriges Geologiska Undersökning. 1994).

Construcción de carreteras en Suecia. Descripción.

Las cuatro capas que pueden distinguirse al analizar el perfil de una carretera en Suecia son: capa gruesa de desgaste, capas base y sub-base y sub-grado. A continuación se da una breve descripción de las mismas:

Capa gruesa de desgaste

Se trata de la capa superior del perfil de la carretera, sobre la que discurre el tráfico rodado. Es la capa que tiene que soportar el mayor desgaste. Está formada por betún asfáltico actuando como aglomerante, así como por áridos. Cuanto mayor sea la adhesión del betún asfáltico a la superficie del árido, y mayor la fricción interna de la matriz de árido, mayor será la fuerza de la mezcla y la resistencia a la deformación. Tanto la adhesión como la fricción interna están grandemente influenciadas por la textura superficial de las partículas de árido. En el sistema árido-betún asfáltico, la interacción entre el betún asfáltico aglomerante y la

superficie del árido, juega un papel primordial en el comportamiento global de la mezcla (Meininger. 1992).

Tanto los áridos gruesos como los finos, pueden ser usados para aglomerarse mediante el betún asfáltico

Capa base

Se encuentra justo bajo la capa gruesa de desgaste. Está formada por arena y grava o rocas trituradas de tamaño 0/40 mm.

Una descripción más técnica y detallada se puede encontrar en Väg 94 (Swedish National Road Administration. 1994).

Capa sub-base

Se encuentra bajo la capa base. Sus requerimientos de calidad son más débiles que los de la capa base por el hecho de tener que soportar una menor presión. También está formada por arena y grava (tamaño 0/120 mm).

Como para la capa base, una descripción más detallada de esta capa se encuentra en Väg 94 (Swedish National Road Administration. 1994).

Sub-grado

Se le conoce también con el nombre de capa de protección. Está formada por material de relleno y tiene sentido cuando se requiere para evitar huecos entre el nivel superficial del terreno y el de la carretera.

Descripción del suelo

Las diferencias entre tipos de suelos bajo la carretera implican distintas propiedades mecánicas como absorción de agua y fuerza del suelo. Aquellos suelos en los que se pueda dar con facilidad un ascenso capilar del agua, necesitarán una capa sub-base más ancha porque los áridos del hormigón triturado absorberán parte de ese agua, debilitándose debido a ello. Por el contrario, aquellos suelos ricos en cantos rodados, necesitarán una capa sub-base más fina porque no es de esperar que haya problemas debidos a la absorción del agua.

Los distintos tipos de suelos considerados por la Administración Nacional de Carreteras Sueca en su descripción de las construcciones de carreteras son (Swedish National Road Administration. 1994):

1. Rocas duras como granito, gneis, etc. (comunes en la Región de Estocolmo)
2. Suelos ricos en cantos rodados o piedras con bajo contenido orgánico ($\leq 2\%$)
3. Rocas blandas como pizarra, piedra caliza, etc. así como suelos mezclados con bajo contenido orgánico
4. Suelos más finos: arcilla $> 40\%$, o finos ($< 0,06 \text{ mm}$) $\leq 30\%$; en ambos casos, con bajo contenido orgánico
5. Materia orgánica fina $\leq 6\%$
6. Otros

A continuación se muestran un par de figuras mostrando algunos de los perfiles de carreteras en Suecia (Figuras 2.4 y 2.5), referidos a los seis distintos tipos de materiales descritos arriba.

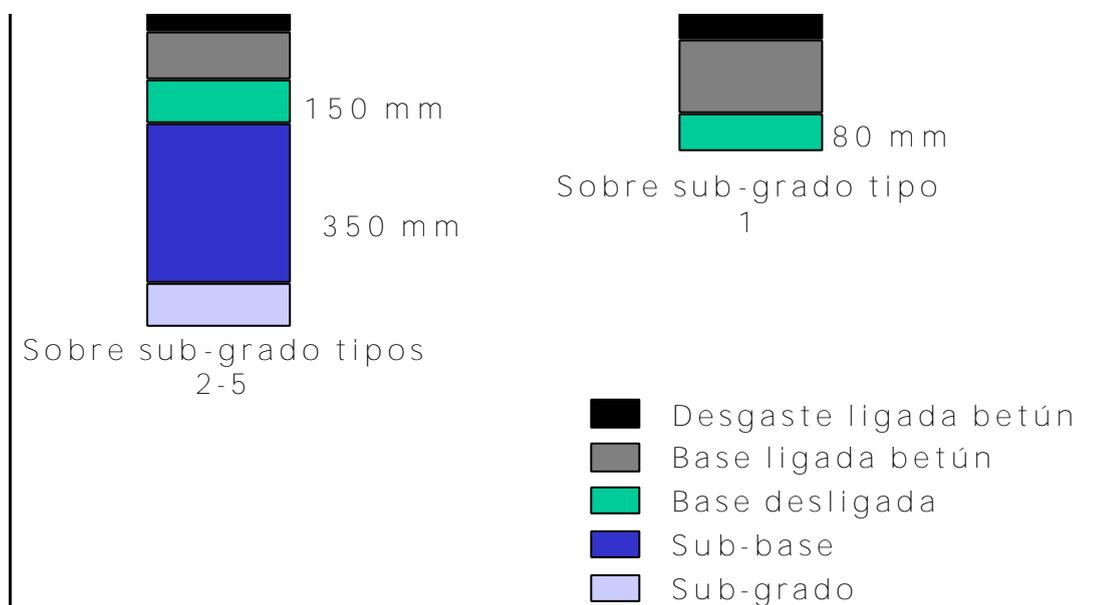


Figura 2.4. Construcción de una carretera bituminosa de grava con material no triturado en la capa sub-base.

Las anchuras de las capas variarán dependiendo de la densidad del tráfico que la carretera ha de soportar. Esto puede verse en Väg 94 (Swedish National Road Administration. 1994).

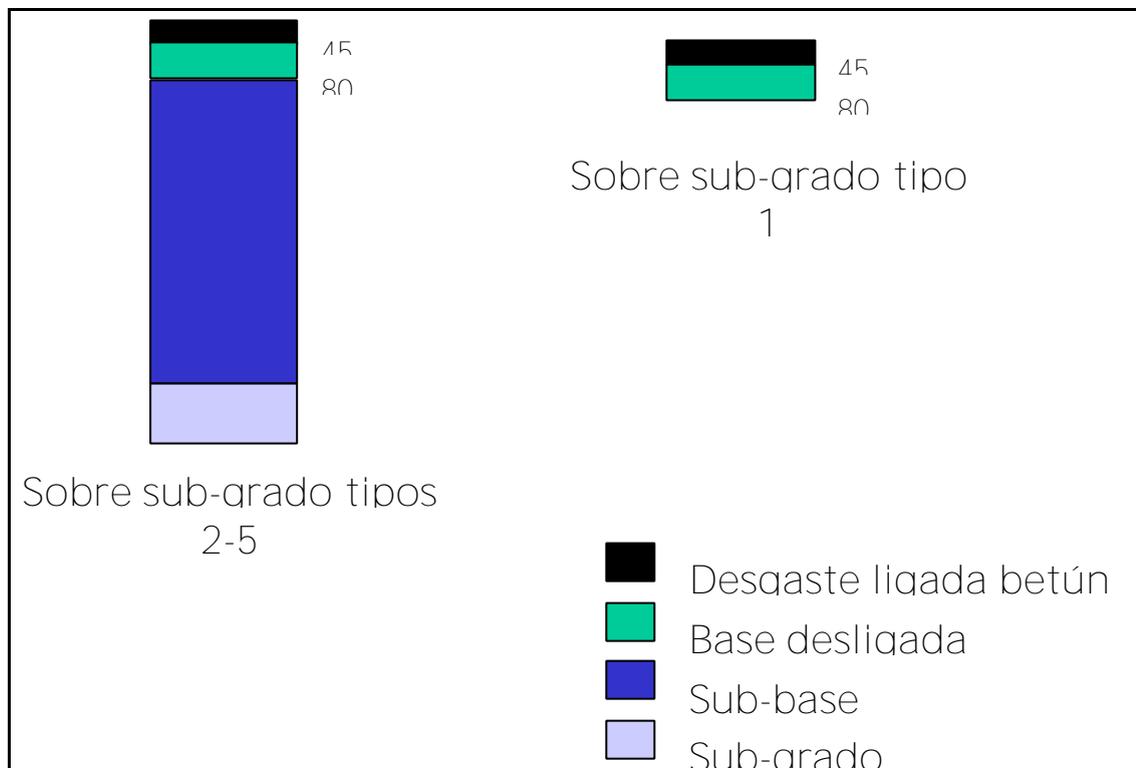


Figura 2.5. Construcción del pavimento de una carretera para bicicletas y peatones.

2.2.3 Materiales Reciclados en la Construcción de Carreteras

Bajo este título se describirá el uso de áridos reciclados como material sin ligar en las capas base y sub-base. En estas capas, el volumen de áridos reciclados utilizados es considerablemente mayor. Además, se harán comentarios acerca de su utilización en la capa gruesa de desgaste.

Los tres principales áridos reciclados que se usan en la construcción de carreteras son el hormigón, el asfalto y la mampostería. Hay mezclas de ellos, como hormigón/asfalto, hormigón/mampostería y asfalto/mampostería. Las fracciones generalmente utilizadas son las menores de 40 mm. A continuación se describe cómo los áridos reciclados se utilizan en el perfil de la carretera:

Capa gruesa de desgaste

En esta capa, los áridos tienen unas especificaciones de calidad mayores y específicas que los usados en las otras capas. La razón de esto es que esta es la capa que soporta una mayor carga así como un mayor desgaste debido al contacto directo con el tráfico. El asfalto reciclado (de tamaño) 0/16 tiene calidad suficiente para ser usado directamente como árido para esta capa.

Capa base

El hormigón reciclado 0/40 es el normalmente usado aquí. El asfalto reciclado 0/40 es, así mismo, utilizado como árido para la capa base. Comparando el asfalto reciclado 0/40 con el hormigón reciclado 0/40, hay que decir que el primero es mucho más débil que el segundo (ante una presión determinada, tiene una deformación mayor que en el caso del hormigón).

Las mezclas de áridos reciclados hormigón/asfalto 0/40 así como mampostería/hormigón/asfalto, también pueden utilizarse en esta capa.

Capa sub-base

La mampostería triturada puede usarse para la construcción de esta capa debido a su menor capacidad para resistir altas presiones. Los tamaños de los áridos para esta capa pueden ser mayores de 40 mm. Mampostería, mezcla hormigón/mampostería y mezcla asfalto/mampostería recicladas, en tamaños de hasta 120 mm pueden ser utilizados en la capa sub-base. Esas dos mezclas son de una calidad mucho menor (la misma carga provoca una mayor deformación) que la mezcla hormigón/asfalto. Esta menor calidad las hace adecuadas para ser usadas en aplicaciones con menores especificaciones referentes a resistencia a la presión.

El asfalto no se usará aquí debido a su tamaño relativamente pequeño.

Sub-grado

Los áridos finos constituyen un buen relleno para las correcciones del nivel del sub-grado.

Otra manera de utilizar aquellos áridos sin la suficiente calidad para ser parte de la capa gruesa de desgaste, es incluirlos en aquellas construcciones de carreteras con menores especificaciones: carriles-bici y carreteras secundarias. En ellos, estos áridos pueden formar

parte de la capa base sin que esto implique ningún riesgo relativo a la seguridad de la construcción.

La Tabla 2.2 especifica la misma idea:

Ejemplo de proyecto	Áridos reciclados
Carriles-bici	Hormigón/ladrillos triturados
Pavimentos	Hormigón/ladrillos triturados
Carreteras campestres	Hormigón/ladrillos triturados
Carreteras de bosques	Hormigón/ladrillos triturados
Carreteras internas entre edificios	Hormigón/ladrillos triturados
Carreteras de la red principal	Hormigón/ladrillos/asfalto triturados
Carreteras secundarias	Hormigón/ladrillos/asfalto triturados
Pistas de aterrizaje	Hormigón/ladrillos/asfalto triturados
Aparcamientos	Hormigón/ladrillos/asfalto triturados

Tabla 2.2. Usos de áridos reciclados (Lauritzen. 1993).

El uso del hormigón reciclado podría incrementarse en el futuro. De acuerdo con algunos contratistas de hormigón, el hormigón reciclado puede usarse en muchas de las aplicaciones en las que se utiliza hormigón virgen, tales como cimentaciones o la capa de hormigón situada bajo la mezcla fría y el asfalto sobre puentes en autopistas (Donovan. 1991).

Recuperando deshechos de asfalto

La mayoría de los deshechos del asfalto es generada cuando las actuales áreas pavimentadas se preparan para ser pavimentadas de nuevo. Esto típicamente implica el levantamiento de la capa superior del viejo asfalto para antes de sustituirlo por asfalto nuevo. Parte del asfalto viejo puede mezclarse con el nuevo antes de ser colocado en la superficie de la carretera. La reciente experiencia de algunos de los productores de asfalto indica que de un 10% a un 15% del asfalto que se usa como material para pavimentos, puede estar compuesto de asfalto reciclado (Donovan. 1991).

Cuando las carreteras son construidas y pavimentadas, la grava se coloca debajo y es después cubierta con material de la base de la carretera. Este material es conocido como "mezcla fría" e incluye normalmente una mezcla de asfalto, áridos y piedras triturados. Esta capa se cubre después con asfalto, el cual sirve como recubrimiento para la carretera siendo esta capa la expuesta al tráfico y a las inclemencias del tiempo.

En general el asfalto "virgen" es más fuerte y dura más que el reciclado. Esto es debido a que el asfalto reciclado que se usa en el asfalto, se vuelve frágil con el tiempo debido a las condiciones meteorológicas, al desgaste provocado por los vehículos y a la exposición a la radiación ultravioleta.

El asfalto reciclado podría no cumplir las especificaciones del asfalto. Debido a esto, el asfalto reciclado podría tener una mejor aplicación como material de la base de la carretera así como para andenes en carreteras.

Además de recuperar los desechos del asfalto para usarse como materiales de pavimentación, los ripios de asfalto para tejados pueden usarse para pavimentar las calzadas. Los ripios no son recomendables para su uso en carreteras porque el asfalto de los ripios recuperados no soportará un desgaste demasiado extendido debido al tráfico.

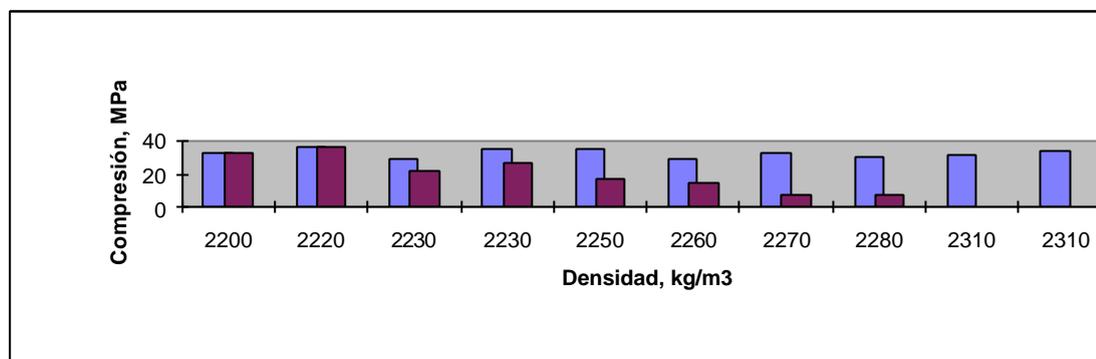
2.2.4 Otros Usos de los Materiales Reciclados

Los materiales reciclados no sólo se usan en la construcción de carreteras. Hay también otros usos con especificaciones propias. Entre estos otros usos, los más comunes son la fabricación de hormigón nuevo así como operaciones de relleno (terraplenes, puertos, diques, ingeniería de puentes, vías de agua y edificios, principalmente).

Algunos experimentos han mostrado que el uso del hormigón triturado como árido grueso no tiene efectos significativos ni sobre las proporciones ni sobre la trabajabilidad de la mezcla, comparado con las mezclas que usan áridos convencionales.

La Figura 2.6 muestra el resultado de un experimento en el que probetas cúbicas de hormigón con diferentes porcentajes de hormigón reciclado, grava natural y arena como áridos, se compararon en términos de resistencia a la compresión y densidad. La densidad y la resistencia a la compresión se midieron en todas las probetas con distintas proporciones de hormigón reciclado triturado así como grava natural como áridos, tras 28 días. Así, por ejemplo, 40/25 denota un bloque con un 25% del árido fraccionado grueso en forma de hormigón triturado de calidad original K40, 30/100 que el 100% del árido es hormigón reciclado de calidad original K30, etc.

La variación entre todas las probetas cúbicas en términos de resistencia a la compresión es menor del 14%. Ver explicaciones más detalladas en las Tablas 9.1 y 9.2 (Ottosson y Strand.



1994).

Figura 2.6. Hormigón triturado como árido.

Las barras azules (izquierda) indican el valor total de la resistencia a la compresión, mientras que las rojas (derecha), indican el porcentaje o la cantidad de hormigón triturado que lleva esa probeta, siendo el resto, grava natural. Así se ve cómo las dos primeras probetas son en un 100%, de hormigón triturado, mientras que las dos últimas son de grava natural.

A pesar de que los áridos reciclados se han usado con éxito para hacer hormigón nuevo, se ha demostrado que demandan más agua así como un mayor contenido en cemento para satisfacer las especificaciones de resistencia (Goumans, J.J.J.M. (ed.). 1994).

En cuanto al porcentaje de pérdidas de la prueba de abrasión Los Angeles, no puede ser mayor del 50% para aquellos hormigones hechos a partir de áridos reciclados (Hansen. 1992).

Cuando el hormigón triturado se usó además como árido fino, la mezcla fue menos práctica y requirió más cemento debido a la demanda de agua. Se descubrió que, para producir un hormigón práctico, se requería la sustitución de una arena por todo o una parte del árido fino.

Además de estas altas especificaciones para los áridos reciclados en el hormigón, las especificaciones medioambientales tienen que ser también más restrictivas. Estas especificaciones se refieren, principalmente, a los máximos valores permisibles de contaminantes en los áridos para hormigón (Kreijger. 1981).

Finalmente, hablando del aspecto económico de la fabricación de hormigón nuevo a partir de áridos reciclados, habría que decir que no es económicamente viable ni, probablemente, técnicamente deseable debido a su menor calidad en comparación con áridos naturales (Hansen. 1992).

Estas son las razones por las que este trabajo no considerará (sólo mencionará) otros usos para los áridos reciclados, distintos de su uso en la construcción de carreteras.

2.2.5 Productos Secundarios

A lo largo del procesamiento de los MCD (desde los MCD entrantes en la planta hasta los áridos reciclados producidos) se obtienen algunos productos que no puede venderse como áridos. Algunos de estos productos son: acero (principalmente las barras o mallas del hormigón armado), madera, papel, plástico, yeso.

Tienen distintos usos finales. El acero, por ejemplo, podría ser reutilizado en la producción de acero (puede venderse a empresas productoras de acero).

La madera puede ser triturada para venderse posteriormente para su incineración. Para esto se requiere un molino específico, distinto de los usados para la trituración del hormigón. Este proceso es llevado a cabo, entre otros, por una empresa sueca de Malmö: alquilan un molino móvil para triturar la madera y después la venden (en volumen) para su incineración.

Tanto los plásticos como el papel de baja calidad pueden venderse para incineración. El papel de buena calidad puede venderse para ser reciclado como papel nuevo.

Incluso el yeso podría ser reciclado. Es bastante normal encontrarlo mezclado entre los demás MCD. Podría ser triturado para usarse en la fabricación de yeso nuevo (en porcentajes en torno al 10%-15%). Esta es otra de las actividades llevadas a cabo por la, anteriormente citada, empresa de Malmö.

Por último, la tierra obtenida de los MCD durante su proceso de triturado, puede tanto ser vendida, como regalada (así lo hace una empresa danesa) para distintos usos. Algunos de estos se mencionan en la referencia Hansen (1992): estabilización del suelo, operaciones de modificación del suelo, filtros de chorro para depuración de aguas residuales, arena para aves de corral y gatos, suelo ácido o neutralización de aguas residuales, sustitución para piedra caliza del suelo en filtros scrubber de SO₂ en neutralización de aguas residuales en centrales térmicas de combustión de carbón, estabilización del fango de aguas residuales, o como una fuente de sílice disponible en suelos lateríticos altamente lixiviados.

Problemas relativos a la incineración

Dentro de la Región de Estocolmo, hay un problema relativo a la incineración: las plantas de incineración que funcionan actualmente en la región, están al máximo de capacidad. Esta situación ha obligado a las autoridades locales a enviar parte de las basuras domésticas

producidas en la región a Uppsala (en torno a 80 Km al norte de Estocolmo) para ser incinerados allí. Esto supone un coste extra, debido al transporte.

Si en el futuro no se construyen nuevas plantas incineradoras en la Región de Estocolmo, una parte importante de los MCD que podrían ser incinerados, no tendrán otro uso que su almacenamiento.

El precio ofrecido (a Noviembre de 1995) por una tonelada de productos secundarios para ser incinerados en la Región de Estocolmo es tan bajo como 0 ptas (Stockholm Energi. 1995).

2.3 Proceso en una Planta de Reciclaje

En este capítulo se describirá el funcionamiento de una planta de reciclaje. Esa descripción afectará a los dos tipos de plantas: fija y móvil. Se manifestarán sus principales diferencias así como sus rasgos comunes.

2.3.1 Disposición General del Proceso en una Planta Fija

El término fijo se refiere a la planta en sí misma, una planta situada en un lugar determinado, de forma permanente. Una planta fija recibe materiales entrantes transportados desde fuera (el material procede, normalmente, de los lugares de demolición). En ella se almacena el material, se procesa, y se almacena de nuevo hasta que abandone la planta para ser usado como material reciclado. Un hecho importante relativo a las plantas fijas es que, normalmente, los costes del transporte derivados tanto de la recepción del material entrante como de la entrega de los áridos reciclados, no están incluidos en los costes de la planta. Las empresas de demolición (las que entregan los MCD a la planta) junto con las constructoras (toman los productos reciclados de la planta), son las que asumen esos costes.

Localización

Algunos requerimientos en cuanto a la localización de una planta de reciclaje de MCD son:

- Proximidad a buenas infraestructuras necesarias para el transporte del material (carreteras, vías férreas, puertos, etc.).
- Estar englobada dentro de un área industrial de manera que la actividad de la planta (ruido, vibraciones, contaminación del aire) no moleste al vecindario.

- Proximidad a la ciudad: el impacto ambiental será menor, y el acceso para proveedores y clientes, mejor. Esto también implicará menos costes de transporte para ambos ya que los sitios de demolición están, normalmente, dentro de la ciudad.

Para tener una buena referencia sobre el espacio requerido por la planta, son de gran interés conceptos como el tiempo máximo de espera para recibir los materiales entrantes, así como las necesidades de almacenamiento. Desde el punto de vista de un correcto funcionamiento, la producción dentro de la planta no debería pararse nunca (sin considerar las paradas debidas al mantenimiento). Esto es así principalmente para disponer siempre de un flujo de salida de materiales reciclados listos para ser entregados a los clientes. Para conseguir este objetivo básico, la planta siempre tiene que tener materiales para ser reciclados. Como la actividad en la planta no puede depender de la existencia de camiones llevando material a la misma, el material debería ser almacenado. La cantidad de material que necesita ser almacenado tendrá que ser, al menos, la suficiente para alimentar los molinos durante el tiempo que las empresas de demolición tarden en entregar su material. La superficie necesaria para el almacenamiento de materiales (tanto los entrantes como los reciclados) es la variable más importante de las que influyen en la superficie total de la planta.

Trazado

El reciclaje de MCD es un proceso relativamente simple. Incluye la rotura, eliminación de contaminantes y triturado en el tamaño especificado de MCD procedentes de cualquiera de los procesos de demolición generadores de este tipo de materiales. La existencia de hormigón armado no es una limitación, como se explicará más adelante (American Concrete Pavement Association. 1993).

Un proceso de reciclaje estándar para producir áridos reciclados tanto gruesos como finos, incluye las siguientes etapas (Figura 2.7):

1. El material entra en la planta, donde es pesado y almacenado en su pila correspondiente.
2. Rotura basta de aquellos trozos de material que son mayores que la abertura del molino, por medio de un martillo hidráulico.
3. Eliminación de tierra/arena mediante un tamiz vibrante.
4. Triturado por medio de un molino de mandíbula (molino primario).
5. Eliminación de las barras de acero (en el caso de hormigón armado) por medio de un separador magnético.
6. Triturado por medio de un molino de impacto (molino secundario).

7. Árido reciclado basto.
8. Árido reciclado fino.
9. Recolección del polvo.

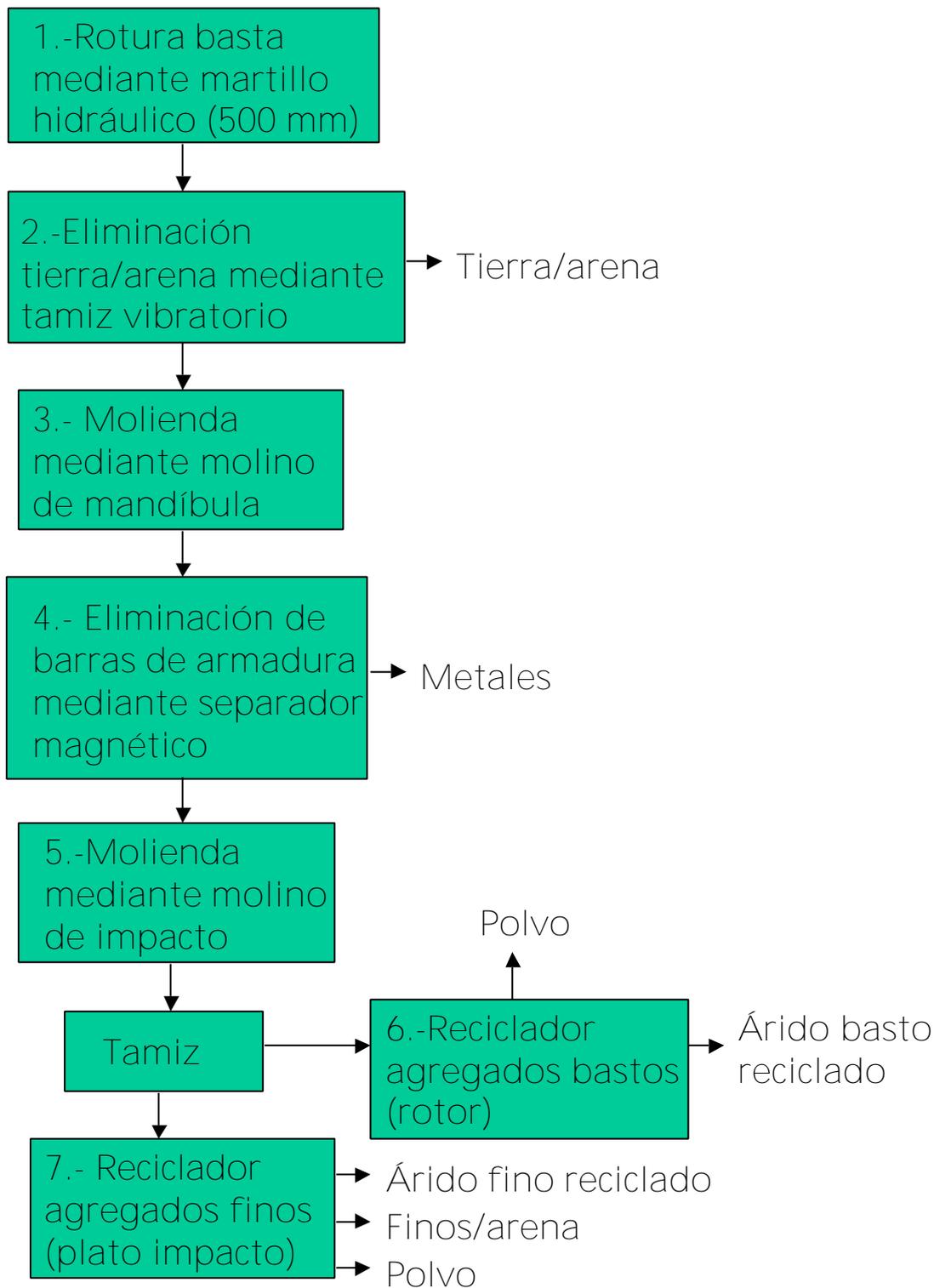


Figura 2.7. Flujo del reciclaje (RILEM. 1993).

Según el número de puestos y maquinaria de que consten, pueden distinguirse tres tipos de plantas de reciclaje. Estos son: plantas de primera, segunda o tercera generación.

Plantas de primera generación

Sin maquinaria para la eliminación de materia extraña (aparte de un separador magnético para la separación del reforzamiento y de otros materiales ferrosos). Operativas para proyectos de pavimentación, rehabilitación y reciclaje. Entre la materia extraña que podría estar mezclada con los MCD están los siguientes materiales: metales, madera, hierro (barras de reforzamiento, principalmente), papel, tierra, yeso, suciedad, trozos de arcilla, pintura, textiles, ladrillos y hormigones ligeros, asfalto, chapas de madera dura, plásticos, cubiertas para tejados, sellos de juntas bituminosas, partículas estropeadas por el fuego o el tiempo, partículas susceptibles a las heladas o a las reacciones alcalinas, arenas químicas industriales, sustancias reactivas, hormigón con cemento de alto contenido en aluminio, ladrillos refractarios, cloruros, materiales orgánicos, mezclas químicas, vidrio, etc. (Hansen. 1992).

El esquema de una planta de primera generación se muestra en la Figura 2.8 debajo. En dicha figura se representa un sistema cerrado. Por el contrario, en un sistema abierto no hay recirculación partiendo del molino secundario. Esto permite al sistema el tener una mayor capacidad. Sin embargo, el tamaño máximo de partícula está peor definido cuando se usa un sistema abierto, en comparación con uno cerrado. Esto puede provocar mayores variaciones en el tamaño del producto final, en especial cuando el flujo de entrada varía.

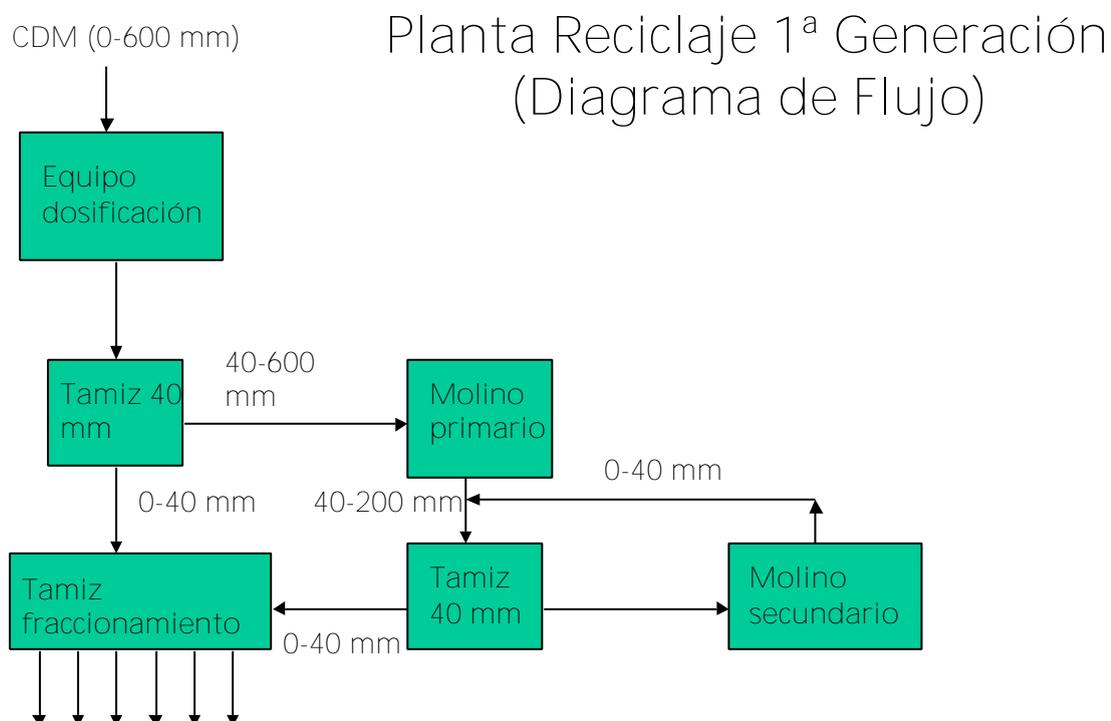


Figura 2.8. Diagrama de flujos de una planta típica para la producción de árido reciclado a partir de restos de hormigón libres de materia extraña. Sistema cerrado.

Plantas de segunda generación

Incluyen la eliminación de piezas grandes de materia extraña mecánica o manualmente, antes del triturado, así como la limpieza del producto triturado mediante una clasificación bien seca, bien húmeda. Con estos medios para la eliminación de contaminantes y productos secundarios, se consiguen los siguientes resultados:

- eliminación de grandes trozos de madera, hierro, papel, plásticos, etc.
- eliminación de materiales finos tales como suelo, yeso, etc. para eliminar posibles contaminantes, así como para mejorar la resistencia a las heladas (actuación común en los Países Bajos)
- eliminación de los restantes productos secundarios

Tras la primera trituración, yeso, escayola y finos podrían ser eliminados filtrando los materiales triturados a través de tamices, desechando todo material menor de 10 mm (Hansen. 1992).

El esquema del proceso llevado a cabo en una planta de reciclaje de segunda generación se muestra en la Figura 2.9:

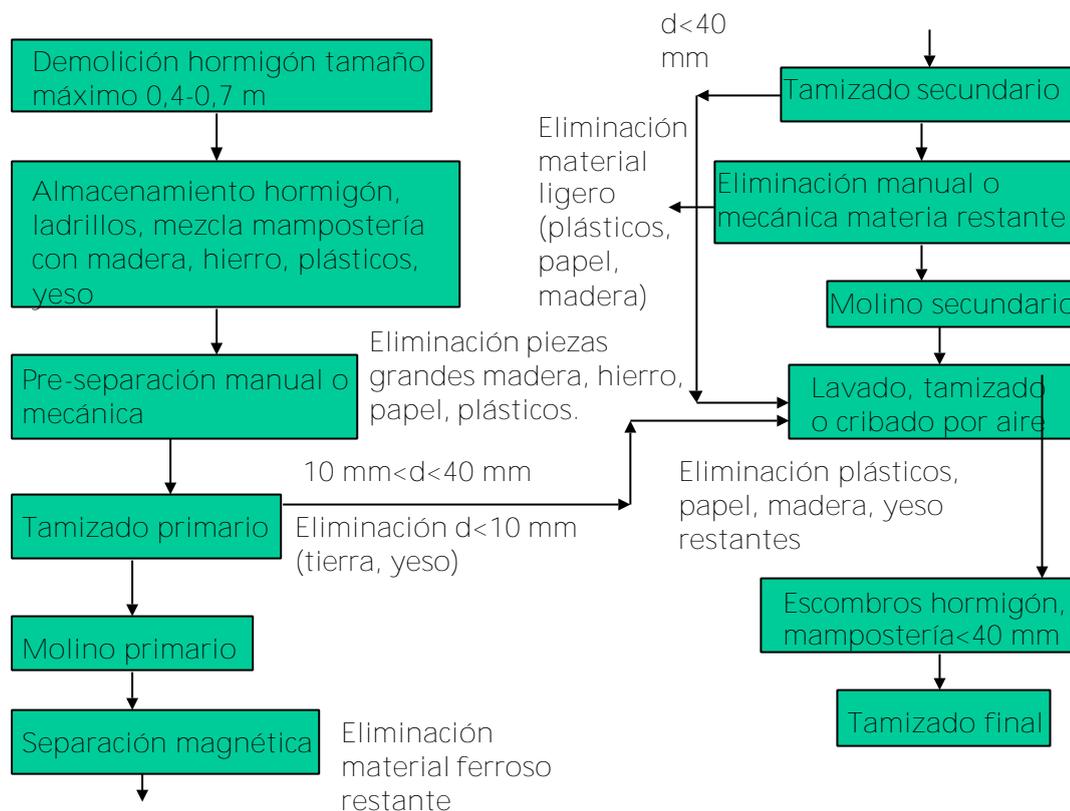


Figura 2.9. Esquema del proceso en una planta de reciclaje de segunda generación

Plantas de tercera generación

Todo el material demolido debería ser suministrado a la instalación, procesado y vendido evitando así el tener que transportar grandes cantidades de contaminantes a vertederos urbanos ni desde los lugares de demolición ni desde la instalación de proceso. En plantas de tercera generación se procesan tanto los escombros como los restos de madera (Hansen, 1992).

2.3.2 Plantas Móviles. Descripción

Por planta móvil de reciclaje, se entiende normalmente un molino móvil (ver Figura 2.10). La planta móvil podría tener uno o incluso más molinos. Su capacidad es menor que la de las plantas fijas. La calidad (cumplimiento de las especificaciones) podría no ser la misma, debido a su simplicidad (ausencia de pre-trituradores, de elementos de separación, etc.). Para disminuir este problema, algunos molinos móviles "incluyen" un pre-triturador, que tendrá también que ser transportado. Se podría instalar así mismo una cinta magnética sobre la cinta transportadora del molino móvil. El coste de producir una tonelada de hormigón reciclado por medio de un molino móvil, dependerá de la cantidad total de MCD disponible para ser

tratada en el lugar de la demolición. Cuanto más material haya, menor será el coste por tonelada triturada.

El transporte de la maquinaria trituradora debe incluirse bajo los costes generales del molino móvil.

En los siguientes apartados se describen las diferencias entre ambos tipos de plantas (fija y móvil) en cuanto a distintos aspectos de la actividad del reciclaje.



Figura 2.10. Molino móvil (Nordberg AB. 1995).

2.3.3 Empleados

La Tabla 2.3 podría dar una buena idea acerca del personal necesario hoy día en una planta de reciclaje:

Empresa	Tipo	Superficie (ha.)*	Volumen de MCD procesados **	Número de trabajadores
I	Fija	1,6-2	0,08-0,1	2
II	Fija	3	1,2	50
III	Móvil	-	0,003	1
IV	Fija***	2,7	0,02	7

Tabla 2.3. Número de trabajadores requeridos por plantas de reciclaje (Superfos Construction a/s, RGS'90, PEAB, Carl F AB. 1995).

*Para plantas fijas

**Millones de ton/año

***Triturado logrado mediante molinos móviles (alquilados)

Estas cuatro plantas operan en la actualidad en Dinamarca y Suecia.

Una distribución típica de los trabajos a desarrollar en una planta fija podría ser la siguiente (Tabla 2.4):

Actividad	Número de trabajadores
Pesado	1
Martillo rompedor	1
Triturador previo	1
Cintas transportadoras de recogida	2
Mantenimiento	1
Laboratorio	1
Conductor palas carga/descarga	3
Total	10

Tabla 2.4. Número de trabajadores en una planta de reciclaje fija (Bakker. 1993).

Otros ejemplos de plantas fijas operando en la actualidad muestran cómo con sólo seis personas se puede desarrollar la actividad en la planta. Las actividades (con el número de trabajadores asociado a cada una) son: báscula (un trabajador), equipos del proceso (tres trabajadores) y vehículos (dos trabajadores) (Donovan. 1991).

En cuanto a la cualificación exigida a los trabajadores, decir que no es específica. Normalmente, sólo han de ser capaces de conducir camiones, palas, manejar trituradoras previas, molinos, etc. El aprendizaje podría llevarse a cabo en la misma planta por medio de un corto proceso de formación para el manejo de la maquinaria.

Podría resultar chocante que la planta móvil (Empresa III, Tabla 2.3) tenga sólo una persona encargada de llevar a cabo todo el proceso. En situaciones normales, los encargados de manejar camiones y palas, son personas distintas de las que manejan el molino, para ganar así en rapidez del proceso. El hecho de tener sólo una persona para la realización de varias tareas se explica únicamente en la reducción de costes de personal.

2.3.4 Consumo Energético. Gastos de Inversión

Consumo energético

Las plantas fijas y móviles difieren, claramente, en sus respectivos consumos energéticos. Esto se entiende fácilmente si se tiene en cuenta el mayor volumen de material procesado en las plantas fijas, así como la mayor maquinaria de la que disponen, en comparación con las plantas móviles, según se explicó con anterioridad.

El consumo energético procede de todos los procesos que se llevan a cabo en la planta, desde que se pesa el material entrante, hasta el almacenamiento final de los áridos reciclados. De entre todos los procesos llevados a cabo en la planta, el mayor consumidor de energía es el de triturado. Es por esto por lo que el tipo de molino elegido será de vital importancia para disminuir aquellos costes derivados del consumo energético (ver Tabla 2.5).

Valores típicos del consumo energético de una planta fija con una capacidad en torno a 200-300 ton/h, son de 500-600 kWh (Bakker. 1993).

Un procedimiento común para averiguar el consumo energético anual consiste en estimarlo en un 50% a 70% de los kilovatios instalados. En un período de un año, el número de horas de trabajo se tiene que multiplicar por dicha cifra para obtener el resultado final.

Otra unidad interesante en cuanto al consumo energético es kWh/ton de material (áridos) producidos. Para disponer de esta cifra, la capacidad del proceso ha de ser conocida.

Las unidades móviles de triturado cuentan con un trabajo útil instalado de 200-300 kW (Nordberg AB. 1995).

Gastos de inversión

Los gastos de inversión son mayores en una planta fija que en una móvil, ya que aquellas disponen de más maquinaria.

Para tener una idea acerca del montante de estos gastos para ambos tipos de plantas, puede mencionarse la estimación de algunos autores (Drees. 1989). Estos llegan a la conclusión de que el coste total de una planta fija sería de unos 266-374 millones ptas, en moneda del año 1989, sin incluir el coste de los bienes incluidos en la planta. Las plantas móviles o semi-móviles costarían en torno a 57-76 millones de ptas, en moneda también del año 1989.

2.3.5 Impactos Medioambientales

Algunos de los impactos medioambientales causados por las plantas de reciclaje son (Hansen. 1992):

- Ruido
- Problemas asociados a la generación de polvo
- Otros (vibraciones, productos tóxicos)

Ruido

Debido a su mayor número de maquinaria en funcionamiento (básculas, tecnologías de separación, almacenamiento del material entrante), se producirá mas ruido en una planta fija que en una móvil. Sin embargo, la principal fuente de ruido es la acción trituradora del molino. Este será, por tanto, el factor determinante indicativo del nivel de ruido producido. Medidas del ruido producido por un molino de cono indicaron que, incluso a una distancia de 15 m del molino, el nivel de ruido alcanzaba los 70-75 dBA (Nordberg Sweden AB. 1995). Estos valores no están permitidos por las Autoridades Medioambientales.

Algunas medidas tendentes a contrarrestar el ruido producido por un molino móvil son:

- Instalar motores de generador diesel con silenciadores
- Colocar pantallas protectoras anti ruido en torno a los camiones generadores

Polvo

El polvo es uno de los principales problemas medioambientales que se dan en una planta. Ha de ser tratado mediante medidas técnicas adecuadas. Así por ejemplo, las carreteras que rodean la planta, deberían ser regadas continuamente, junto con las pilas de hormigón roto. En la alimentación al molino y en los tamices, debería usarse una fina niebla de agua. Este spray debe ser muy fino para evitar que el material se humedezca en exceso y que los tamices se obstruyan. Un agente humedecedor añadido al agua producirá un mejor control del polvo con un menor uso de agua. Además, el añadir agua al material en la polea de cabeza de la cinta de almacenamiento del material, ayuda a controlar el polvo cuando el producto es cargado en los camiones (Hansen. 1992).

En principio, ocurre lo mismo en cuanto al polvo que en cuanto al ruido: será mayor la producción de polvo en plantas fijas que en móviles. Existen niveles máximos permitidos para

la emisión de polvo. Medidas para contrarrestar este problema se considerarán en este trabajo. El rociado con agua de los productos finales es, por ejemplo, una de las posibles formas de reducir los niveles de producción de polvo en una planta.

Otros problemas ambientales

Las vibraciones no deberían ser un problema en la planta (tanto en los casos de planta fija, como móvil). Los valores normales alcanzados en la planta suelen estar lejos de los límites máximos permitidos por el organismo medioambiental responsable (la experiencia de plantas que operan en la actualidad, avala esta afirmación).

Dohmann (1987) ha estudiado cambios en los valores tanto de la demanda química de oxígeno como de la concentración de fenoles antes y después del tratamiento de MCD en dos plantas de reciclaje distintas. Descubrió que había una diferencia insignificante entre esos valores, incluso en el caso de que los MCD hubieran sido tratados tanto mediante procesos secos como húmedos (ver 8.6.). Concluyó que, en la realidad, es muy difícil, por no decir imposible, eliminar aquellos contaminantes que entran en la planta mezclados con los MCD.

Sin embargo, también es cierto que parece exagerada y no realista la alarma creada en torno a estos contaminantes unidos a los MCD, en lo que se refiere a las consecuencias que podría tener para el medio ambiente su presencia en los perfiles de las carreteras. Desde tiempos inmemoriales, las carreteras se han construido con asfalto, sin que ello haya sido visto como una amenaza medioambiental. No parece, por tanto, muy razonable el preocuparse en exceso por una pequeña cantidad de contaminantes que podría seguir unida a los áridos reciclados, una vez han sido completamente procesados.

También debería tenerse en cuenta que, de no ser reciclados, estos materiales que llevan contaminantes, serían arrojados en vertederos, donde podrían producirse asimismo daños al medio ambiente. Por tanto, las restricciones impuestas a los materiales aceptados en la planta para ser procesados deben ser, como mucho, tan exigentes como las que se aplican a los materiales arrojados en vertederos. No está justificado el que sean mayores.

2.3.6 Tecnologías de Separación

Junto con los materiales reciclables como el hormigón, hay alguna materia extraña unida a ellos, que debería ser eliminada durante el proceso de triturado. Acero, madera, papel, plásticos y yeso, son los materiales más comunes encontrados en los MCD.

La eliminación del acero es uno de los retos más importantes que, tanto los proveedores de maquinaria de reciclaje, como los encargados de las plantas de reciclaje, tienen que encarar.

La presencia de hormigón armado está generalizada en la construcción. Esto hace que se haga necesaria una descripción de aquellos métodos usados para la eliminación del acero.

Eliminación del acero en el hormigón armado

En el caso del hormigón armado, el principal elemento que aparece en él es, precisamente, el acero, bien en forma de barra, o bien de malla.

La eliminación de este acero se lleva a cabo a través de distintas fases del proceso de reciclaje. La eliminación tanto de las clavijas como de las barras, se produce habitualmente en la planta (no en el lugar de recogida).

La separación continua del acero así como su eliminación, se producen cuando el pre-triturador (un cuerno de rinoceronte, por ejemplo) se mueve en el hormigón roto. El pre-triturador engancha el acero, tirando de él y separándolo así de la masa de hormigón. El conductor de la pala usa este elemento para romper todos aquellos trozos de hormigón que son demasiado grandes para poder entrar al molino primario. Normalmente se acompaña esta operación con trabajo manual para cortar el acero.

Una vez que el hormigón armado ha sido pre-triturado, los operarios cortan (mediante una especie de hachas o cortadores neumáticos o hidráulicos) el acero en trozos que puedan ser admitidos fácilmente por el molino primario.

La eliminación última del acero procedente de los fragmentos de hormigón, se produce en las operaciones de triturado. Las plantas de triturado tienen un electroimán para la captación del acero que se desplaza en la cinta transportadora, entre los molinos primario y secundario. El electroimán recoge casi todo el acero remanente. Sólo unos pocos trozos de acero podría esperarse encontrar en el montón de árido final, tras su procesado. Algunas plantas tienen además eliminación manual del acero para complementar la eliminación magnética del mismo.

El acero recogido pasa a ser propiedad de la planta de reciclaje. Dependiendo del grado de separación, el acero puede venderse como chatarra (ver precios en 3.9.). El acero mallado con gran cantidad de hormigón ligado a él, se considera deshecho (sin posibilidad de ser vendido).

Eliminación de otros materiales extraños entrantes

Otros tipos de materiales extraños (papel, plásticos, madera y yeso, principalmente), son eliminados mediante inspección visual y recogida manual, entre otras maneras. Una eliminación más avanzada tiene que hacerse por otros medios que, también, se explicarán.

En algunas plantas se usa un tamiz vibrante de 2,5 cm justo antes del molino primario para la eliminación del material no deseado. Un tamiz vibrante mueve el material permitiendo así que tanto los finos como las bolas de arcilla se separen del hormigón roto (American Concrete Pavement Association. 1993).

Las siguientes técnicas de separación se caracterizan por eliminar materia extraña de los MCD: cribado, recogida manual, separación magnética, seca y húmeda. A continuación, estas técnicas son descritas:

Cribado

El cribado simple en seco separa únicamente diferentes formas y tamaños. De acuerdo con Boesman (1985), los materiales gruesos se separan con mayor efectividad por medio de tamices inclinados vibrando a bajas frecuencias y altas amplitudes, mientras que cribas horizontales vibrando a altas frecuencias y pequeñas amplitudes son más efectivas para separar material fino. De acuerdo con un informe japonés (B.C.S.J. 1978), para separar material ligero, los tamices lisos son los mejores, provocando pequeñas pérdidas de material pétreo y eliminando en torno a un 80% de la madera.

Tierra y otros finos se eliminan principalmente mediante una combinación de alimentador y tamiz, conocido como tamiz alimentador vibrante. La eficacia es mayor si el alimentador está inclinado.

Un tamiz especial para la eliminación de la madera, ha sido desarrollado con agujeros perpendicularmente a la dirección del flujo de material. Este tamiz se sitúa entre los molinos primario y secundario. Como la madera fluye longitudinalmente, atravesará los agujeros del tamiz, mientras que el material pétreo caerá a través del mismo. De esta manera, en torno al 70% de las partículas de madera son eliminadas. Este método para la eliminación de la madera no es adecuado para materiales que han sido tratados en un molino de impacto, porque las partículas del material triturado por dicho tipo de molinos tienen aproximadamente la misma forma.

Recogida manual

Todavía es necesaria para eliminar la polución de los escombros, a pesar de la existencia de muchos procedimientos mecánicos.

En particular, elementos como los metales no féreos no pueden ser eliminados de ninguna otra manera.

Una recogida manual efectiva puede contribuir a menores averías en el proceso productivo, así como a un producto más limpio.

Separación magnética

Todos los metales féreos pueden ser fácilmente eliminados mediante cintas magnéticas situadas sobre la cinta transportadora entre el molino y el tamiz. Una cinta magnética es necesaria debido al refuerzo metálico del hormigón.

Separación en seco

Dos procedimientos constituyen lo que se llama separación en seco: eliminación de la materia extraña tanto por succión como por cribado por aire:

Aparato de succión

Un aparato de succión se sitúa sobre el final de una planta de tamizado. Tanto la madera como las telas, plásticos, papel, etc. son atraídos contra una cinta de gasa, que los transporta hasta un contenedor. Los finos absorbidos pueden ser recogidos en una habitación para el polvo. La eficiencia del aparato es del 90%-95%.

Cribado por aire

Esta tecnología se basa en el lanzamiento de aire a través del flujo de material que cae de la cinta transportadora. Los materiales ligeros se separan así de los más pesados. Situando toda la instalación en una caja cerrada y extrayendo todo el polvo producido, se minimizará la producción de polvo. Este método también permite separar todas las partículas lisas del material pétreo. La eficiencia de este aparato es menor que la del aparato de succión. Para aumentarla, se recomienda la separación del material triturado en fracciones y el uso de un cribado por aire para cada una de dichas fracciones. Puede trabajar tanto vertical como horizontalmente (Hansen. 1992).

Separación en húmedo (lavado).

Hansen (1992) cita una afirmación hecha por Nix (1984) en el sentido de que mediante esta técnica, la mayoría de la materia ligera puede eliminarse de los escombros triturados, llevando así al árido a cumplir las especificaciones.

Pueden distinguirse dos métodos dentro de la separación en húmedo, el método del flotamiento hundimiento y el método aquamator. Con el método del hundimiento, el material triturado es alimentado en una balsa de agua. Tanto la madera como otros elementos ligeros permanecerán en la superficie; el árido se hundirá. Los elementos que flotan se eliminan, mientras que el árido se saca del agua mediante un tornillo transportador o una draga.

El aquamator consiste en una cinta transportadora sobre la que se mantiene un nivel constante de agua mediante inyectores. El sentido de rotación de la cinta transportadora es contrario al del flujo del agua. Cuando el material contaminado se alimenta en el aquamator, las partículas pesadas se hunden y son transportadas por la cinta. Los contaminantes flotarán, siendo eliminados por el flujo del agua. Adicionalmente, pequeños elementos ligeros del árido son eliminados por el agua.

Mediante esta técnica de separación, la separación del tamaño de partícula está limitada a unos 4 mm. Madera, pizarra, plásticos, paja, fieltros para techos así como sulfatos suspendidos y fibras de asbestos pueden ser eliminadas eficientemente en un rango de tamaños en torno a 10-40 mm. Se recomienda cribar con un tamiz de 10 mm antes del lavado porque la fracción de 0-10 mm produce grandes cantidades de fango indeseable en el agua de lavado (Hansen. 1992).

Una variante de este método consta de un gato de tornillo en vez de la cinta transportadora.

Hansen (1992) menciona unas sugerencias de autores japoneses (B.C.S.J. 1981), según las cuales sería posible separar la mayoría de los escombros como ladrillos y otras partículas perjudiciales del árido reciclado, en un medio pesado de 1950 kg/m^3 . En principio, una técnica como ésta permitiría el procesamiento de escombros altamente contaminados y mezclados, para producir áridos limpios y de calidad.

Las especiales ventajas de la separación húmeda son (Bakker. 1993):

- Puede eliminarse casi toda la polución, produciéndose un árido muy limpio (de una calidad extrema)
- Es posible el uso de los productos finales para la producción de hormigón y en carreteras

Entre las desventajas están:

- La necesidad de un circuito de agua con aclarado de la misma
- Desecación y almacenamiento de los finos

- Debido a la congelación, no es operativa en invierno

El procesado en seco tiene las siguientes ventajas:

- No depende del tiempo meteorológico
- Ausencia de un circuito de agua (Bakker. 1993)
- Según Heimsoth (1984), el procesado en seco puede conseguir los mismos resultados que el húmedo cuando las impurezas son más pesadas que el agua (Hansen. 1992)

En cuanto a sus desventajas, cabe citarse las siguientes:

- El límite de separación del tamaño de las partículas es de unos 10 mm
- Los productos finales no están limpios (para usarse como material reciclado para hormigón)
- Altas proporciones de material son vertidas
- Produce un exceso de polvo que debe controlarse

2.3.7 Maquinaria. El Proceso de Triturado

Maquinaria

Los instrumentos indispensables en el campo del reciclaje de materiales de construcción y demolición son, indudablemente, los molinos. En el mercado pueden distinguirse tres tipos de molinos, a saber: molino de mandíbula, cónico o giratorio y de impacto. Algunos modelos pueden procesar hasta 500 ton/h de hormigón roto (American Concrete Pavement Association. 1993).

Todos los tipos de molinos pueden usarse tanto en plantas fijas como en las móviles.

A continuación, todos estos tipos son descritos:

Molino de mandíbula

En el molino de mandíbula, el material pétreo es triturado entre un brazo móvil y una pared fija (compresión cíclica). Un plato largo de acero comprime los fragmentos pétreos contra otro estacionario dentro de la carcasa del molino. La fuerza de compresión rompe la piedra.

Cambiando el cierre de mandíbula, cambia el tamaño máximo de los áridos (American Concrete Pavement Association. 1993)

Hay dos tipos de molinos de mandíbula: el de simple y el de doble palanca. El primero puede tratar trozos mayores de material, siendo por tanto más apropiado para su uso como molino primario. La mandíbula móvil se mueve bien tanto de lado a lado como de arriba a abajo. La mandíbula móvil del molino de doble palanca se mueve sólo de lado a lado, pero a un número de revoluciones mayor, lo que le hace adecuado para su uso como molino secundario. Ambos tipos consiguen reducciones del orden de 7:1/9:1 (Kreijger. 1981).

El molino de mandíbula de simple palanca produce un material menos cúbico, lo que no lo hace adecuado como molino secundario. Este tipo de molino produce la menor cantidad de finos (menos de un 10%). Los molinos de mandíbula son los mejores en cuanto a conseguir una buena reducción de tamaño primaria en materiales abrasivos duros.

Molino cónico o giratorio

En este molino el material es triturado entre un cono (excéntrico) girando y la pared en forma de embudo. Al rotar, el cono atrapa y rompe los fragmentos contra las paredes de la carcasa interna. Cuando el material es lo suficientemente pequeño, pasa a través del fondo de la carcasa del molino (American Concrete Pavement Association. 1993).

Este tipo de molino produce un buen material cúbico siendo, por tanto, adecuado para ser usado como molino secundario. Produce una cantidad mediana de finos (menos de un 20 por ciento).

Es capaz de conseguir unas reducciones del orden de 6:1/10:1, pudiendo ser excepcionalmente de hasta 15:1 (Kreijger. 1981).

Molino de impacto

En este molino, el material se rompe lanzándolo a gran velocidad mediante un rotor contra la pared del molino. Operan mediante esfuerzos tensores y cortantes en repetidos lanzamientos para reducir el tamaño de los trozos de hormigón. La barra de choque sobre un rotor horizontal rompe en torno a un 85% de los fragmentos de MCD hasta un tamaño aceptablemente pequeño. Los restantes trozos grandes se rompen mediante choque bien con el yunque de acero, bien con los platos de rotura que se encuentran en el interior de la carcasa del molino. En los molinos de impacto verticales, casi toda la rotura se debe al impacto con los platos de rotura. Los rotores horizontales son más comunes para el hormigón reciclado. El rotor continuará lanzando aquellas piezas mayores del tamaño máximo deseado.

El material blando se rompe más que el duro, por lo que se produce un producto relativamente duro (Scholten. 1993).

El molino de impacto produce mucho material fino, hasta un 40% es menor de 6 mm. Una desventaja de este tipo de molino es el gran desgaste de los platos de rotura.

Los molinos de impacto pueden usarse tanto como primarios o como secundarios y, debido al alto grado de reducción (en torno a 20:1 e incluso 40:1/100:1 (Kreijger. 1981)), también para una reducción de etapa simple.

La Tabla 2.5 muestra el comportamiento de los tres molinos en relación a distintas propiedades:

Propiedad	Molino de mandíbula	Molino cónico	Molino de impacto
Inversiones/ton capacidad	altas	medias	bajas
Coste/ton producto	bajo	medio	alto
Abrasión	baja	baja	alta
Calidad de grano	baja	media	alta
Contenido en finos	bajo	medio	alto
Consumo energético	bajo	medio	alto

Tabla 2.5. Análisis comparativo de distintos tipos de molinos (Scholten. 1993).

Puede verse en la Tabla 2.5 que una de las desventajas de los molinos de impacto es altos desgastes y roturas. Por consiguiente, cabe esperar el tener unos altos costes de mantenimiento. Para autores como Kreijger (1981), la forma de las partículas trituradas es mucho más cúbica en molinos de impacto que en los de mandíbula y cónicos. Para otros (Hansen. 1992), por el contrario, todos los molinos producen aproximadamente el mismo porcentaje de partículas cúbicas.

La economía de la producción de áridos gruesos puede maximizarse mediante el balanceo de los molinos. El molino primario debería ajustarse de forma tal que redujera el material hasta el máximo tamaño que pueda ser aceptado por el molino secundario, sin que se precise un tercer molino.

Las propiedades físicas de los áridos reciclados, tales como la gravedad específica, absorción de agua, contenido en sulfatos y porcentaje de pérdida por abrasión Los Angeles, no cambian significativamente para los distintos tipos de molinos y ajustes de los mismos.

Los molinos de mandíbula deberían usarse para el procesado de hormigón simple o ligeramente armado, mientras que los molinos de impacto pesados, parecen ser la mejor elección para el hormigón normal o densamente armado (Hansen. 1992).

Algunos aspectos relativos al funcionamiento de los molinos han sido confeccionados a la vista de su comportamiento en plantas reales. Estos son los siguientes:

- Con la ayuda de sólo un molino, algunas empresas consiguen las especificaciones en cuanto a la distribución del grano debido a su calidad (impacto), la re-circulación y la existencia de un pre-triturador. Sin embargo, aquellos productos de las plantas que producen áridos exclusivamente mediante un triturado primario, dependen en gran medida de la calidad de los MCD entrantes en la planta (Hansen. 1992).
- Por el contrario, otras empresas necesitan dos molinos y un tercero más pequeño para conseguir esas mismas especificaciones. También tienen un pre-triturador.
- El molino móvil usado por una empresa constructora sueca para triturar hormigón, tenía el problema de que el acero de refuerzo (del hormigón armado) se quedaba atrapado en el fondo del primer molino (esa planta móvil constaba de dos molinos), justo sobre la cinta transportadora. Una de las posibles soluciones utilizadas para evitar esto podría ser el levantar este primer molino de forma que la distancia entre él y la cinta transportadora sea, al menos, de la longitud de la barra de acero.
- Dicha planta móvil (empresa constructora sueca) siempre trabaja tras haber utilizado un pre-triturador.

Otros tipos de maquinaria usados en una planta de reciclaje son:

- Alimentadores: tolvas donde el material se carga antes de que entre al molino.
- Tamices: malla metálica con un cierto tamaño de sus celdas, ajustando el tamaño máximo del material que puede atravesarlos.
- Palas (y mini palas) cargadoras: para cargar y descargar el material desde las pilas de material hasta la unidad de triturado.
- Excavadores (o pre-trituradores): Trituran trozos de hormigón armado así como trozos grandes de material, de forma que puedan entrar en el molino.

- Tractores: para el transporte del material dentro de la planta.
- Cintas transportadoras: para transportar el material entre distintas máquinas en la unidad de triturado. Las cintas transportadoras pueden estar hechas de distintos materiales, según sean las características del material transportado.
- Máquinas de separación: como las explicadas en el apartado 2.3.6. (aparato de succión, separador magnético, aquamator, etc.).

A pesar de que los molinos móviles disponen de algunas de las facilidades nombradas arriba, disponen de una estructura específica que los diferencian de las plantas fijas. En principio, un molino móvil consta de una tolva de alimentación, un alimentador vibratorio, una tolva en by-pass, una cinta transportadora, una unidad motora, un tanque hidráulico para el combustible fuel. Un equipamiento opcional incluye una cinta transportadora reforzada, una pantalla anti-ruídos, un ascensor hidráulico transportador, un generador de corriente alterna así como un panel de control, un tamiz de cabellera (scalping), una cinta transportadora de cabellera (scalping), extensiones para las tolvas de alimentación, sistema de supresión del polvo, separador magnético, cinta transportadora de descarga lateral así como patas hidráulicas para las unidades tanto de triturado como de alimentación (Nordberg AB. 1995).

Tanto el alimentador como la cinta transportadora de descarga están equipados con conducción hidráulica.

El proceso de triturado

La maquinaria que procesa áridos naturales es, básicamente, la misma que tritura, clasifica y almacena MCD. Los sistemas de transporte y las técnicas de almacenaje de material virgen son los mismos tanto para MCD como para materiales vírgenes.

Algunas modificaciones de los fabricantes en la maquinaria estándar de triturado, permiten ahora un comportamiento más eficiente en el triturado de los MCD. Los avances conseguidos en el diseño metalúrgico de los componentes más propensos al desgaste, han reducido tanto los costes de mantenimiento como los debidos al desgaste en molinos para áridos naturales (American Concrete Pavement Association. 1993).

El triturado de fragmentos con acero del hormigón armado requiere un descenso de la cinta transportadora bajo el molino primario. Esto habilita un mayor espacio que permita que los trozos largos de acero caigan sin interferir ni rasgar la cinta transportadora (American Concrete Pavement Association. 1993).

En un proceso de triturado, lo normal es que haya más de una etapa de triturado. El número de etapas - primaria, secundaria, terciaria, etc. depende de muchos parámetros, tales como el tipo de MCD así como el producto final deseado (Scholten. 1993).

La Figura 2.11 muestra el número adecuado de etapas necesario en un proceso de triturado en función tanto de la capacidad como de la abertura nominal de alimentación del molino.

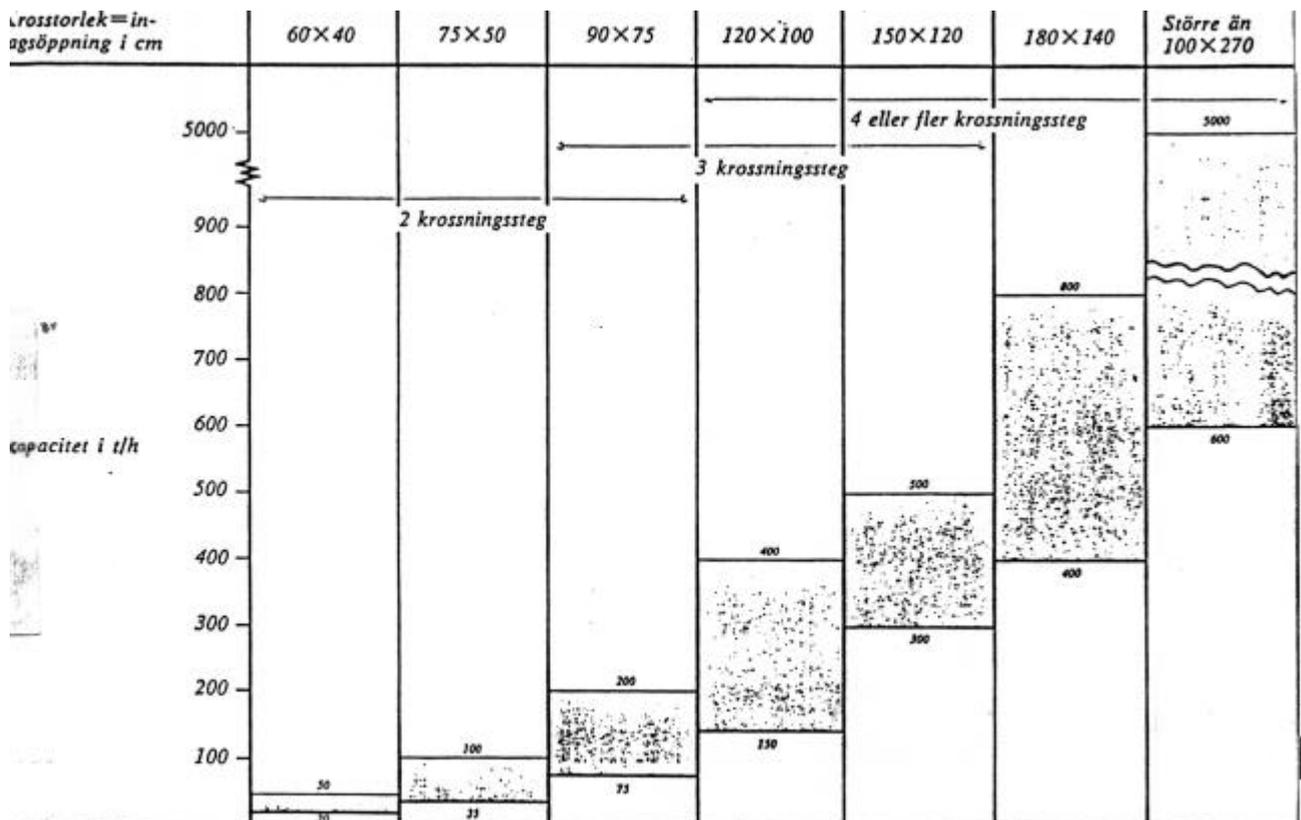


Figura 2.11. Número de etapas de triturado (Eriksson y Svensson. 1980).

La mayoría de las plantas de reciclaje tienen tanto un molino primario como un secundario (American Concrete Pavement Association. 1993).

Los distintos diseños de las plantas se diferencian principalmente por la configuración del molino (molinos primario, secundario o incluso terciario).

Las configuraciones de molinos más comunes, se describen debajo (Tabla 2.6) (Scholten. 1993).

Molino primario	Molino secundario
Mandíbula	Cónico o Giratorio
Mandíbula	Impact
Impacto	Impacto
Impacto	- (reducción en etapa simple)

Tabla 2.6. Configuraciones de molinos.

Las tecnologías de separación pueden aplicarse a todas las configuraciones de molinos descritas. En la Tabla 2.7 se presenta una descripción detallada de las configuraciones de molinos en cuanto al consumo energético, abrasión y dureza de grano:

Configuración de molinos	Consumo energético	Abrasión del molino	Dureza de grano
Mandíbula /Cono	+	+	0
Mandíbula /Impacto	0	0	+
Impacto /Impacto	-	-	+
Impacto (simple)	0	-	0

Tabla 2.7. Análisis comparativo de configuraciones de molinos (Scholten. 1993).

La configuración Mandíbula/Impacto, que es la más usada en los Países Bajos, es un compromiso entre la economía del proceso y la calidad del producto.

Para conseguir una buena calidad, el molino debe estar completamente lleno; para ello se debe situar un alimentador justo a la entrada del molino.

La configuración del molino influye en el Valor de Compresión Estática (ver Tabla 2.8) del árido producido. Un molino de mandíbula produce un árido relativamente más blando en comparación con los molinos de impacto o cónicos. Sin embargo, el factor más importante es la naturaleza del material entrante. Con respecto a la composición de los MCD como mezcla de materiales sólidos, el molino mejora los productos obteniendo más finos de materiales frágiles.

Se ha investigado el árido producido con distintas configuraciones de molinos. El Valor Holandés de Compresión Estática y el de abrasión Los Angeles, son dos de las pruebas utilizadas para comprobar la calidad de los áridos. Hacen referencia a la dureza del material (el primero) así como a la resistencia a la fragmentación (el segundo). Ambas pruebas se han aplicado a áridos de tres orígenes distintos, obteniéndose los siguientes resultados (ver Tabla 2.8):

Los Angeles Abrasion Test					
Configuración	Hormigón	Mezcla	Albañilería	Media (% pérdidas)	Rango (% pérdidas)
Impacto/Impacto	34	39	42	38	8
Mandíbula/Impacto	35	42	44	40	9
Mandíbula/Cónico	35	40	49	41	14
Media	34,7	40,3	45		
Rango	1	3	7		

Tabla 2.8. Prueba Los Angeles Abrasion Test para distintos MCD (Scholten. 1993).

Valor de Compresión Estática					
Configuración	Hormigón	Mezcla	Albañilería	Media	Rango
Impacto/Impacto	0,76	0,75	0,67	0,73	0,09
Mandíbula/Impacto	0,74	0,7	0,68	0,71	0,06
Mandíbula/Cónico	0,71	0,71	0,65	0,69	0,06
Media	0,74	0,72	0,67		
Rango	0,05	0,05	0,03		

Tabla 2.9. Prueba Static Compression Value para distintos MCD (Scholten. 1993).

Valores típicos del test de Abrasión Los Angeles para áridos reciclados, están entre un 20% y un 45%.

La naturaleza del material entrante predomina en la configuración del molino en cuanto a la resistencia al desgaste y a la molienda. Los resultados muestran que los áridos de hormigón tienen el máximo Valor de Compresión Estática así como el mínimo porcentaje de pérdidas en el test de Abrasión Los Angeles.

La configuración del molino no tiene una gran influencia en los resultados para el hormigón. En el Valor de Compresión Estática, los áridos (con un 50% mínimo de árido de hormigón, "Mezcla" en la Tabla 2.8) muestran sólo una pequeña diferencia en comparación con el hormigón puro, mientras que la diferencia en el test de Abrasión Los Angeles es significativamente mayor. Los áridos de albañilería muestran un significativo menor Valor de Compresión Estática así como un mayor valor en el test de Abrasión Los Angeles.

En cuanto a la distribución del tamaño del grano, las operaciones de triturado producen típicamente en torno a un 75% de áridos gruesos, y un 25% de áridos finos. La proporción variará según sea el tamaño del material roto así como el diseño de la planta de triturado. La operación de triturado debería ajustarse para maximizar la producción de áridos gruesos, a la vez que se mantiene una distribución típica de su tamaño. En general, los áridos reciclados gruesos son más valorados que los finos (American Concrete Pavement Association. 1993).

Cuando sólo se usan molinos de mandíbula, en la mayoría de los casos los áridos de albañilería no logran cumplir las especificaciones (ver Apéndice I. Sección (I) 31.56.01 y 05) en cuanto al Valor de Compresión Estática (valor de triturado, en el texto).

En cuanto a la forma de las partículas, la especificación en cuanto a partículas planas es de un máximo de un 15% (ver Apéndice I. 31.56.05. y 09). Un molino de mandíbula tiende a producir un producto bastante plano. Cuando se utilizan sólo molinos de mandíbula, se suelen dar este tipo de problemas, especialmente con escombros de albañilería.

Dos problemas específicos relativos a la operación de triturado, serán analizados a continuación.

Triturado de asfalto con tiempo caluroso

El triturado de asfalto puede convertirse en un objetivo difícil cuando se efectúa con tiempo caluroso. En este caso el asfalto se vuelve pegajoso y difícil de moler. Se queda pegado a las paredes del molino, lo que lleva consigo una cierta pérdida de capacidad del molino (en torno a un 20%) (Superfos Construction a/s. Comunicación personal. 1995).

Para evitar este problema lo más posible, algunos proveedores recomiendan usar un molino de impacto debido a su específico comportamiento mecánico. Existen en el mercado algunos tipos de molinos que encaran este problema satisfactoriamente. Se usan normalmente como tercera o cuarta etapas, siendo capaces de procesar cualquier clase de material abrasivo, desmenuzable o pegajoso (pueden aceptar sin mayores problemas materiales inaceptables para los molinos convencionales) (Svedala Svenska AB. 1995).

Triturado de áridos del asfalto

Por último, la importancia de usar molinos adecuados que eviten el triturado de áridos del interior de escombros de asfalto, tiene que ser destacada. Se trata de un objetivo que se ha demostrado complejo de conseguir (Nordberg AB. Comunicación personal. 1995).

Una de la mejores formas de conseguirlo es por medio de molinos de mandíbula. Se comportan mejor que los de impacto ya que cuando se ajustan a 1,2-1,5 veces el tamaño máximo del árido original, los molinos de mandíbula triturarán sólo una pequeña proporción de las partículas del árido original, tanto en el hormigón como en el asfalto. Por el contrario, los molinos de impacto triturarán de la misma manera tanto el mortero viejo como las partículas del árido original, produciendo un árido grueso de menor calidad (Hansen. 1992).

2.3.8 Capacidad

Si por capacidad de la planta se entiende la cantidad de MCD que pueden ser procesados, ambas (fija y móvil) tienen una capacidad similar. Esta viene fijada por la capacidad del molino, pudiendo ambas usar los mismos tipos de molinos.

Las capacidades podrían variar según sea el tipo de material, la distribución granulométrica de la alimentación, el método de alimentación, el contenido en humedad y en arcilla, la densidad del bulbo y las características de fractura de la alimentación. Valores habituales podrían ser de 250 ton/h para una planta fija y en torno a las 100 ton/h para un molino móvil, aunque estos últimos podrían tener capacidades tan altas como las de una planta fija (Nordberg. 1995).

Sin embargo, la disponibilidad del material podría diferir en ambas. Maquinaria tal y como pre-trituradores, máquinas separadoras (tanto manuales como mecánicas), palas, etc., es típica en una planta fija pero no en una móvil. Sin toda esta maquinaria, la velocidad del procesamiento de MCD decrece.

Otro punto importante es el que hace referencia a la existencia de pilas de material en la planta fija, cosa que no ocurre en las proximidades de una planta móvil. Normalmente la planta móvil se desplaza al lugar donde se encuentra almacenado el material de demolición. Si este material es tan limpio que no hace falta cribarlo para separar los distintos componentes que lo componen, puede ser directamente alimentado a la tolva del molino. El proceso así desarrollado implica una alta eficiencia. Ahora bien, una vez que todo el material ha sido triturado, el proceso se tiene que detener. Para el caso de que el MCD sea una mezcla de distintos escombros, la situación se complica aún más ya que no puede comenzar la molienda hasta que no se haya limpiado previamente el material. Estos dos problemas se superan en una planta fija ya que ésta dispone de la maquinaria necesaria para la clasificación y separación del MCD en los distintos tipos de materiales que lo componen. Además, el proceso no deberá detenerse ya que la planta debe disponer de suficiente material almacenado para que esto no ocurra. Por tanto es en este sentido en el que se puede afirmar que una planta fija tiene una mayor capacidad que una móvil.

Para evitar que se den estos problemas en una planta móvil, puede transportarse junto con el molino, toda aquella maquinaria de separación y limpieza, necesaria para clasificar los MCD originales. Esta utilización de maquinaria adicional tendrá, sin embargo, un impacto negativo en la economía por tratarse de un nuevo coste a considerar a la hora de analizar la viabilidad económica del uso de un molino móvil.

En lo que respecta a la calidad final de los áridos, ésta será directamente proporcional a la existencia de suficiente maquinaria de separación. Si están incluidas en la planta, ambas

(tanto las plantas fijas como las móviles) deberán normalmente conseguir una misma calidad en el producto. Esto no ocurrirá si falta algún elemento de dicha maquinaria.

Algunos molinos móviles constan de un solo molino. Esta es una desventaja clara con respecto a las plantas fijas, las cuales suelen contar con dos o incluso tres molinos en su configuración. Sin embargo esta desventaja es mucho más sencilla de aliviar que las dos nombradas con anterioridad. Las especificaciones de calidad en el producto final podrían conseguirse incluso con un sólo molino, mediante un sistema cerrado de trituración (recirculación del material). Por otra parte, en aquellos casos en los que la planta móvil conste de un sólo molino, se puede añadir uno más. Conectando dos molinos móviles se consigue una configuración con un tratamiento secundario (dos molinos) del material. Por supuesto, esta opción implicará un mayor coste provocado por las necesidades de transporte del segundo molino móvil.

Frondistou-Yannas ha analizado en el informe RILEM (Hansen. 1992) la relación entre la cantidad de MCD reciclados y la viabilidad económica de la planta de reciclaje. Su conclusión es que se necesita un mínimo de unas 200.000 ton/año para que la planta de reciclaje sea rentable.

2.3.9 Almacenaje de Materiales

Superficie

Las plantas fijas necesitan una cierta superficie para su instalación. Esa superficie tiene que ser suficiente para almacenar los distintos montones de material, tanto para los materiales entrantes como para los finales, la cadena de triturado (molinos, cintas transportadoras, tamices), salas para los empleados, báscula, caminos para el paso de los camiones, etc.

Por el contrario, las plantas móviles normalmente sólo necesitarán la superficie requerida por la cadena de triturado móvil para su instalación. Dependiendo de la existencia de maquinaria auxiliar como puedan ser un pre-triturador o una pala, la superficie necesaria será mayor o menor. Así mismo, también se necesita espacio para el almacenamiento de los productos reciclados.

A continuación se resumen algunos ejemplos de plantas de reciclaje existentes en la actualidad (ver Tabla 2.9). Muestra tanto la superficie de la planta como el volumen de MCD que procesa.

Empresa	Volumen (ton/año)	Superficie (ha.)
I	80.000-100.000	1,6-2
II	1.200.000	3
III	20.000	2,7

Tabla 2.10. Superficie requerida por plantas de reciclaje (Superfos Construction a/s, RGS'90 y Carl AB. Comunicación personal. 1995).

En esta tabla puede verse que las tres empresas cumplen la afirmación hecha por Lindsell y Mulheron (Recycling of demolition debris. 1985) y recogida por Hansen (RILEM Report 6.1992) en el sentido de que toda planta, para tener suficiente espacio como para poder almacenar el material en distintos montones (pilas), debería tener una superficie deseable mínima de al menos 1 ha.

Materiales entrantes

Para conseguir una mayor eficiencia en el funcionamiento global de la planta, los materiales entrantes tienen que ser almacenados de acuerdo a ciertas reglas. Esto es debido a la gran variedad de materiales entrantes en la planta, muchas veces sin estar siquiera separados desde el lugar de la demolición.

Hay algunas plantas de reciclaje que no aceptan materiales que no hayan sido previamente clasificados según su tipo y calidad. Otras, por el contrario, no tienen este tipo de restricciones, aceptando todo tipo de MCD. En estos casos, las tasas de aceptación requeridas son mucho mayores que las que hay para el caso de materiales previamente clasificados. Esto se explica porque la empresa de reciclaje tiene que limpiar el material empleando maquinaria específica, lo que implica mayores costes (inversión, mantenimiento, personal, etc.).

Típicas pilas (montones) de material almacenado en una planta contienen respectivamente los siguientes materiales: hormigón, escombros de albañilería, asfalto, tierra, papeles, plásticos, metales. También puede haber pilas de MCD mezclados.

Productos reciclados

Así como en los materiales entrantes, el almacenamiento también es un asunto de importancia para los materiales reciclados. Productos diferentes habrán de ser almacenados

en montones diferentes (hormigón, asfalto, albañilería, etc.). Pero no sólo es el tipo de material lo que diferencia: también los diferentes tamaños del material implican que ha de almacenarse en un montón diferente.

Otros aspectos importantes que hacen referencia al almacenamiento de los productos reciclados son (B.C.S.J. 1981):

- El árido reciclado grueso deberá ser almacenado en un montón distinto al del árido reciclado fino.
- El árido reciclado deberá ser almacenado y transportado de forma tal que se prevenga tanto su rotura como su segregación, para evitar cambios en la calidad del árido reciclado. Para conseguir esto, debería bastar con un rociado periódico del material con agua (Scholten. 1993).
- La absorción de agua en los áridos reciclados gruesos del hormigón es grande; por tanto, estos áridos deberían usarse normalmente en condiciones de saturación y de superficie seca. Por esta razón, la superficie destinada al almacenamiento del árido reciclado debería contar con instalaciones de rociado con agua para que los áridos reciclados gruesos puedan mantenerse con la requerida condición de humedad. Sin embargo, tanto algo de cemento Portland no hidratado como cal hidratada están presentes en los áridos reciclados finos, existiendo peligro de que dichos áridos finos puedan endurecerse con el tiempo. Por tanto, los áridos reciclados finos no deberían mantenerse almacenados por períodos de tiempo mayores.
- Los áridos reciclados deberán ser almacenados separadamente de los áridos vírgenes. La razón para se basa en el aspecto mencionado antes (la necesidad de unas condiciones de humedad especiales para los áridos reciclados y no para los vírgenes).

3. Diseño de una Planta de Reciclaje

3.1 Restricciones para el Diseño de una Planta de Reciclaje en la Región de Estocolmo

Plano de Localización de la Región de Estocolmo (Suecia)

Cifras de Interés

Superficie y población (Ver Tabla 3.1)

	Superficie, km ²	Población	Habitantes/km ²
Ciudad de Estocolmo	187	674.452	3.601
Gran Estocolmo	3.455	1.491.726	432
Condado de Estocolmo	6.488	1.641.669	253

Tabla 3.1. Superficie, población y densidad de población.

Actividad constructora (Statistik årsbok för Stockholm. 1992)

La Figura 3.1 de abajo muestra los cambios tanto en el número de apartamentos completos ("Färdigställda i nya hus") como en los edificios demolidos ("Helt rivna") en Estocolmo a lo largo de este siglo.

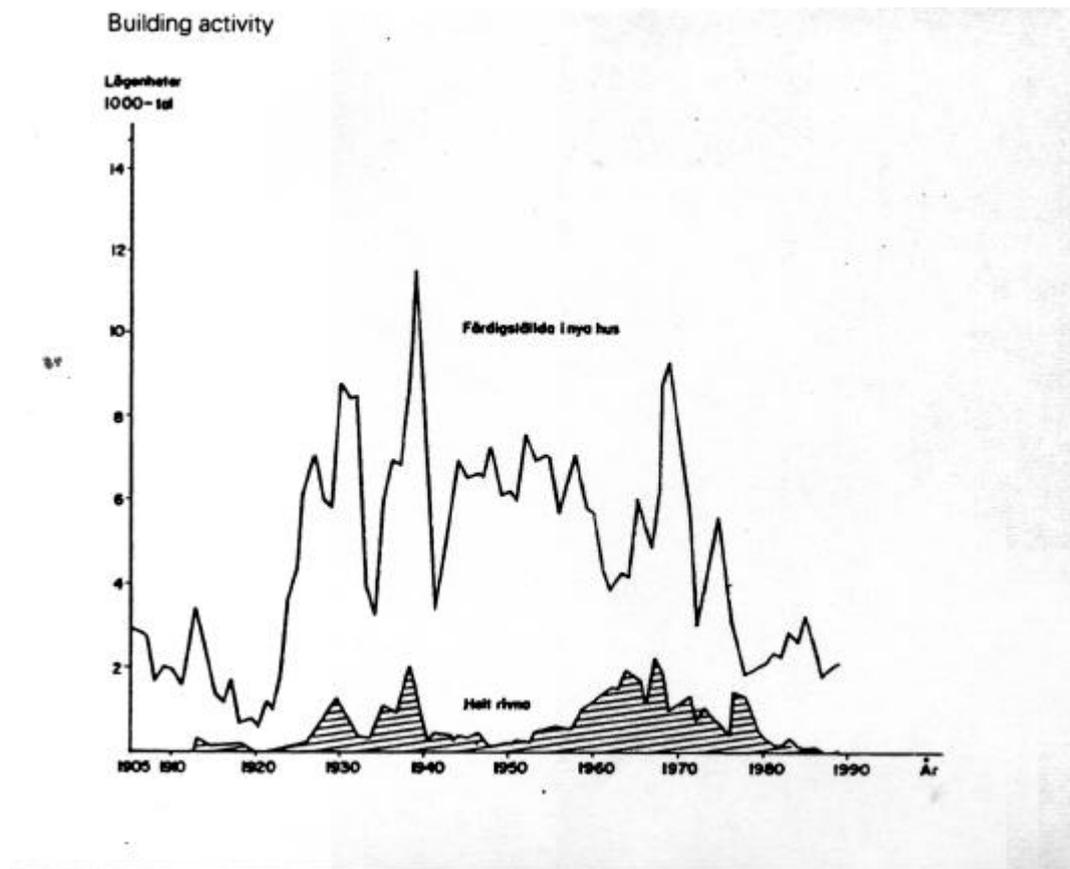


Figura 3.1. Actividad constructora en Estocolmo

3.1.1 Volumen Disponible de Materiales de Construcción y Demolición

Materiales procedentes de procesos de construcción y demolición (se excluyen los procesos de excavación): 450.000-500.000 toneladas por año (400.000 toneladas de material mineral y 30.000-80.000 toneladas de productos secundarios como plástico, papel, etc.). Estas cifras representan el 25% del total de Suecia.

3.1.2 Precios de Áridos (Naturales)

Los precios de áridos naturales en Estocolmo son (AB Underås. 1995):

- Grava para capa base (0-32 mm): 1.500 pta./ton
- Material sub-base (0-90 mm): 1.340 pta./ton

3.1.3 Precio del Terreno (Planta Fija)

El coste del alquiler del terreno necesario para la ubicación de una planta fija en Värtan-Frihamnen es de 3.400 pta./m² año (Stockholms Hamn. Comunicación personal. 1995).

3.1.4 Jurisdiccional y Política

3.1.4.1 Plan de Demolición

El 'Rivningsplan' (Plan de Demolición) es una proposición de ley que debió entrar en vigor el 1 de enero de 1996, en Suecia. Describe cómo debería producirse todo proceso de demolición, describiéndose todos los tipos distintos de materiales demolidos (Kommunal översiktsplanering enligt plan-och bygglagen. 1995).

Debería garantizar materiales limpios a la entrada de la planta. Aquellos materiales que sean del mismo tipo, deben ser almacenados en el mismo lugar.

3.1.4.2 Impuestos

No existen regulación ninguna que penalice, mediante impuestos, el vertido de MCD en la Región de Estocolmo. Esta ausencia de impuestos hace muy difícil, cuando no imposible, que las empresas pudieran encontrar algún interés en la actividad del reciclaje ya que eso significaría mayores costes (el empresario del reciclaje les cobraría algunas tasas por la aceptación del material en su planta).

3.1.4.3 Tasas sobre Vertidos

Aproximadamente son de 200 pta./ton de MCD.

3.1.5 Calidad del Material Reciclado

No hay especificaciones para el uso de MCD en la legislación nacional sueca.

El estándar de calidad que se aplicará a los productos finales es el correspondiente al vigente en Los Países Bajos, en lo que se refiere al hormigón y a la mampostería (Apéndice I. (I)). Sin embargo, las distribuciones del tamaño de partículas tendrán que cumplir con las regulaciones de la Administración Nacional Sueca de Carreteras.

En cuanto al asfalto, sus especificaciones de calidad serán aquellas incluidas en la legislación danesa (Apéndice I. (II)).

A continuación, se detalla una comparación entre los áridos naturales y reciclados. El objetivo de esta comparación es mostrar que los áridos reciclados tienen una calidad similar que los naturales, de forma que no pueda dudarse en cuanto a su uso potencial como material para base y sub-base.

Comparación áridos naturales/reciclados

- Las partículas gruesas del árido producidas mediante el triturado de hormigón, tienen una correcta forma así como un porcentaje de absorción de agua mayor que el mortero de cemento pegado a las partículas. Valores típicos (ofrecidos por (Hansen y Narud. 1983) y mencionados por Hansen (1992)) oscilan entre un 3,7% para partículas de tamaños 16-32 mm, y un 8,7%, para las de 4-8 mm.. Los valores de absorción crecen a medida que disminuye el tamaño de la partícula. Los áridos reciclados tienen una baja gravedad específica en comparación con los áridos minerales convencionales. A medida que disminuye el tamaño de la partícula, desciende progresivamente la gravedad específica volumétrica (Yrjanson. 1989).
- Los áridos gruesos producidos a partir del triturado de hormigón de cemento Portland, tuvieron un comportamiento superior a la grava natural en pruebas tendentes a evaluar el efecto de las propiedades agregantes en cuanto a la durabilidad del hormigón en pruebas de congelación-deshielo. Las propiedades de los áridos finos del hormigón de cemento Portland reciclado, fueron básicamente comparables a las de durabilidad de la arena de referencia (Yrjanson. 1989).
- Los áridos reciclados y procesados hechos a partir de escombros de edificios mezclados, contendrán normalmente menos de un 1% de agentes contaminantes, lo cual puede ser suficientemente bueno para su uso en la construcción de carreteras. Un contenido mayor en agentes contaminantes implicaría que dichos áridos no puedan competir con los naturales en el mercado de la construcción de carreteras.

El uso de asfalto reciclado para nuevos pavimentos podría aumentar en el futuro, conforme lo hagan tanto la experiencia como la familiaridad en los áridos reciclados. A pesar de que el asfalto reciclado es usado básicamente como material para la capa base, algunos intentos exitosos se han dado también en cuanto a su uso como material para la capa de desgaste (pavimento), principalmente en los E.E.U.U.

Ensayos efectuados en áridos reciclados gruesos muestran valores típicos de 3 o menos en cuanto al ensayo de seguridad de sulfatos (Hansen. 1992), que está muy por debajo de valores de riesgo (American Concrete Pavement Association. 1993).

En cuanto a la susceptibilidad a la congelación, algunos estudios (O'Mahony. 1994) han concluido que el hormigón reciclado parece ser susceptible a la congelación; sin embargo, se necesitarían posteriores ensayos para confirmarlo. Por el contrario, ensayos de resistencia a la congelación efectuados en albañilería de demolición indicaron que este material se encuentra en una zona intermedia, aunque parecía comportarse mejor que el hormigón. Sin embargo, el hormigón triturado ha demostrado tener un efecto de auto-cementado transcurrido algún tiempo tras la colocación. La adición de cemento a los áridos reduce la susceptibilidad a la congelación. Teniendo en cuenta que tanto el hormigón triturado como la mampostería de demolición contienen cantidades de cemento relativamente grandes, su comportamiento real (considerado después de algunos meses desde la colocación) puede ser mejor que el medido justo tras la colocación. El rociado de los áridos reciclados de forma tal que se conserven en unas determinadas condiciones de humedad, evitará en gran medida las probabilidades de congelación. Cuanta menor sea la cantidad de finos en el hormigón, mejor será el comportamiento del hormigón reciclado, en lo que respecta a la susceptibilidad a la congelación (O'Mahony. 1994).

Por último, la Tabla 2.8 mostraba que, tanto el ensayo de Abrasión Los Angeles, como el del Valor de Triturado, aplicados en reciclados áridos, dan valores seguros dentro de las Regulaciones de los Países Bajos.

3.1.6 Exigencias Medio-Ambientales

El organismo medioambiental de la Diputación es el encargado de dar el permiso para la construcción de la planta, caso de que se cumplan las exigencias medioambientales. Estas exigencias son:

- Calidad de los materiales que entran en la planta. Esta exigencia se refiere al riesgo de tener agentes contaminantes asociados a los materiales entrantes (tales como explosivos, productos químicos, tuberías de plomo, etc.).
- Ruido producido por la normal actividad en la planta. Tiene que estar limitado. Estos límites dependerán, por ejemplo, de la existencia o no de zonas residenciales próximas a la planta. La Tabla 3.2 muestra los actuales límites de ruido que tienen que cumplirse en Suecia.

Nivel sonoro equivalente en dBA

Áreas de uso ¹	Día (07-18h)	Tardes (18-22h), Domingos y festivos (07-18h)	Noche (22-07h)	Sonido nocturno (22-07h) instantáneo ⁴
Lugares de trabajo de interior para actividades de poco ruido	60	55	50	.
Viviendas y zonas de recreo en lugares de trabajo de interior en vecindarios así como centros educativos y de salud	50	45	40 ²	55
Zonas de recreo en contacto con la naturaleza ³	40	35	35	50

Tabla 3.2. Valores de ruido industrial exterior, dados como nivel de sonido equivalente en dBA, que han de cumplirse en Suecia.

1 En aquellos casos en los que los alrededores no pertenezcan a las categorías de la columna, el umbral de ruido habrá de establecerse de alguna manera, por ejemplo como nivel de ruido en el límite de la superficie considerada o a una cierta distancia de la planta.

2 El valor nocturno no es aplicable en el interior de centros educativos

- 3 Importante en superficies destinadas tanto a zonas de recreo como vacacionales
- 4 Exposición al máximo nivel de ruido " RÁPIDO" , en dBA

Por otra parte, la exposición personal al ruido debería estar limitada a 90 decibelios para días de 8 horas. En el caso de palas cargadoras, máquinas apisonadoras, etc., esto se puede conseguir mediante cabinas insonorizadas en las mismas. Así mismo, los operadores de la planta tratarán de disponer de posiciones de trabajo aisladas. El personal que se encuentre en torno a la planta durante su funcionamiento deberá estar protegido por controles bien administrativos, bien de ingeniería (Hansen. 1992).

Cifras del ruido del tráfico en Estocolmo (Statistik årsbok för Stockholm. 1992), muestran que en 1990, un 32,3% de sus carreteras y calles, tuvieron un nivel de ruido de 65-70 dBA. Un 13,2% estuvieron expuestas a niveles de ruido mayores de 75dBA. Los valores para los segmentos de ruido de 60-65 dBA así como 70-75 dBA fueron, respectivamente, 27,6% y 26,9%. Contrastando estos valores con los de la tabla se puede apreciar cómo, únicamente con el ruido procedente del tráfico, se sobrepasan los valores máximos permitidos.

- Vibraciones. No tienen gran importancia en el proceso de molienda llevado a cabo en la planta. En condiciones normales, nunca se alcanzarán valores máximos en torno a 2-3 mm/s.
- Riesgo de contaminación del agua, tanto superficial como subterránea. Podría ser conveniente tener un programa de seguimiento con mediciones de algunos parámetros relativos a la calidad del agua, para comprobar que la actividad desarrollada en la planta no afecta a dicha calidad. El Ayuntamiento aún no ha decidido si el programa de seguimiento debería ser obligatorio en la planta, para poder obtener el correspondiente permiso para ejercer esta actividad industrial. En algunos casos, el agua superficial tendrá que ser recogida y enviada a un tanque de sedimentación con un separador aceitoso, para eliminar los contaminantes. En cuanto a la calidad del agua subterránea, deberá hacerse una comparación (dentro del programa preventivo) entre los valores de parámetros relativos a la calidad del agua anteriores y posteriores al comienzo de la actividad en la planta.
- Polvo. Aparece en la planta provocado por los procesos de cribado y molienda. Programa de seguimiento. Medidas correctoras para solucionar el problema.

3.1.7 Costes de Transporte

Para calcular los costes derivados del transporte, se han hecho las siguientes suposiciones:

1. El coste del transporte en sí mismo será de 20 pta./ton•km
2. Los lugares de demolición se supondrán concentrados en el interior de la ciudad de Estocolmo
3. La cantidad de material que se depositará en cada vertedero será inversamente proporcional a la distancia que lo separe del lugar de demolición

Una vez dicho esto, se calcularán los costes provocados por el transporte del material de demolición desde los lugares de demolición hasta los vertederos de la Región de Estocolmo. Como se explicó anteriormente en otro apartado de este estudio, este coste es típico de una situación de ausencia de reciclaje, en la que todos los MCD son arrojados a vertederos. Estos costes de transporte son asumidos por las compañías de demolición que, además, han de asumir otros costes asociados: tasas e impuestos por vertidos.

La Tabla 3.3 muestra los costes de transporte hacia los vertederos de la Región de Estocolmo.

Vertedero	Distancia desde el lugar de demolición (Km)	% del total de MCD generados, vertidos aquí
Skå	11	8
Sofielund	9	10
Björkholmen	28	3
Häverö	49	2
Brista	20	4

Vertedero	Distancia desde el lugar de demolición (Km)	% del total de MCD generados, vertidos aquí
Högdalen	4	21
Tveta	20	4
Hagby	10	9
Högbytorp	20	4
Ed	14	6
Högdala	13	7
Löt	22	4
Kovik	10	9
Brännbacken	15	6
Salmunge	29	3
TOTAL	274	100

Tabla 3.3. Transporte de MCD a vertederos, (suposición).

Costes Totales: 117.360.000 pta.

Estos costes han sido calculados multiplicando los siguientes factores:

- Distancia lugares demolición a vertederos (km): columna 1

- Cantidad total de MCD generados en la Región de Estocolmo (ton/año): 450.000 (ver apartado 3.1.1)
- Porcentaje de dicha cantidad que es vertido: columna 2
- Coste de transporte (pta./ton•km): 1 (ver suposición 1)

3.1.8 Precios de los Productos Secundarios

- Acero. Cliente, Gotthard Nilsson AB (Gotthards) (Agosto 1995)
 - Piezas pequeñas (<1 m): 8.000 pta./ton
 - Piezas grandes (>1 m): 5.000 pta./ton
- Material para incineración (plástico, papel). Cliente, Stockholm Energi AB. Debido a la saturación existente en las plantas de incineración en Estocolmo, el precio para este producto será de 0 pta./ton (Noviembre 1995)

3.2 Diseño de una Planta

3.2.1 Planta Fija

3.2.1.1 Comentarios al Diseño

Se han hecho las siguientes suposiciones relacionadas con los costes de transporte una vez la planta haya iniciado su actividad:

- Serán reciclados el 100% de los MCD generados en los procesos de demolición
- 500.000 toneladas de áridos reciclados equivaldrán, a la hora de su aplicación en carreteras, a 320.000 toneladas de áridos naturales

A continuación se explicará por qué una situación de reciclaje implicaría ahorros económicos.

El uso de materiales reciclables (áridos, en este caso), siempre supondrá la no-utilización de recursos naturales vírgenes: los materiales reciclados los substituyen. Debido al ahorro que se produciría por no tener que transportar esos materiales vírgenes a las zonas de construcción, una situación de reciclaje también implicaría ahorros, como ya se ha indicado.

La cantidad de áridos naturales que podrían ahorrarse utilizando los reciclados, no coincidirá exactamente con las 450.000 toneladas/año nombradas con anterioridad puesto que esa cifra incluye tanto el material mineral como los productos secundarios. Lógicamente, sólo el material mineral será objeto de reciclaje para su uso en construcción de carreteras; luego, sólo este tipo de material será el que haya que contabilizar como sustituto de los áridos naturales. La cantidad de materiales minerales generados en la Región de Estocolmo es (ver apartado 3.1) de 400.000 toneladas/año.

Con base en las suposiciones hechas, puede decirse que unas 409.750 toneladas/año de áridos reciclados substituirían unas 259.040 toneladas/año de áridos naturales vírgenes. Esto representa un 5,3% del total de áridos naturales necesarios en la Región para la construcción de carreteras.

Dichos áridos naturales son transportados a la ciudad desde distintos municipios. La Tabla 3.4 los lista, así como información adicional de interés necesaria para calcular la distancia media de las distintas canteras de gravas y rocas naturales, hasta la ciudad de Estocolmo, donde se asumió que estarían concentradas las principales construcciones de carreteras.

Municipio	Material extraído para carreteras, toneladas*	Porcentaje sobre el total, %	Distancia a Estocolmo, km	Distancia promediada, km**
Botkyrka	631.059	13	13	1,7
Norrtälje	758.940	15,7	34	5,3
Ekerö	399.547	8,2	13	1,1
Södertälje	347.305	7,2	23	1,7
Upplands Väsby	491.322	9,9	15	1,5
Vallentuna	372.751	7,7	19	1,5
Sigtuna	197.138	4,1	22	0,9

Municipio	Material extraído para carreteras, toneladas*	Porcentaje sobre el total, %	Distancia a Estocolmo, km	Distancia promediada, km**
Stockholm	289.900	5,9	-	-
Haninge	292.303	6	13	0,8
Solna	196.992	4,1	4	0,2
Sollentuna	296.400	6,1	10	0,6
Upplands-Bro	99.604	2,1	21	0,4
österåker	211.376	4,4	17	0,3
Värmdö	83.577	1,7	17	0,3
Huddinge	92.100	1,9	8	0,2
Nynäshamn	33.508	0,7	26	0,2
Lidingö	50.960	1,1	4	0
Nacka	12.000	0,2	6	0
Total	9.851.782	100	-	17,1

Tabla 3.4. Distancia media a las canteras en la Región de Estocolmo

* Janson. 1995

** Distancia entre la cantera y Estocolmo, promediada teniendo en cuenta la cantidad de material producido en dicha cantera

Los ahorros en el transporte de materiales naturales (que no habría que extraer), unos 18 km. (redondeando los 17,1 km. de la tabla puesto que esta cifra ha considerado caminos rectos, cuando no siempre es así), se calculan multiplicando la distancia (18 km.), la cantidad de material transportado (288.000 toneladas/año) y el coste del transporte (20 pta./km•toneladas). Por tanto:

- Ahorro en Transporte de Áridos Naturales: 93.254.400 pta./año

Los cambios que provocaría la puesta en funcionamiento de la planta fija de reciclaje se detallan a continuación.

Los costes de transporte en este caso son debidos al transporte del material reciclable desde los lugares de demolición hasta la planta de reciclaje. Usando el mismo procedimiento anterior para calcular este coste, las cifras ahora son:

- Distancia entre los lugares de demolición y la planta: 3 km.
- Porcentaje del material que será transportado: 100% (suposición)
- Cantidad total de MCD generados en la Región de Estocolmo (toneladas/año):
450.000 toneladas/año
- Coste de transporte (pta./toneladas•km): 20

Estos costes de transporte serán pagados por las empresas constructoras que llevan a cabo la demolición. Además, tendrán que pagar una tasa por la aceptación de sus materiales al contratista de la planta para que éste acepte el material. Por tanto:

- Coste del Transporte del Material Demolido a la Planta: 27.000.000 pta./año

A continuación se incluye una simple estimación del coste de transportar los áridos reciclados hasta el interior de la ciudad, distante 3 km. (no han sido considerados en esta estimación la eliminación tanto de la arena como de los productos de deshecho):

- Distancia entre la planta y el centro de la ciudad: 3 km.
- Cantidad de material a transportar: 403.750 toneladas/año
- Coste del transporte: 20 pta./toneladas•km

Multiplicando los tres factores, el coste que se obtiene es de:

24.225.000 pta./año

El ahorro en transporte logrado al pasar de una situación de no-reciclaje a otra de reciclaje se calcula a continuación:

- Situación de no-reciclaje: 210.614.400 Pta./año
 - Transporte a vertederos: 117.360.000 Pta./año
 - Transporte de materia prima: 193.254.400 Pta./año

- Situación de reciclaje: 51.225.000 Pta./año
 - Transporte a la planta: 27.000.000 Pta./año
 - Transporte al centro de la ciudad: 24.225.000 Pta./año

Ahorro Total:

159.389.400 Pta./año (76%)

Por tanto, en una situación de reciclaje se ahorraría un 76% en costes de transporte en comparación con una situación de no reciclaje.

Otros comentarios al diseño aparte de los que se derivan del transporte son:

- La separación de finos (material de hasta 8 mm que se introduce en el alimentador ha sido incluida dentro del proceso. La razón para esta inclusión se basa en la disminución de probabilidades de tener posible contaminantes en el árido final. Estos contaminantes estarían, posiblemente, en los finos.

Además de esa decisión, la comprobación de la calidad del material entrante en la planta dará al empresario la posibilidad de rechazar aquel material que no cumpla especificaciones. La experiencia ha demostrado que es prácticamente imposible la eliminación de todas las impurezas dentro de la planta con la tecnología de la que se dispone en la actualidad.

Las tecnologías de separación deben ser suficientes para asegurar que el producto final cumple especificaciones.

- La configuración del molino ha sido elegida en base a estudios de plantas actualmente operativas, así como a las propiedades exigibles al producto final tales como distribución de tamaños, forma de las partículas, etc.

Para la primera reducción se considerado idóneo el molino de mandíbula simple.

Como molino secundario se ha elegido el de cono por generar buen material cúbico así como una cantidad media de finos.

En cuanto al triturado de asfalto en tiempo cálido, la experiencia ha demostrado que el tipo de molino más adecuado es el de impacto.

Su desestimación como molino ideal se ha basado en las siguientes consideraciones:

- Produciría muchos más finos (debido a su alto grado de reducción) de los especificados para los productos finales en cuestión.

- Mayores desgaste y consumo energético que en el molino cónico.
- Su mejor rendimiento para triturar asfalto en tiempo cálido no supondría una gran ventaja en una región como la Región de Estocolmo, que no se caracteriza precisamente por sus prolongadas altas temperaturas. En los cortos períodos cálidos bastaría triturar otros materiales y no asfalto.
- Los molinos de mandíbula son los mejores en cuanto a minimizar el triturado de los áridos incorporados en el asfalto.

3.2.1.2 Emplazamiento. Superficie

Emplazamiento

Värtan-Frihamnen podría, para la Región de Estocolmo, cumplir con las condiciones generales recomendadas para instalar una planta industrial.

Se trata de un polígono industrial situado unos 3 km. al NE de Gamla Stan, la zona centro de la Ciudad de Estocolmo. Posee unas condiciones óptimas para albergar la planta: un puerto de mar (el principal de Estocolmo) donde el material podría recibirse y/o enviarse mediante buques; se encuentra muy bien conectado con la ciudad por carreteras de circunvalación. La asistencia diaria de los empleados a la planta se vería facilitada por la existencia de una estación de transporte metropolitano muy cerca del polígono industrial. Existe además un ferrocarril que accede al polígono, el cual permitiría transportar el material por tierra. Por tanto, ya sea mediante buques, camiones o trenes, el material podría entrar y salir con facilidad en dicho polígono industrial. Es de un especial interés la existencia en la zona de un sistema de recogida de aguas superficiales para su tratamiento, antes de que alcancen el mar. La ausencia de zonas residenciales en los alrededores de la planta minimiza el riesgo de problemas como puedan ser el de la contaminación por ruido. La planta estaría rodeada fundamentalmente por otras plantas industriales así como por oficinas.

El principal apoyo a la elección de este lugar para la ubicación de la planta viene del Ayuntamiento de Estocolmo, quien en su informe sobre la planificación urbanística de la ciudad para los próximos 30 años (Stadsbyggnads Kontoret. 1995), dice que "Värtan-Frihamnen será principalmente utilizada como puerto así como otras actividades generadoras de ruido, por ejemplo, distintas plantas de reciclaje". Ver Figura 3.2.

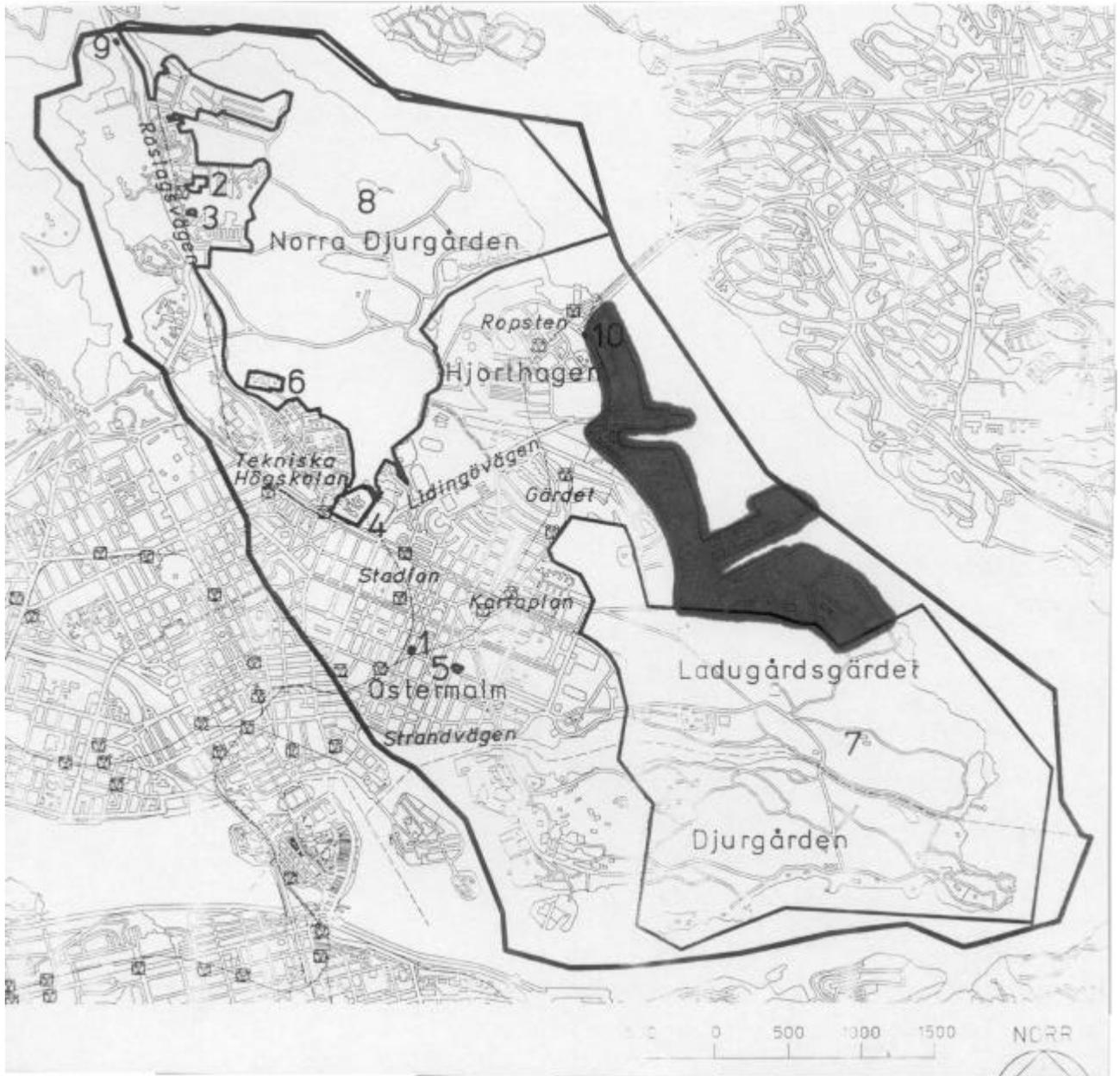


Figura 3.2. Värtan-Frihamnen (zona oscurecida)

Superficie

Datos recogidos de plantas similares operativas en la actualidad, así como la capacidad considerada para la planta objeto del diseño (ver 10.1.2), dan una cifra para la superficie requerida de 2,5-3 ha.

A continuación se muestra un plano con los principales elementos de la planta (Figura 3.3).

A:	arena (0-8 mm)	4:	alimentador vibratorio
PS:	productos secundarios	5:	molino de mandíbula (con filtro anti-polvo)
MSS:	material sin separar	6:	separador magnético
HM:	hormigón/mampostería	7:	cabina de separación
H:	hormigón	8:	separador magnético (pequeño)
AC:	acero	9:	cinta transportadora reversible
M:	mampostería	10:	tamiz para sub-base (120 mm)
AS:	asfalto	11:	tamiz para base (40 mm)
MHA:	mampostería/hormigón/asfalto	12:	alimentador al molino de cono
HA:	hormigón/asfalto	13:	molino de cono
AR:	árido reciclado	14:	aparato succionador
1:	entrada/salida	15:	cubierta
2:	báscula	16:	cinta transportadora cubierta
3:	rampa	17:	regado

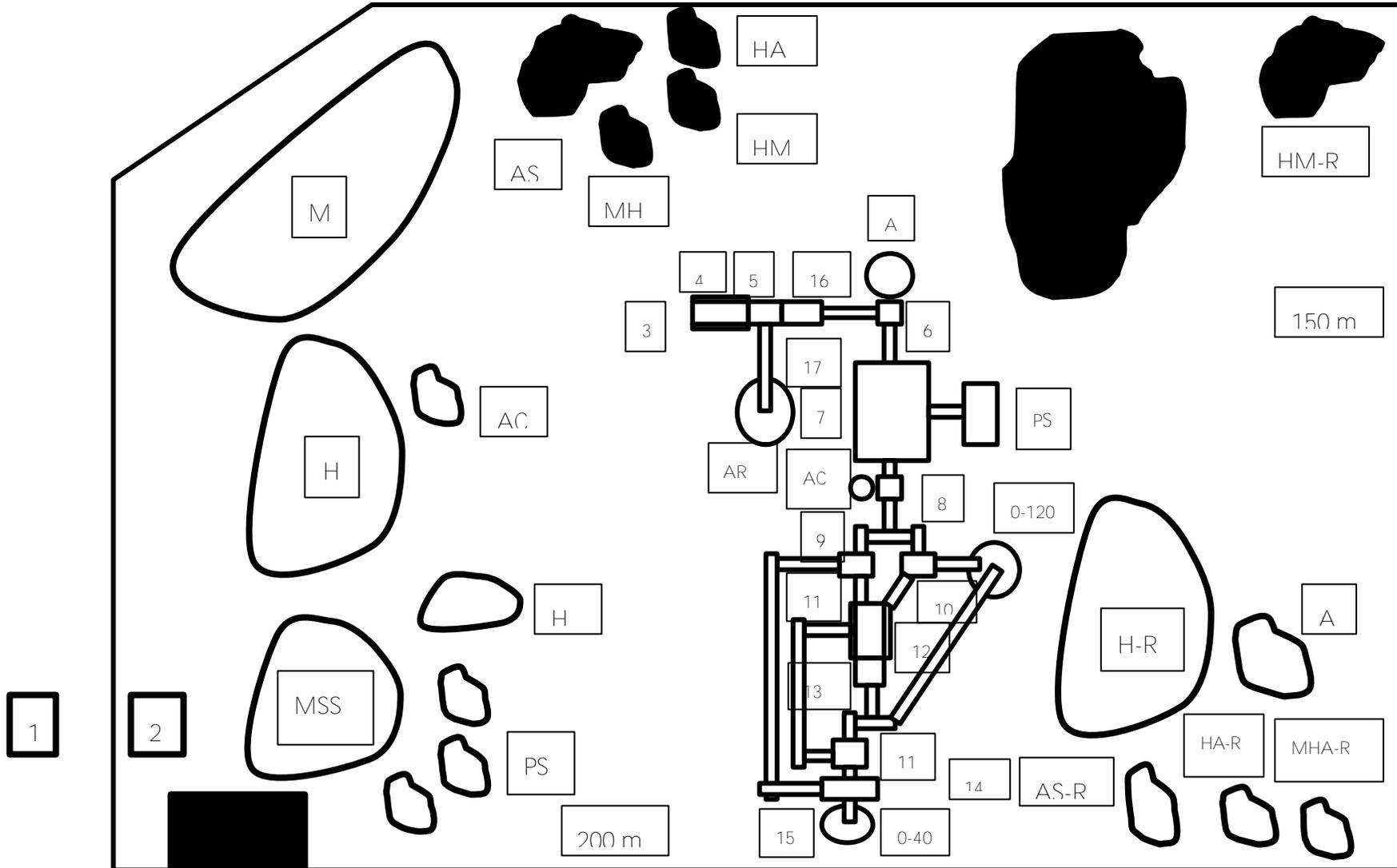


Figura 3.3. Plano planta típica.

3.2.1.3 Calidad del Material. Capacidad. Productos

Calidad del material

En lo que respecta a la calidad exigida a los MCD para ser admitidos en la planta, se aceptarán toda clase de ellos, incluso contaminados (sin clasificar, mezclados). La planta constará de todas aquellas tecnologías de separación necesarias para clasificar el material entrante lo más posible para reducir a la mínima extensión la posibilidad de contaminantes remanentes en el material.

En principio, los materiales que serán aceptados para ser reciclados en la planta son los mostrados en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4. MCD entrantes en la planta.

Tipo	Cantidad (toneladas/año)	% del total
Hormigón*	139.125	31
Asfalto	40.000	9
Mampostería	157.675	35
Hormigón/Asfalto	9.499	1
Hormigón/Mampostería	1.923	0,4
Asfalto/Mampostería	3.202	1
Mampostería/Hormigón/ Asfalto	3.576	1
Hormigón/Mampostería con productos secundarios	100.000	22
Total	450.000	100

* El único producto que puede estar ligado al hormigón será el acero. Debido a una ausencia de información, se asumirá un porcentaje de hormigón armado sobre el total del hormigón, con vistas al posterior análisis económico. Este porcentaje asumido será del 50%.

Para obtener las cifras anteriores, se han hecho las siguientes suposiciones:

1. Un 75% de los procesos de demolición serán selectivos (sin productos secundarios ligados al material)
2. La cantidad total de asfalto de demolición será de 50.000 toneladas/año
3. Hormigón, mampostería y productos secundarios se dan, respectivamente, en las siguientes proporciones en los materiales de demolición en Suecia: 33 /38 / 29
4. Un 80% del material reciclable (hormigón, asfalto, mampostería) será puro (sin mezclar)
5. Los materiales mezclados entrantes indicados en la Tabla 3.4 arriba, contendrán los siguientes porcentajes:
 - Hormigón/Mampostería (principales materiales generados en los procesos de demolición): 50%
 - Mampostería/Hormigón/Asfalto: 15%
 - Asfalto/Mampostería: 20%
 - Hormigón/Asfalto: 15%

En cuanto a las mezclas de dos o tres materiales minerales, podría ocurrir que la distinción entre las distintas mezclas no sea tan clara en la realidad. Las mezclas hormigón/asfalto y mampostería/hormigón/asfalto podrían formar parte de la misma pila de material (los áridos reciclados producidos a partir de estos materiales se emplearán como material base en carreteras). Lo mismo puede decirse sobre las mezclas hormigón/mampostería y asfalto/mampostería (material sub-base, será su uso final).

Capacidad

En un principio la planta será diseñada para procesar un flujo entrante de materiales de 400.000-500.000 toneladas/año. Este volumen incluye tanto materiales minerales como productos secundarios.

Para tener una idea aproximada sobre la capacidad exigible a la maquinaria en la planta, se tiene que hacer una suposición en cuanto al número de horas laborables al año. Se asumirá la cifra operativa en Suecia, esto es, 1.700 horas laborales por año.

Con base en dicho número de horas y considerando como cantidad total de MCD, 450.000 toneladas/año, la capacidad de la planta será de 265 toneladas/h. Esta cifra se ha obtenido simplemente dividiendo la cantidad de material a procesar en la planta por el número de

horas laborables al año. Se ha supuesto que siempre habrá en la planta el suficiente material acumulado necesario para que la actividad en la planta no se tenga que detener.

Productos

Dos serán los productos finales de la planta para ser usados como áridos reciclados para la construcción de carreteras. Estos son:

- Material sub-base: material mineral triturado, de tamaño 0-120 mm (57% del total de áridos reciclados producidos)
- Material base: material mineral triturado, de tamaño 0-40 mm (43%)

Productos secundarios obtenidos del proceso de reciclaje son:

- Cenizas de coque: 8% del total de productos secundarios generados en la planta
- Escayola: 31%
- Madera: 38%
- Acero: 4%
- Otros: 19%

3.2.1.4 Flujo del Proceso de Reciclaje

En principio, el flujo del proceso en la planta de reciclaje será como sigue:

1. Los camiones cargados de material entran en la planta
2. Son pesados en la báscula
3. El material es descargado en 7 pilas distintas de material: hormigón, asfalto, mampostería, mezcla, hormigón/asfalto, hormigón/mampostería y mampostería/hormigón/asfalto. Se asumirá que la mezcla constará en un 29% de productos secundarios, siendo el 71% restante material mineral. Esta suposición está basada en el contenido medio tanto de materiales minerales como de productos secundarios en los materiales de demolición en Suecia (Sigfrid. 1994).
4. La pila de material mezclado se clasificará utilizando palas, de manera que se generen nuevas pilas de material ya clasificado:

- mezcla clasificada (material mineral)
- productos secundarios: al menos 5 nuevas pilas de material conteniendo respectivamente, madera, escayola, cenizas de coque, acero y otros.

Un factor crucial en este punto del proceso es el ser capaz de estimar o suponer cuál será la eficiencia de este proceso de separación/clasificación. Las exigencias de calidad que hay que cumplir (ver Regulaciones de los Países Bajos, en el Apéndice I), indican que los áridos reciclados finales podrán contener un máximo de un 1% en peso, de productos secundarios. La Tabla 3.5 muestra, para distintos grados de eficiencia en la separación, la cantidad de productos secundarios que se obtendrían en esta etapa del proceso:

Eficiencia conseguida, %	Productos secundarios eliminados, toneladas/año	Productos secundarios a eliminar, toneladas/año*
70	20.300	8.025
80	23.200	5.125
90	26.100	2.225
95	27.550	775

Tabla 3.5. Productos secundarios eliminados del material mezclado.

* De las 71.000 toneladas/año de material mineral mezclado con productos secundarios, un 5% serán eliminadas como arena/tierra al entrar en el alimentador vibratorio (ver punto 6 del flujo del proceso). Un 1% del material mineral restante (esto es, unas 675 toneladas/año) es la máxima cantidad autorizada de productos secundarios que pueden contener los áridos reciclados finales.

5. Pre-rotura mediante un martillo mecánico, de todas las piezas (situadas en las distintas pilas) mayores de 750 mm (apertura máxima del alimentador). Cuando el material pretriturado es hormigón armado, se obtendrá acero como producto secundario, en esta operación.
6. Una pala cargará el material en el alimentador vibratorio. Se generará una nueva pila de material conteniendo arena/tierra. Se supondrá que un 5% del material que entra al alimentador es arena/tierra (suposición basada en procesos operativos en la actualidad).

7. El material se dirige al molino (primario) de mandíbula: ajuste de la cara cerrada, 125 mm. Tamaño máximo de material aceptado: 750 mm. Capacidad: 140-195 toneladas/h. En torno a un 65% del material que llega al alimentador será triturado. Del 35% restante, un 5% será material del tamaño 0-8 mm, siendo el resto (30%) material 8-60 que abandonará el molino junto con el material triturado. Este material (8-60) no es triturado puesto que es lo suficientemente pequeño como para no serlo en este primer molino. De esta manera (evitando el triturado de ese material), la eficiencia del molino de mandíbula aumenta (ya que no se tritura aquel material que, debido a su pequeño tamaño, no lo necesita), así como su capacidad. En torno a un 25% del material triturado será menor de 40 mm; un 65% lo será de 125 mm (ajuste de la cara cerrada) y el 100% será menor de 200 mm. Para reducir la generación de polvo, se instalará un filtro dentro de la unidad de triturado (alimentador más molino).
8. El material será transportado en una cinta transportadora (en su primera mitad, la cinta estará cubierta para evitar el polvo generado en el molino) pasando bajo un imán. Se generará una pila de acero.
9. El material es rociado con agua para evitar el polvo en la siguiente etapa: separación manual.
10. La cinta transportadora llevará el material hasta la zona de separación manual en la que hay varios empleados que recogerán cualquier material de naturaleza no mineral, depositándolos en sus correspondientes pilas (madera, escayola, cenizas de coque, acero, otros). Dependiendo del grado de eficiencia logrado en la etapa de separación mecánica, a esta etapa llegará una cierta cantidad de material no mineral (como se vio en la Tabla 3.5). El número de empleados necesarios para recoger este material, se calculará con base en la siguiente suposición: cada trabajador podrá recoger un máximo de 20 kg./min. de material no mineral. Esto viene reflejado en la Tabla 3.6:

Eficacia, %	Cantidad a separar, toneladas/año	Cantidad a separar, kg./min.	Número de empleados
70	8.025	79	3-4
80	5.125	50	2-3
90	2.225	22	1-2
95	775	8	1

Tabla 3.6. Empleados necesarios para la separación manual

11. El material es transportado hacia una cinta transportadora reversible por otra cinta transportadora dotada de un pequeño imán separador instalado debajo de ella, de forma tal que la cinta se detiene si detecta la presencia de acero en el flujo del material. La cinta transportadora reversible enviará el material, bien a la parte del proceso encargada del tratamiento de material sub-base, bien a la que procesará el material base.

12. El material que se usará para generar áridos sub-base (mampostería, hormigón/mampostería y asfalto/mampostería) se transportará a una estación de tamizado.

- Fracción 0-120 mm: material sub-base (65% del total)
- Fracción 120-200 mm: 35% restante. Se transporta al punto 14

13. El material llega a la estación de cribado

Fracción 0-40 mm: 7% el total. Se transporta al aparato de succión (18)

Fracción 40-200 mm: al alimentador del molino secundario, cónico (14)

14. Alimentador del molino secundario (cono). Garantiza una continua alimentación al molino.

15. Molino de cono: ajuste de cara cerrada permitido para el molino primario (mandíbula), 130-150 mm. Tamaño máximo de entrada: 210 mm. Ajuste de cara cerrada: 22-29 mm (un 65% del material que sale del molino será de tamaño inferior a esos 22-29 mm). Tamaño máximo de salida: 60 mm. Capacidad: 240 toneladas/h.

El material triturado en el punto 15, será enviado a otra cinta transportadora reversible.

Material para sub-base: va a la pila de material del punto 15

Material para base: a la última estación de tamizado (17)

Estación de tamizado

Fracción 0-40 mm: al aparato de succión (18)

Fracción 40-60 mm: a (14), a través de una cinta transportadora completamente cubierta (para evitar el polvo)

Aparato de succión instalado sobre la cinta transportadora, para aspirar partículas finas de material no mineral, del flujo de material. Estas partículas serán recogidas por un colector de polvo.

El material que abandona el aparato de succión, se transporta a través de una cinta transportadora completamente cubierta, hasta la pila final donde se almacenará el material base 0-40 mm. Entre la última cinta transportadora y la pila, se colocará una cubierta protectora para evitar la generación de polvo.

La Figura 3.4 muestra el diagrama de flujos del proceso apoyándose en los siguientes datos técnicos:

Estación de alimentación:

Alimentador horizontal

Separación en el vibrador: 60 mm

Separación en la planta del fondo: 8 mm

Molino de mandíbula:

Apertura: 875 x 50

Filtro para el polvo

Ajuste de la cara cerrada: 125 mm (máximo tamaño salida: 200 mm)

Capacidad: 140-195 toneladas/h

Molino de cono:

Modelo: H-4000 EC

Ajuste de la cara cerrada: 22-29 mm (máximo tamaño salida: 50 mm)

Capacidad: 240 toneladas/h

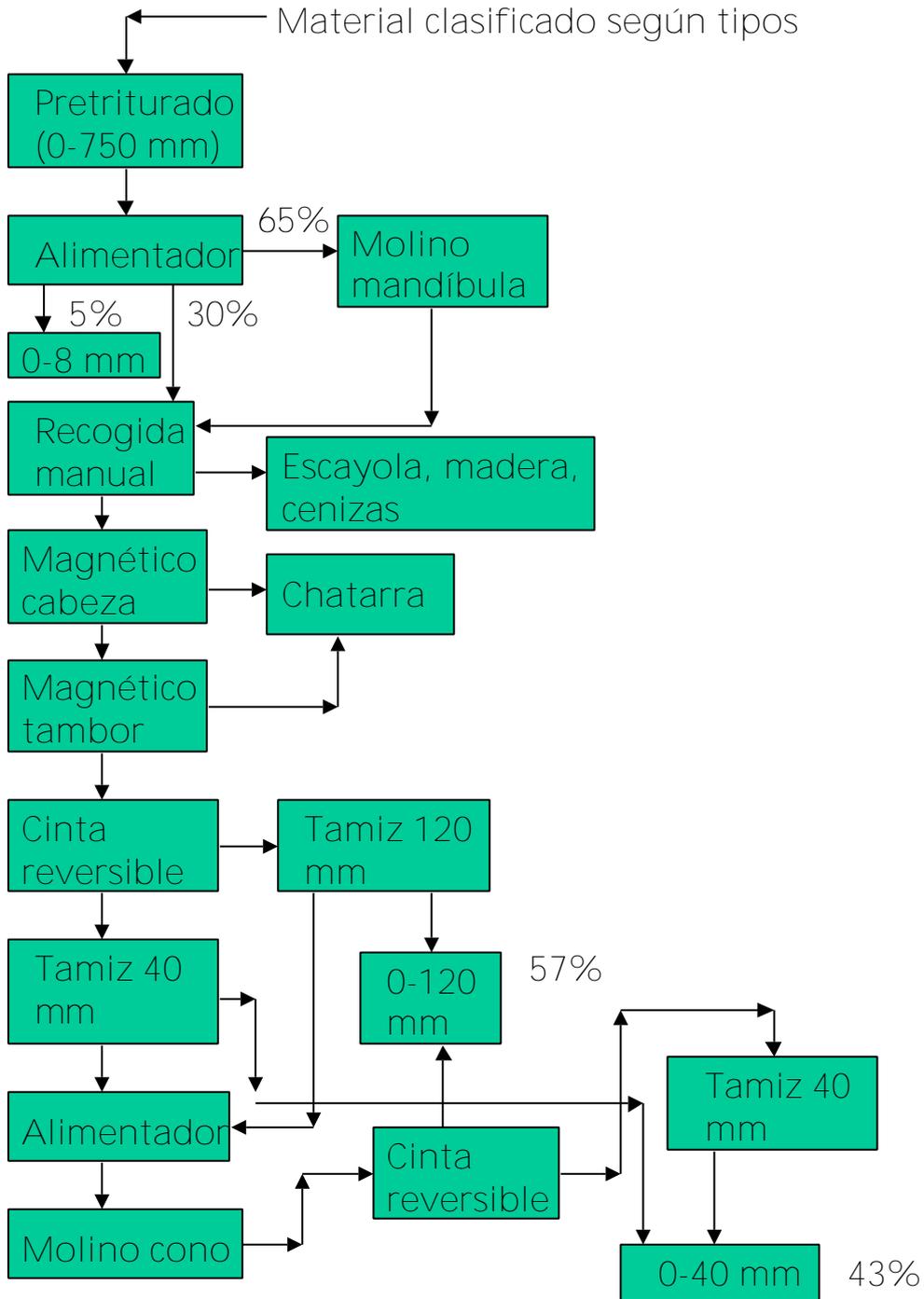


Figura 3.4. Diagrama de flujo del proceso de reciclaje

3.2.1.5 Control de Calidad. Maquinaria

Control de Calidad

El control de la calidad tanto del material entrante como de los materiales finales, se llevará a cabo por laboratorios ajenos a la planta.

El material entrante deberá cumplir con las exigencias del Ayuntamiento relativas a contenido en contaminantes. Estas exigencias configuran una lista incluida en el apartado 3.1.6.

Los productos finales serán analizados para comprobar si cumplen con la normativa incluida en el Apéndice I. Algunos de los ensayos que deben cumplir los áridos reciclados son (en sus nombres originales, en inglés):

- Californian Bearing Ratio (Arell. 1995)
- Fines Modulus (Neville. 1973)
- Nordic Abrasion Value (Schouenborg and Viman. 1994)
- Los Angeles Abrasion Test (Draft European Standard. 1991)
- Sulphate Soundness Test (Hansen. 1992)
- Dutch Static Compression Value (Arell. 1995)
- Boiling Test (Arell. 1995)

El control de calidad relativo a la distribución del tamaño del grano del árido reciclado final, se llevará a cabo en la misma planta, mediante un conjunto de tamices.

Maquinaria

En principio, la maquinaria necesaria para la planta será la mostrada en la Tabla 3.7.

Tipo	Número
Puente Báscula	1
Pala	2
Pre-triturador	1
Excavadora	1
Alimentador vibratorio	1
Molino de mandíbula con filtro anti-polvo	1
Cintas transportadoras (con/sin cobertura)	11
Imán separador	1
Rociador de agua	1
Cabina para recogida manual	1
Contenedores	4
Pequeño imán bajo la cinta transportadora	1
Cinta transportadora reversible	2
Equipos de tamizado	3
Alimentador al molino secundario	1
Molino de cono	1
Aparato de succión	1
Cubierta para áridos base	1

Tabla 3.7. Tipo y cantidad de maquinaria necesitada en la planta

Además hay que considerar también las instalaciones correspondientes a las oficinas y lugares de aseo para el personal trabajando en la planta.

3.2.1.5.1 Fichas Técnicas Maquinaria

A continuación se incluyen las principales características técnicas de los equipos que forman parte de la planta de reciclaje.

Equipo	Alimentador Vibratorio
Función	Recoger material mineral, descartar finos y enviar el material restante a la cadena de reciclaje.
Volumen	25 m ³
Luz malla	15 mm

Tabla 3.8. Ficha Técnica Alimentador Vibratorio

Equipo	Molino de Mandíbula
Función	Triturar el material mineral desde un tamaño de 750 mm hasta otro de 200 mm.
Ajuste cerramiento lateral	125 mm
Máximo tamaño salida	200 mm
Máxima abertura	750 mm
Capacidad	140-195 ton/h

Tabla 3.9. Ficha Técnica Molino de Mandíbula

Para el cálculo de las capacidades de las cintas transportadoras se ha supuesto que el material de construcción y demolición empleado en el proceso tiene una densidad aparente en torno a un 10% mayor que los áridos naturales (ver Figura 2.6), 2.400 kg/m³, considerando así el efecto de materiales como el acero que forman parte del material a reciclar y estando del lado de la seguridad en el diseño.

Equipo	Cinta transportadora nº 1
Función	Transportar el material 8-60 mm junto con el de salida del molino de mandíbula, hasta el imán de cabeza.
Cubierta	No
Inicio	Salida alimentador vibratorio
Final	Separador magnético de cabeza
Distancia	15 m
Velocidad máxima	2 m/s
Ancho	91 cm
Capacidad máxima	1.252 ton/h

Tabla 3.10. Ficha Técnica Cinta Transportadora nº 1

Equipo	Cinta transportadora nº 2
Función	Transportar el material que supera el imán de cabeza hacia otro imán bajo la cinta.
Cubierta	No
Inicio	Separador magnético de cabeza
Final	Separador magnético de base
Distancia	26 m
Velocidad máxima	2 m/s
Ancho	91 cm
Capacidad máxima	1.252 ton/h

Tabla 3.11. Ficha Técnica Cinta Transportadora nº 2

Equipo	Cinta transportadora nº 3
Función	Transportar el material desde la cinta reversible nº 1 hasta un tamiz de 40 mm.
Cubierta	No
Inicio	Cinta transportadora bidireccional nº 1
Final	Tamiz 40 mm
Distancia	10 m
Velocidad máxima	2 m/s
Ancho	91 cm
Capacidad máxima	1.252 ton/h

Tabla 3.12. Ficha Técnica Cinta Transportadora nº 3

Equipo	Cinta transportadora nº 4
Función	Transportar el material desde la cinta reversible nº1 hasta el tamiz de 120 mm.
Cubierta	No
Inicio	Cinta transportadora reversible nº1
Final	Tamiz 120 mm
Distancia	10 m
Velocidad máxima	2 m/s
Ancho	91 cm

Equipo	Cinta transportadora nº 4
Capacidad máxima	1.252 ton/h

Tabla 3.13. Ficha Técnica Cinta Transportadora nº 4

Equipo	Cinta transportadora nº 5
Función	Transportar el material de rechazo de los tamices de 40 mm hasta el alimentador al molino secundario, de cono.
Cubierta	No
Inicio	Tamiz 40 mm
Final	Alimentador molino cono
Distancia	11 m
Velocidad máxima	2 m/s
Ancho	91 cm
Capacidad máxima	1.252 ton/h

Tabla 3.14. Ficha Técnica Cinta Transportadora nº 5

Equipo	Cinta transportadora nº 6
Función	Transportar el material de rechazo del tamiz de 120 mm hasta el alimentador al molino secundario, de cono.
Cubierta	No
Inicio	Tamiz 120 mm
Final	Alimentador molino cono

Equipo	Cinta transportadora nº 6
Distancia	11 m
Velocidad máxima	2 m/s
Ancho	91 cm
Capacidad máxima	1.252 ton/h

Tabla 3.15. Ficha Técnica Cinta Transportadora nº 6

Equipo	Cinta transportadora nº 7
Función	Transportar el material que atraviesa el tamiz de 120 mm hasta la pila de producto final 0-120 mm.
Cubierta	No
Inicio	Tamiz 120 mm
Final	Árido reciclado 0-120 mm
Distancia	10 m
Velocidad máxima	1,75 m/s
Ancho	76 cm
Capacidad máxima	830 ton/h

Tabla 3.16. Ficha Técnica Cinta Transportadora nº 7

Equipo	Cinta transportadora nº 8
Función	Transportar el material procedente de la cinta reversible nº2 hasta la pila de producto final 0-120 mm.

Equipo	Cinta transportadora nº 8
Cubierta	No
Inicio	Cinta transportadora reversible nº 2
Final	Árido reciclado 0-120 mm
Distancia	31 m
Velocidad máxima	1,25 m/s
Ancho	36 cm
Capacidad máxima	109 ton/h

Tabla 3.17. Ficha Técnica Cinta Transportadora nº 8

Equipo	Cinta transportadora nº 9
Función	Transportar el material que atraviesa los tamices de 40 mm hasta la pila de producto final de 0-40 mm.
Cubierta	Sí
Inicio	Tamiz 40 mm
Final	Árido reciclado 0-40 mm
Distancia	10 m
Velocidad máxima	1,25 m/s
Ancho	36 cm
Capacidad máxima	109 ton/h

Tabla 3.18. Ficha Técnica Cinta Transportadora nº 9

Equipo	Cinta transportadora nº 10
Función	Transportar el material que atraviesa uno de los tamices de 40 mm hasta la cinta transportadora nº 9.
Cubierta	No
Inicio	Tamiz 40 mm
Final	Cinta transportadora nº 9
Distancia	70 m
Velocidad máxima	1,25
	36
	109

Tabla 3.19. Ficha Técnica Cinta Transportadora nº 10

Equipo	Cinta transportadora nº 11
Función	Transportar el material de rechazo de uno de los tamices de 40 mm hasta la cinta transportadora nº 5.
Cubierta	No
Inicio	Tamiz 40 mm
Final	Cinta transportadora nº 5
Distancia	49 m
Velocidad máxima	2 m/s
Ancho	91 cm
Capacidad máxima	1.252 ton/h

Tabla 3.20. Ficha Técnica Cinta Transportadora nº 11

Equipo	Cinta transportadora reversible nº 1
Función	Transportar el material procedente de la cinta transportadora nº 2 hasta las cintas transportadoras nº 3 y 4.
Cubierta	No
Inicio	Separador magnético de base
Final	Cintas transportadoras nº 3 y 4
Distancia	7 m
Velocidad máxima	2 m/s
Ancho	91 cm
Capacidad máxima	1.252 ton/h

Tabla 3.21. Ficha Técnica Cinta Transportadora Reversible nº 1

Equipo	Cinta transportadora reversible nº 2
Función	Transportar el material desde el molino de cono hasta el tamiz de 40 mm y la cinta transportadora nº 8.
Cubierta	No
Inicio	Molino cono
Final	Tamiz 40 mm / Cinta transportadora nº 8
Distancia	8 m
Velocidad máxima	1,25 m/s

Equipo	Cinta transportadora reversible nº 2
Ancho	36 cm
Capacidad máxima	109 ton/h

Tabla 3.22. Ficha Técnica Cinta Transportadora Reversible nº 2

Equipo	Molino de Cono
Función	Triturar el material entrante hasta un tamaño máximo de 50 mm.
Modelo	H-4000 EC
Ajuste cerramiento lateral	22-29 mm
Máximo tamaño salida	50 mm
Capacidad	240 ton/h

Tabla 3.23. Ficha Técnica Molino de Cono

3.2.1.6 Empleados

La Tabla 3.24 muestra el número de empleados requeridos para la planta fija, así como sus cometidos principales.

Actividad	Número de empleados
Material de pesaje	1
Clasificación pilas de material mezclado	1
Pre-rotura de trozos grandes	1
Carga de material en el alimentador	1
Molienda (control de molinos)	1
Recogida manual y colocación de productos secundarios en pilas respectivas	2
Reparaciones	1
Oficinas	2
Total	10

Tabla 3.24. Número y funciones de empleados en la planta

3.2.2 Planta Móvil

3.2.2.1 Comentarios al Diseño

Aunque en el caso de plantas móviles, no existen costes debidos al transporte a planta, cuanto mayor sea el volumen de materiales a triturar, menor será el coste por tonelada producida.

Dado que los costes de transporte de la planta móvil al lugar de demolición vienen dados (fijos), el coste por tonelada producida bajará cuanto mayor sea el número de toneladas trituradas, como se ve en la siguiente Tabla:

Volumen disponible, toneladas	Coste total, Pta.	Pta./toneladas
15.000	20.300.000	1.360
10.000	18.200.000	1.820
1.000	9.620.000	9.620

Tabla 3.25. Costes por tonelada de MCD triturada con molino móvil (PEAB AB. Entrevista. 1995)

La tecnología actual ofrece dos posibilidades para la producción de áridos reciclajes base y sub-base mediante molinos móviles:

1. Un único molino móvil.
2. Dos molinos móviles en serie.

Ambas posibilidades serán tratadas por separado en el estudio comparativo que sigue a continuación.

3.2.2.2 Emplazamiento. Superficie

Emplazamiento

La localización vendrá determinada por la que haya disponible en la zona de demolición.

Superficie

La superficie necesaria para la instalación de los molinos móviles es, respectivamente:

1. 48 m².
2. $43,5 \text{ m}^2 + 200,4 \text{ m}^2 = 243,9 \text{ m}^2$.

3.2.2.3 Calidad del Material. Capacidad. Productos

Calidad del material

Teniendo en cuenta que no se aceptarán productos secundarios incluidos en el material mineral, el resto de los materiales entrantes son los mismos que en el caso de una planta de reciclaje fija (ver Tabla 3.4).

Tipo de material	Cantidad (toneladas/año)	% del total
Hormigón	139.125	40
Asfalto	40.000	11
Albañilería	157.675	45
Hormigón/Asfalto	9.499	1
Hormigón/Albañilería	1.923	1
Asfalto/Albañilería	3.202	1
Albañilería/Hormigón/Asfalto	3.576	1
TOTAL	350.000	100

Tabla 3.26. Materiales de entrada a la planta móvil.

Capacidad

La cantidad de MCD disponibles para ser triturados por un molino móvil será menor que para el caso de una planta fija.

Esto es así ya que la planta móvil no es capaz de eliminar productos secundarios (impurezas) del material, por carecer de procesos de separación como los de la planta fija.

Empleando las mismas cifras que las aplicadas a la planta fija, la móvil sería capaz de triturar unas 350.000 toneladas/año.

Utilizando también el mismo número de horas trabajadas por año, unas 1.700, la capacidad media teórica de este tipo de molino sería de unas 210 toneladas/h.

La capacidad real disponible por la tecnología actual es algo menor, por lo que estas capacidades máximas quedarán fijadas respectivamente en:

1. 150 toneladas/h
2. 200 toneladas/h

Comentarios sobre horas anuales trabajadas

La cifra de 1.700 horas debe entenderse de manera distinta en la planta móvil que en la fija, ya que parte de esas horas se dedicarán en la móvil a la instalación de la maquinaria así como a su transporte a y desde la zona de demolición.

Por tanto, el número efectivo de horas operativas anuales será menor de esa cifra.

Asumiendo 45 minutos tanto para el montaje, como para el desmontaje y el transporte, se obtiene una cifra de 3 horas por operación de triturado que no son operativas.

Productos

Al igual que para la planta fija, los productos generados por la planta móvil serán áridos base y sub-base:

Material base: 0-40 mm

Material sub-base: 0-120 mm

El único posible producto secundario generado en este proceso es el hierro de los refuerzos del hormigón. Se separará antes del triturado del material, mediante un pre-triturador.

3.2.2.4 Flujo del Proceso

Molino Simple

1. El material de tamaño mayor al de la entrada del molino (780 mm) será triturado por un pre-triturador. Del hormigón armado se obtendrán las barras de hierro.
2. Los finos (arena/tierra) serán filtrados en el tamiz (en torno a un 5% del material entrante).
3. El material es triturado en un molino con las siguientes características:
 - Abertura: 1.320 x 780 mm

- Potencia: 132 kW
- Velocidad: 540-610 rpm (28-32 m/s)

9. El hierro restante presente en el material triturado será retenido por un imán situado sobre la cinta transportadora.

5. El material de menor calidad (sub-base) se filtrará en un tamiz de 120 mm:

- 0-120 mm: producto sub-base (47% del total)
- 120-200 mm: retorna al molino

6. El material de mayor calidad (base) se filtrará en un tamiz de 40 mm:

- 0-40 mm: producto base (53%)
- 40-200 mm: retorna al molino

Molino Doble

1. Igual que en el caso anterior, pero para una apertura máxima de 750 mm.

2. Igual que en el caso anterior.

3. El material entra a un primer molino con las siguientes características:

- Apertura: 1.000 x 750 mm
- Rango máximo del tamaño de salida: 50-200 mm
- Capacidad de diseño: 100-200 toneladas/h

9. Igual que en el caso anterior.

5. El material para áridos sub-base se filtra en un tamiz de 120 mm:

- 0-120 mm: áridos sub-base
- 120-200 mm: al segundo molino

6. El material para áridos base se filtra en un tamiz de 40 mm:

- 0-40 mm: áridos base

- 40-200 mm: al segundo molino

7. Molino secundario con una capacidad de diseño de 90-300 toneladas/h.

8. Almacenamiento de áridos sub-base.

9. El material base se filtra en un tamiz de 3 pisos con una superficie de 8 m²:

- 0-40 mm: áridos base
- >40 mm: retorna al molino secundario

3.2.2.5 Control de Calidad. Maquinaria

Control de Calidad

Al igual que en el caso de la planta fija, se realizarán ensayos para comprobar la calidad tanto de la materia prima como de los productos finales.

Estos ensayos serán encargados a Laboratorios ajenos al Empresario.

Se considerarán impurezas todas aquellas listadas en la sección 10.1.6.

Maquinaria

La siguiente Tabla muestra la maquinaria usada en una planta móvil:

Tipo	Número
Pre-triturador	1
Pala	1
Molino móvil	1-2

Tabla 3.27. Maquinaria en la planta móvil

3.2.2.5.1 Fichas Técnicas Maquinaria

Al igual que en el caso de la planta fija, se incluyen a continuación los principales datos técnicos de los equipos que conforman la planta móvil de reciclaje.

Equipo	Molino de Impacto (planta móvil 1 molino)
Función	Triturar el material entrante para cumplir especificaciones de tamaño en el material producido.
Abertura alimentación	1.320x780 mm
Potencia	132 kW
Velocidad	540-610 rpm (28-32 m/s)

Tabla 3.28. Molino de impacto (planta móvil 1 molino)

Equipo	Molino de Impacto (planta móvil 2 molinos)
Función	Triturar el material desde un tamaño máximo de entrada de 750 mm hasta otro de salida de 200 mm.
Abertura alimentación	1.000x750 mm
Rango para tamaño máximo salida	50-200 mm
Capacidad de diseño	100-200 ton/h

Tabla 3.29. Molino de impacto (planta móvil 2 molinos)

Equipo	Molino de Cono (planta móvil 2 molinos)
Función	Triturar el material entrante procedente del molino primario hasta un tamaño tal que se cumplan las especificaciones de calidad en cuanto al tamaño.
Capacidad de diseño	90-300 ton/h

Tabla 3.30. Molino de cono (planta móvil 2 molinos)

3.2.2.6 Empleados

La Tabla 3.31 muestra tanto las actividades como el número de empleados que se requieren en una planta móvil.

Actividad	Número de empleados
Pre-triturado	1
Carga del material	1
Proceso de triturado	1
Total	3

Tabla 3.31. Número de empleados en una planta móvil

4. Impacto Ambiental. Medidas de Protección

4.1 Planta Fija

4.1.1 Impacto Ambiental

El impacto ambiental esperado debido a la actividad industrial de la planta se resume en:

1. Infiltración de contaminantes en el agua subterránea
2. Ruido
3. Polvo

4.1.2 Medidas de Protección

Las principales medidas que serán tomadas para contrarrestar el daño que la planta pueda causar al entorno, son:

- Cubrimiento mediante una capa de hormigón de la zona de la planta en la que se deposite el material (pilas). Esto se hará para prevenir la lixiviación de potenciales contaminantes introducidos en la planta junto con la materia prima, de forma tal que no lleguen al agua del subsuelo. Sin embargo, teniendo en cuenta que el lugar elegido para la instalación de la planta está junto al puerto, la lixiviación no debería ser un problema.

Las siguientes medidas también apoyarán la ausencia de contaminantes alcanzando el agua del subsuelo:

- La Ley sobre Demolición ('Rivningsplan') debería haber entrado en funcionamiento en 1996. De ser así, todo el material de demolición será clasificado de acuerdo a su nivel de toxicidad, de forma que no podrán ser aceptados en la planta materiales contaminados.
- Caso de que aún no haya entrado en vigor dicha ley, o no se aplicara escrupulosamente, el empresario de la planta pedirá al proveedor del material de demolición, una prueba o certificado del origen del mismo, indicativo de su calidad. De acuerdo con el modelo aplicado en Los Países Bajos, nombrado por Hansen (1992), este certificado incluiría:
 - Fecha de envío por el proveedor
 - Nombre del contratista de transportes

- Tipo de material
- Distribución de tamaños
- Normativa de calidad que el material garantiza cumplir
- Localización y tipo de procedencia
- Se llevará a cabo una comprobación visual así como una clasificación tanto manual como mecánica del material entrante para eliminar aquellos productos que pudieran dañar al medio ambiente en el caso de que quedaran ligados al producto reciclado. De no evitarse, la lixiviación de contaminantes podría darse una vez el árido reciclado ha sido colocado en las capas base o sub-base, en la carretera.
- Se aplicará un programa de seguimiento para detectar si ha habido una variación significativa en la concentración de una serie de elementos en el agua de superficie recogida en la planta, desde antes de que la planta esté operativa (nivel de referencia), hasta transcurrido un tiempo estando en funcionamiento. El Ayuntamiento de Estocolmo proporciona para este fin una lista con los siguientes elementos cuyo nivel ha de ser controlado:
 - pH del agua
 - COD
 - NH_4^+
 - NO_3^-
 - P total
 - Ca
 - Cl^-
 - Fe
 - As
 - CN^-
 - Fenol
 - Aceite total

- PCB
- Pb
- Hg
- Cd
- Zn
- Cr
- Cu
- Bacterias coliforma totales (35°C): unidad/ml
- Bacterias coliforma tolerantes al calor (44°C)

El Ayuntamiento, sin embargo, no ofrece ningunos valores máximos para los elementos incluidos en esta lista.

- En cuanto a la contaminación provocada por el ruido generado en la planta, hay que indicar que, en los alrededores de la misma, se alcanzarán valores superiores a los máximos permitidos (ver Tabla 3.2). Se pueden alcanzar fácilmente valores en torno a 74-77 dBA. Sin embargo, la ausencia de zonas residenciales en torno a la planta y el hecho de que la planta estaría situada en un polígono industrial, implica que el ruido generado en la planta será un problema menor sin necesidades reales de ninguna medida correctora.
- Rociado con agua de los áridos reciclados. Así se reducirá la concentración de polvo dentro de la planta.

4.1.3 Conclusiones

La actividad en la planta no debería causar ningún impacto medioambiental. Algunos comentarios sobre las posibles amenazas serían:

Generación de polvo

A lo largo de todo el proceso, comenzando en el molino de mandíbula (con su filtro para el polvo) y terminando con el almacenamiento del producto 0-40 (cubierto), la generación de polvo está controlada.

Las cintas transportadoras cubiertas, el rociado con agua del material así como el uso de aparatos de succión, deberían mantener la generación de polvo lejos de valores peligrosos.

Ruido

Tal y como se explicó anteriormente, no hay zonas residenciales en los alrededores de la planta.

Por tanto, tanto este aspecto como el hecho de que la zona industrial donde se ubica la planta ya genera ruido, no se considera el ruido como un problema ambiental de importancia.

Contaminación del agua

Estará permanentemente controlada la calidad del agua del subsuelo mediante la aplicación de un programa de seguimiento basado en una analítica periódica de la misma.

4.2 Planta Móvil

4.2.1 Impacto ambiental

Principalmente los dos siguientes:

- Generación de ruido
- Generación de polvo

No se ha incluido la contaminación del agua ya que los áridos reciclados producidos por una planta móvil pueden, fácilmente, ser almacenados en contenedores evitándose así el contacto con la superficie.

Además, las plantas móviles operan normalmente en zonas urbanas donde es rara la ausencia de asfalto, siendo casi imposible que posibles contaminantes puedan alcanzar el agua del subsuelo.

4.2.2 Medidas de protección

La contaminación por ruido no es fácilmente evitable.

Sólo la instalación de silenciadores y paneles absorbedores del ruido pueden aliviar este problema.

En cuanto a la contaminación del aire por generación de polvo, puede evitarse rociando con agua los productos obtenidos.

4.2.3 Conclusiones

Al igual que se hizo para la planta fija, se detallan a continuación los impactos que una planta móvil de reciclaje de materiales podría provocar al medio ambiente, así como las medidas correctoras apropiadas para mitigarlos:

Generación de polvo

Las mismas medidas aplicables a una planta fija serían válidas para el caso de una planta móvil.

Estas medidas son: el uso de cintas transportadoras cubiertas, el rociado con agua del material, el uso de una cubierta para el almacenamiento de los materiales tipo base, el uso de un filtro de polvo en el molino primario así como la instalación de un sistema de encapsulación del polvo.

Contaminación acústica

Este tipo de contaminación puede convertirse en un problema serio en aquellos casos en los que el reciclaje tenga lugar en zonas residenciales habitadas. Además, estos casos serán los más frecuentes ya que la generación de MCD para ser reciclados por una planta móvil se producirá en este tipo de zonas.

A pesar de que pueden instalarse paneles absorbedores del ruido en torno al generador del molino móvil, puede seguir habiendo exceso de ruido incluso tras la instalación de estos equipos.

5. Análisis de Rentabilidad

5.1 Planta Fija

5.1.1 Costes e Ingresos de la Planta

Algunos criterios para medir la rentabilidad de una planta fija de reciclaje de materiales de construcción son (Höbeda. 1992):

- La tasa de aceptación aplicada debe cumplir la siguiente expresión:

$$ta < tv + ct2 - ct1$$

donde,

ta: tasa de aceptación

ct1: costes de transporte a la planta

tv: tasa de vertido

ct2: costes de transporte a vertederos

- Considerando ahora tanto los costes del proceso (cp) como el precio de venta de los áridos reciclados (pv), también deberá cumplirse la siguiente expresión:

$$cp < pv + ta$$

- Por último, considerando ahora los áridos naturales (an), la siguiente expresión también deberá cumplirse:

$$pv < pv(an)$$

Se ha seguido un análisis económico aplicado a una planta existente de reciclaje en Alemania, como modelo para la planta objeto de este estudio (Kohler. 1994).

Se han tomado algunos datos de la planta alemana, teniendo en cuenta que las producciones son distintas así como el coste de la energía (1,85 veces más cara en Alemania que en Suecia).

5.1.1.1 Costes de Inversión

Costes de Inversión	Pta.
Permisos	6.000.000 (1)
Capa hormigón	59.673.280 (2)
Habitaciones personal (10 personas)	5.967.320 (3)
Muro de protección (valla)	8.951.000 (2)
Iluminación	2.983.660 (2)
Gasolinera	4.972.780 (3)
Equipo informático	2.983.660 (2)
Vehículos	108.406.480 (2)
Unidad de triturado	200.000.000 (4)
Báscula	5.000.000 (5)
Cabina separación manual	57.800.000 (5)

Costes de Inversión	Pta.
Contenedores	2.000.000 (5)
Total	464.738.180

Tabla 5.1. Costes de Inversión

(1) Lars Arell. 1995

(2) Kohler. 1994. Double surface. Factor (1/1,85)

(3) Kohler. 1994. Factor (1/1,85)

(4) Svedala Svenska AB. 1995

(5) Carl F AB.

5.1.1.2 Costes de Personal, Energéticos, Desgaste y Mantenimiento

Concepto de Coste	Pta. / año	Pta. / tonelada
Personal (10 personas)	61.200.000 (6)	136
Energía (proceso)	8.272.240 (7)	18
Energía (vehículos)	26.138.540 (8)	58
Maquinaria (desgaste)	20.699.180	46

Concepto de Coste	Pta. / año	Pta. / tonelada
	(9)	
Vehículos (desgaste)	4.500.000 (10)	10
Maquinaria (mantenimiento)	11.189.180 (11)	25
Vehículos (mantenimiento)	6.534.640 (12)	15
Total	138.533.780	308

Tabla 5.2. Costes de Personal, Energéticos, Desgaste y Mantenimiento

(6) Kohler. 1994

Coste de personal = A x F x B

A: nº de trabajadores

F: coeficiente de seguridad (en caso de baja laboral, p.e.) 1,2

B: coste anual por trabajador (3000 pta./h, 1.700 h/año)

(7) Kohler. 1994

Coste energético (proceso) = M / (Lt x A) x PL x Pa x Sp

M: producción anual (tonelada/año)

Lt: capacidad teórica (tonelada/h)

A: factor de uso (0,7)

PL: efecto (kW)

Pa: efectividad (0,5)

Sp: precio energía (12,4 pta./kWh)

(8) Kohler. 1994

Energía (vehículos) = $M \times 2 / La \times 0,22 / 0,86 \times Pr \times Lr \times Dp$

La: capacidad media (Lt x A)

Pr: efecto (kW)

Lr: factor medio de carga (0,4)

Dp: precio Diesel (130 pta./l)

(9) Kohler. 1994

Maquinaria (desgaste) = $M \times VB$

VB: coste/tonelada (46 pta./tonelada, para una planta fija)

(10) Kohler. 1994

Vehículos (desgaste) = $M \times Vs$

Vs: coste/tonelada (10 Pta./tonelada, para una planta fija)

(11) Kohler. 1994

Maquinaria (mantenimiento) = $M \times w$

w: coste/tonelada (24,8 pta./tonelada, para una planta fija)

(12) Kohler. 1994

Vehículos (mantenimiento) = $0,25 \times \text{Energía (vehículos)}$

5.1.1.3 Costes Fijos y Variables

Costes variables	Pta./año	Pta./tonelada
Energía	34.410.780 (13)	76
Desgaste y mantenimiento	42.922.400 (14)	95
Eliminación de residuos	13.440.000 (15)	30
Total Variables	90.773.180	202
Costes Fijos	Pta./año	Pta./tonelada
Personal	61.200.000	136
Capital	75.540.020 (16)	168
Laboratorio	11.700.000 (17)	26
Alquiler terreno	102.000.000 (18)	227

Costes variables	Pta./año	Pta./tonelada
Seguros	1.525.720 (19)	3
Publicidad	2.237.740 (19)	5
Administración	35.600.540 (19)	79
Total Fijos	289.804.020	644
Total Costes	380.577.200	846

Tabla 5.3. Costes Fijos y Variables

$$(13) = (7) + (8)$$

$$(14) = (9) + (10) + (11) + (12)$$

$$(15) = W \times (a \times b + c)$$

W: tonelada/año material vertido

a: distancia media planta a vertederos (18 km.)

b: coste de transporte (20 pta./tonelada•km)

c: tasa por vertido (200 pta./tonelada)

(16) 10 años, 10% anual, costes totales de inversión

(17) incluye tanto la analítica de agua como la de calidad de los áridos reciclados

(18) Puerto de Estocolmo

(19) Kohler. 1994. Factor 1/1,85. Promediado para una producción real

5.1.1.4 Ingresos de la Planta

Los ingresos de la planta procederán de:

1. Tasas de aceptación
2. Venta de producto

5.1.2 Escenario A

Extrapolando del ejemplo alemán (Kohler. 1994), se puede afirmar que en torno a un 57% de los ingresos de la planta procederán de las tasas y el restante 43%, de la venta del producto.

Para que la planta no tenga pérdidas, se tiene que cumplir lo siguiente:

Mínimos ingresos totales: 380.577.200 Pta./año

- Por tasas de aceptación: 217.842.380 Pta./año

- Por venta productos: 162.734.800 Pta./año

Las tasas de aceptación se aplicarán a la totalidad del material entrante (450.000 tonelada/año).

Los productos vendidos así como sus cantidades relativas son los siguientes:

Producto	Porcentaje del total	Cantidad (tonelada/año)
----------	----------------------	-------------------------

Producto	Porcentaje del total	Cantidad (tonelada/año)
Acero	0,2	1.000
Áridos sub-base	51,1	230.138
Áridos base	38,6	173.612

Tabla 5.4. Productos vendidos en la planta de reciclaje

Estos tres productos suponen un total de 404.750 toneladas/año. Los restantes materiales son:

- Productos secundarios (24.000 toneladas/año): madera, escayola, otros.
- Finos (21.250 toneladas/año): material 0-8 mm.

Tal y como se explicó anteriormente, no se recibirá ingreso alguno por la venta de estos últimos productos.

Se supondrá a continuación que la actividad de la planta generará unos beneficios netos del 30%.

Para ello, se incrementarán en esa proporción tanto los precios de venta como las tasas de aceptación.

Beneficio neto, %	Tasa aceptación (Pta./tonelada)	Precio venta base (Pta./tonelada)	Precio venta sub- base (Pta./tonelada)*
0	480	460	340
30	620	600	440

Tabla 5.5. Tasas de aceptación y precios de venta

* Se ha supuesto, basándose en la situación real para áridos naturales, que el precio de venta de los áridos reciclados sub-base será un 33% menor que los base

No se ha incluido en esta Tabla el precio del acero puesto que éste vendrá fijado (ver apartado 3.1.8).

Se ha considerado la situación más desfavorable para el empresario: que el precio de venta de su acero sea el menor posible (5.000 Pta./tonelada).

En cuanto a la tasa de aceptación, aunque se le ha asignado una cantidad fija única, en realidad esto no será así.

El importe de esta tasa vendrá fijado por la calidad del material entrante. Más adelante se hará hincapié en esta distinción.

A continuación se analizan los respectivos escenarios económicos que afectan tanto a los proveedores de la planta como sus clientes.

5.1.2.1 Proveedores. Análisis económico

La Tabla 5.6 muestra costes y beneficios que los proveedores encontrarán tanto en una situación de reciclaje como de no-reciclaje.

Concepto	Valor, MM Pta./año	Valor, Pta./tonelada
Ausencia de Reciclaje		
Transporte material a vertederos	117	260
Vertido del material	90	200
Total	207	460
Reciclaje		
Transporte material a planta	203	60
Tasas aceptación	279	620
Total	306	680
Beneficio Global	-99	-220

Tabla 5.6. Proveedores. Análisis económico

Se aprecia cómo el negocio del reciclaje no resultaría rentable a sus proveedores, que saldrían perjudicados con respecto a la situación actual.

5.1.2.2 Clientes. Análisis económico

Para realizar en este caso la comparación de ambas situaciones (ausencia o presencia de reciclaje), se ha considerado que el material reciclado equivalente al árido natural será el árido reciclado tipo base.

La Tabla 5.7. muestra el análisis efectuado para los clientes de la planta.

Tipo de árido base (0-40 mm)	Precio (Pta./tonelada)
Natural	1.500 (20)
Reciclaje	600
Ahorro	900 (60%)

Tabla 5.7. Clientes. Análisis económico.

(20) AB Underås. 1995.

Los áridos reciclados proporcionarían grandes beneficios a los constructores de carreteras (clientes).

Sin embargo, se vio anteriormente que no era rentable la recepción de material para reciclar, por lo que el negocio del reciclaje no tendría lugar en esta Situación A.

5.1.3 Escenario B

Se asumirá en el escenario B que los proveedores de materia prima a la planta no tendrán ni beneficios ni pérdidas, al mandar su material a la planta en vez de verterlo.

Esto significa que el coste total ahora para una situación de reciclaje deberá igualar al de no-reciclaje, esto es, 460 Pta./tonelada de material (costes derivados tanto del transporte a la planta como de la tasa de aceptación).

Teniendo en cuenta que, de esas 460 Pta./tonelada, 60 Pta./tonelada corresponden al coste del transporte, las restantes 400 Pta./tonelada representarán el valor de la tasa de aceptación del material dentro de la planta.

La Tabla 5.8. muestra cuál sería ahora la situación tanto de los proveedores, como del empresario de la planta y los clientes de la misma, en función de los nuevos precios de los áridos.

Beneficio Proveedores, %	Beneficio Empresario Planta, %	Tasa Aceptación, Pta./tonelada	Precio Árido Base, Pta./tonelada	Beneficio Cliente, %
0	30	400	940	37

Tabla 5.8. Análisis económico. Situación B.

A pesar de que con estos valores para el precio de venta y la tasa de aceptación, tanto el cliente como el empresario de la planta tendrían beneficios, no es realista el pensar que los proveedores realizarían su función sin obtener algún beneficio.

5.1.4 Escenario C

El escenario C se basa en la obtención por parte de los proveedores de un beneficio del 30%.

En función de ese beneficio, el resto de parámetros tendrían los siguientes valores.

Beneficio Proveedores, %	Beneficio Empresario Planta, %	Tasa Aceptación, Pta./tonelada	Precio Árido Base, Pta./tonelada	Beneficio Cliente, %
30	30	260	1.100	27

Tabla 5.9. Análisis económico. Situación C.

Este tercer caso muestra cómo para una producción de 450.000 toneladas/año de áridos reciclados, una planta que los generara, obtendría un 30% de beneficio si su tasa de aceptación es de 260 Pta./tonelada y su precio de venta de los áridos base, de 1.100 Pta./tonelada.

La Tabla 5.10. muestra, para las tres situaciones, los pesos relativos del origen de los ingresos de la planta: tasas de aceptación y venta de áridos reciclados.

Situación	Tasas Aceptación, %	Ventas, %
A	57	43
B	33	67
C	22	78

Tabla 5.10. Distribución de los ingresos.

Se han tenido que reducir los ingresos debidos a tasas de aceptación en más de un 60% desde el escenario A a la C, para hacer rentable la planta de reciclaje.

5.1.5 Tasas de aceptación en función de la calidad del material recepcionado

Se considerarán a continuación un total de 15 categorías distintas de calidad del material recepcionado por la planta. Esta selección está basada en material existente en la realidad de distintas plantas europeas.

La Tabla 5.11 muestra estas categorías así como los distintos valores.

Símbolo en diagramas	Descripción	Valor, Pta./tonelada (% sobre el valor medio)
ma	mampostería limpia	140 (54)
a	asfalto limpio	160 (62)
c-l	hormigón limpio (<50 cm)	160 (62)

Símbolo en diagramas	Descripción	Valor, Pta./tonelada (% sobre el valor medio)
c-II	hormigón limpio (>50 cm)	200 (77)
c-III	hormigón armado (<50 cm)	240 (92)
c-IV	hormigón armado (>50 cm)	280 (108)
ca-I	mezcla hormigón/asfalto (<50 cm)	200 (77)
ca-II	mezcla hormigón/asfalto (>50 cm)	220 (85)
cma-I	mezcla hormigón/mampostería (<50 cm)	200 (77)
cma-II	mezcla hormigón/mampostería (>50 cm)	220 (85)
cma-III	mezcla hormigón armado/mampostería (<50 cm)	260 (100)
cma-IV	mezcla hormigón armado/mampostería (>50 cm)	320 (123)

Símbolo en diagramas	Descripción	Valor, Pta./tonelada (% sobre el valor medio)
mca-I	mezcla mampostería/hormigón/asf alto	220 (85)
mca-II	mezcla mampostería/hormigón armado/asfalto	260 (100)
m	productos secundarios y mezcla hormigón armado/mampostería	320 (200)

Tabla 5.11. Tasas de aceptación para distintas calidades de material.

5.1.6 Otros escenarios

Otros posibles escenarios que cambiarían la situación final pueden verse en la Tabla 5.12 junto con el impacto esperado que tendrían en la misma.

Nuevo escenario	Motivo	Impacto
Distintos tipos de tasas de aceptación	Disponer de material más limpio en planta	Mayores ingresos por ventas
Cumplimiento 'Rivningsplan'	Correcta aplicación de la ley	Menos material mezclado en planta. Mayores ingresos por ventas
Mayor precio de áridos naturales	Escasez	Mayores precios áridos reciclados.
Mayores tasas de vertido	Decisión política	Mayores tasas aceptación
Mayores costes de	Escasez vertederos	Mayores tasas aceptación.

Nuevo escenario	Motivo	Impacto
transporte		
Mayores precios acero planta	Tamaño máximo de 1 m tras su corte	Mayores ingresos
Disponibilidad de incineradoras	Inversiones	Mayores ingresos por venta productos secundarios

Tabla 5.12. Otros escenarios para la actividad del reciclaje

La Tabla 5.12 muestra claramente que estos escenarios que podrían darse en el futuro llevarían a una situación mucho más favorable a la actual en lo que se refiere al reciclaje de este tipo de materiales.

Alguno de esos escenarios son ya una realidad en países europeos más avanzados en este campo, por ejemplo, los referentes a mayores tasas de vertido y costes de transporte.

5.1.7 Costes en función de la producción

A continuación se analizará la variación del coste de tonelada de árido reciclado producida en función de la producción total anual de la planta.

Este estudio determinará la mínima cantidad de MCD necesaria en la planta para que la actividad del reciclado sea rentable.

Estos valores se observan en la Tabla 5.13.

Producción (tonelada/a)	Costes fijos (pta./tonelada)	Costes variables (pta./tonelada)	Costes totales (pta./tonelada)
125.000	2.320	200	2.520
250.000	1.160	200	1.360

Producción (tonelada/a)	Costes fijos (pta./tonelada)	Costes variables (pta./tonelada)	Costes totales (pta./tonelada)
300.000	960	200	1.160
350.000	820	200	1.020
400.000	720	200	920
450.000	640	200	840

Tabla 5.13. Costes por tonelada para distintas producciones.

La Figura 5.1 muestra estos valores en una gráfica.

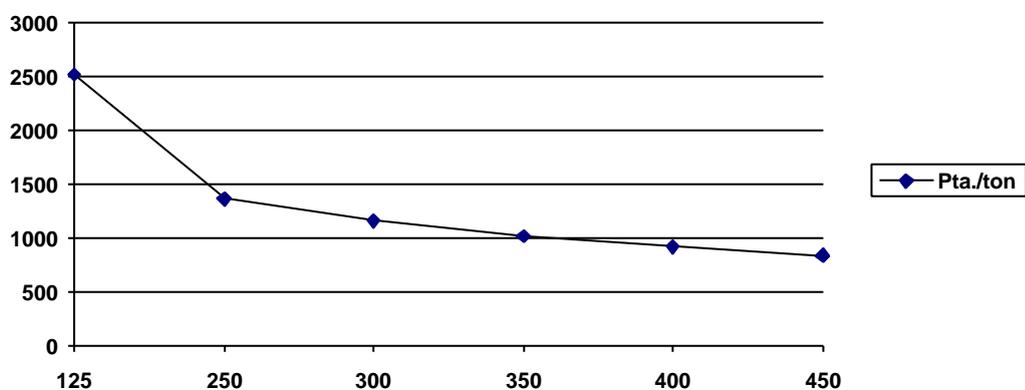


Figura 5.1. Coste por tonelada para distintas producciones.(*).

(*) Miles toneladas/a, en el eje de abscisas

Sólo los escenarios 2 y 3 descritos anteriormente se considerarán a continuación para determinar la producción mínima ya que el escenario 1 no es rentable ni siquiera para una máxima producción de 450.000 toneladas/a.

La Tabla 5.14 muestra estos resultados:

Escenario	Producción (ton./a)	Tasa aceptación (Pta./ton)	Base (Pta./ton)	Beneficio proveedor (%)	Beneficio empresario (%)	Beneficio cliente (%) (*)
2	125.000	1.000	2.620	-87	0	?
2	250.000	500	1.300	-22	0	?
2	300.000	420	1.080	-4	0	?
2	350.000	380	980	4	6	35
3	125.000	660	3.080	-57	0	?
3	250.000	380	1.820	4	19	-21
3	300.000	300	1.420	22	9	7

Tabla 5.14. Análisis económico para distintos escenarios y producciones

(*) No se ha calculado por ser irrelevante ya que no habría reciclaje.

La Tabla 5.14 muestra cómo el escenario 3 parece ser el más favorable: se consiguen beneficios con una producción un 33% menor que en el caso del escenario 2.

El resultado de esta comparación indica que con una producción de 300.000 toneladas/a, se conseguiría rentabilidad en la planta para un coste de 1.160 Pta./tonelada.

5.2 Planta Móvil

5.2.1 Escenario 1

5.2.1.1 Planta móvil simple (1 molino móvil)

5.2.1.1.1 Costes

5.2.1.1.1.1 Costes inversión.

Costes inversión	Pta.
Vehículos	79.710.000 (xxi)
Proceso trituración	70.000.000 (xxii)
Inversión total	149.710.000

Tabla 5.15. Planta móvil simple. Costes de inversión.

(xxi) Engsom Maskin AB. 1995.

(xxii) Nordberg Sweden AB. 1995.

5.2.1.1.1.2 Costes de personal, energía, desgaste, mantenimiento y transporte.

Coste	Pta./a	Pta./ton (*)
Personal	18.360.000	72
Energía (proceso)	2.710.280	11
Energía (vehículos)	22.807.780	89
Maquinaria (desgaste)	13.717.760	54 (xxiii)
Vehículos (desgaste)	2.986.020	12 (xxiii)
Maquinaria (mantenimiento)	17.125.660	67 (xxiii)
Vehículos (mantenimiento)	5.701.940	22
Transporte	1.379.940 (xxiv)	5

Tabla 5.16. Planta móvil simple. Otros costes.

(xxiii) 67% superior al de la maquinaria de una planta fija.

(xxiv) Caso alemán (Drees. 1989). Coste por operación de reciclaje (de momento se considera un único desplazamiento a efectos de cálculo). La producción total estaría en torno a 254.550 tn/a (frente a las 255.000 tn/a correspondientes a 1.700 h/a).

5.2.1.1.1.3 Costes fijos y variables.

Costes Variables	Pta./año	Pta./ton
Energía	25.518.060	100
Transporte	1.379.940	5
Desgaste y mantenimiento	39.531.380	155
Total Variables	66.429.380	260
Costes Fijos	Pta./año	Pta./ton
Personal	18.360.000	72
Capital	24.334.340	95
Seguros	491.500 (xxv)	2
Marketing	720.860 (xxv)	3
Administración	11.468.280 (xxv)	45
Total Fijos	55.374.980	217
Costes Totales	121.804.360	478

Tabla 5.17. Planta móvil simple. Costes fijos y variables.

(xxv) Proporcional a los costes de inversión, tomando como referencia la planta fija.

5.2.1.1.2 Análisis económico

Como se explicó en el análisis económico para la planta fija, el coste de gestión de una tonelada de MCD para las empresas constructoras es de 460 Pta./ton.

La Tabla 5.17 muestra cómo el precio que la planta debería cargar por tonelada de material aceptado, para no tener pérdidas es de 460 Pta./ton.

Considerando las mismas suposiciones en cuanto a los porcentajes de los diferentes tipos de materiales que serán reciclados, la cantidad de áridos reciclados que serán producidos por la planta móvil es:

Áridos reciclados tipo base: 129.351 ton/año.

Áridos reciclados tipo sub-base: 112.471 ton/año.

En torno a un 5% de la cantidad total de material a reciclar (o sea, 12.728 ton/año) será material 0-8 mm no reciclable.

Los áridos tipo base serán, al igual que se hizo para en el estudio de la planta fija los elegidos como producto característico del proceso de reciclaje. Esta elección es necesaria como se verá más adelante para la elaboración del estudio económico.

La Tabla 5.18 muestra los beneficios que obtendrían tanto los proveedores como los empresarios, dependiendo del precio de venta de los áridos reciclados.

Tasa aceptación (Pta./ton)	Precio venta (Pta./ton)	Beneficio proveedor (%)	Beneficio planta (%)	Beneficio cliente (%)
478	18	0	0	99
620	160	0	30	89
620	300	30	30	80
620	1.500	291	30	0

Tabla 5.18. Planta móvil simple. Beneficios del reciclaje.

De la información de la Tabla se desprende que para un precio de venta entre 300 y 1.500 Pta./tonelada, el proveedor conseguiría beneficios entre un 30% y un 291%, mientras que la planta tendría unos beneficios del 30% y el cliente, de hasta un 80%.

En la elaboración de esta Tabla comparativa no se han tenido en cuenta ni los costes asociados a la analítica efectuada por un Laboratorio externo, ni los ingresos asociados a la venta del acero del hormigón armado. Tanto por tratarse de conceptos opuestos (costes/ingresos), como de haber amplios márgenes en los beneficios, no cabe esperar variaciones significativas en el caso de haberlos incluido.

5.2.1.2 Planta móvil doble (2 molinos móviles)

5.2.1.2.1 Costes e Ingresos

5.2.1.2.1.1 Costes de inversión.

Costes de inversión	Pta.
Vehículos	79.710.000
Proceso reciclaje	140.000.000 (xxvi)
Inversiones totales	219.710.000

Tabla 5.19. Planta móvil doble. Costes de inversión.

(xxvi) Se está asumiendo que el precio medio de los dos molinos móviles es de 70.000.000 Pta. cada uno.

5.2.1.2.1.2 Costes de personal, energía, desgaste, transporte y mantenimiento

Coste	Pta./año	Pta./ton
Personal	18.360.000	54
Energía (proceso)	6.248.720	18
Energía (vehículos)	22.807.780	67
Maquinaria (desgaste)	18.292.000	54 (xxvii)
Vehículos (desgaste)	4.012.000	12 (xxvii)
Maquinaria (mantenimiento)	22.848.000	67 (xvii)
Vehículos (mantenimiento)	5.701.940	17
Transporte	2.759.880 (xxviii)	8

Tabla 5.20. Planta móvil doble. Otros costes.

(xxvii) Igual que en la planta simple.

(xxviii) Doble que en la planta simple.

5.2.1.2.1.3 Costes fijos y variables.

Costes variables	Pta./año	Pta./ton
Energía	29.056.500	85
Transporte	2.759.880	8
Desgaste y mantenimiento	50.853.940	150
VARIABLES Total	82.670.320	243
Costes Fijos	Pta./año	Pta./ton
Personal	18.360.000	54
Capital	35.712.360	105
Seguros	721.320	2
Marketing	1.057.920	3
Administración	16.830.520	50
Total Fijos	72.682.120	214
Costes Totales	155.352.440	457

Tabla 5.21. Planta móvil doble. Costes fijos y variables.

5.2.1.2.2 Análisis económico

Para este tipo de instalación, el número total de toneladas anuales de áridos reciclados de ambos tipos (base y sub-base) a producir será:

172.468 toneladas/año: áridos reciclados base.

149.962 toneladas/año: áridos reciclados sub-base.

En torno a un 5% del material total (16.970 toneladas/año) serán finos (0-8 mm) que se eliminarán.

La Tabla 5.22 resume los distintos escenarios para el reciclaje en este caso.

Tasa aceptación (Pta./ton)	Precio venta (Pta./ton)	Beneficio proveedor (%)	Beneficio planta (%)	Beneficio cliente (%)
457	20	5	0	99
600	280	30	30	81
740	1.500	265	30	0

Tabla 5.22. Planta móvil doble. Beneficios del reciclaje.

Una tasa de aceptación de 600 Ptas./tonelada junto con un precio de venta de 280 Ptas./tonelada producirían beneficios al proveedor, a la planta y al cliente.

5.2.2 Otros escenarios

Otros escenarios e impactos asociados a ellos se resumen a continuación:

- Variaciones en las tasas de aceptación

La planta impondría mayores tasas de aceptación para admitir materiales incluyendo hormigón armado ya que esto supondría la utilización de un pre-triturador.

Sin embargo, para que esto ocurriera, las tasas por vertido deberían ser más altas que en la actualidad.

- Cumplimiento del 'Rivningsplan' (Ley sobre Demoliciones)

En este hipotético caso habría una mayor cantidad disponible de MCD así como de mayor calidad ya que todo sería de origen mineral.

Para obtener una ventaja comparativa de esta situación habría aumentar la capacidad de los equipos de la planta móvil por encima de las 200 toneladas/h ó 340.000 toneladas/año. Esto dependerá de la evolución tecnológica de este tipo de maquinaria.

- Mayores precios de los áridos naturales

Así la Planta tendría más margen para subir sus precios de venta sin dejar de ser competitiva.

- Mayores tasas de vertido

Esto supondría un aumento del coste de eliminación (vertido) de los MCD para el Proveedor, por lo que la Planta tendría margen para aumentar sus Tasas de Aceptación.

- Mayores costes de transporte

Este es el segundo factor que más influye en la eliminación de los MCD por parte de los Proveedores.

La misma conclusión del apartado anterior sería válida para esta hipotética situación.

- Avances técnicos en el diseño de Plantas Móviles

Tal y como se apuntó en el punto 2, nuevas Plantas Móviles capaces de reciclar por encima de 200 toneladas/h de MCD, supondrían una mejora cuantitativa desde el punto de vista económico en comparación con las existentes en la actualidad (limitadas en este aspecto).

Para disminuir los costes de operación de este tipo de Plantas, no se considerará en el estudio económico siguiente, el uso de pre-trituradores. En este caso, también podría prescindirse de un trabajador. En este caso, el tamaño del material aceptado no debe sobrepasar la abertura del molino primario.

5.2.2.1 Planta Móvil Simple (1 molino móvil)

5.2.2.1.1 Costes

5.2.2.1.1.1 Costes de inversión.

Concepto	Coste
Vehículos	36.450.000 Pta.
Proceso reciclaje	70.000.000 Pta.
Inversión Total	106.450.000 Pta.

Tabla 5.23. Costes de inversión.

5.2.2.1.1.2 Costes de personal, energía, desgaste, transporte y mantenimiento.

Concepto	Coste anual	Coste por tonelada
Personal	12.240.000 Pta.	48 Pta.
Energía (proceso)	2.710.280 Pta.	11 Pta.
Energía (vehículos)	12.082.320 Pta.	47 Pta.
Maquinaria (desgaste)	13.717.760 Pta.	54 Pta.
Vehículos (desgaste)	2.986.020 Pta.	12 Pta.
Maquinaria (mantenimiento)	17.125.660 Pta.	67 Pta.
Vehículos (mantenimiento)	3.020.580 Pta.	12 Pta.
Transporte	950.160 Pta. (xxix)	4 Pta.

Tabla 5.24. Costes de personal, energía, desgaste, transporte y mantenimiento.

(xxix) Promediado con el efecto instalado (transportado) de los vehículos, tomando como referencia el escenario 1.

5.2.2.1.1.3 Costes fijos y variables.

Concepto (variables)	Ptas./año	Ptas./tonelada
Energía	14.792.600	58
Transporte	950.160	4
Desgaste y Mantenimiento	36.850.020	145
Total Variable	52.593.540	207
Concepto (fijos)	Ptas./año	Ptas./tonelada
Personal	12.240.000	48
Capital	17.302.720	68
Seguros	349.480	1
Marketing	512.560	2
Administración	8.154.420	32
Total Fijos	38.559.180	151
Total Costes	91.152.720	358

Tabla 5.25. Costes fijos y variables.

El ahorro con respecto a la situación anterior (escenario 1) es de 120 Ptas./tonelada.

5.2.2.2 Planta Móvil Doble (2 molinos móviles)

5.2.2.2.1 Costes

5.2.2.2.1.1 Costes de inversión.

Concepto	Ptas.
Vehículos	36.450.000
Proceso reciclaje	140.000.000
Total Inversión	176.450.000

Tabla 5.26. Costes de inversión.

5.2.2.2.1.2 Costes de personal, energía, desgaste, mantenimiento y transporte.

Concepto	Coste anual, Pta.	Coste, Pta./ton
Personal	12.240.000	36
Energía (proceso)	6.248.720	18
Energía (vehículos)	12.082.320	36
Maquinaria (desgaste)	18.292.000	54
Vehículos (desgaste)	4.012.000	12

Concepto	Coste anual, Pta.	Coste, Pta./ton
Maquinaria (mantenimiento)	22.848.000	67
Vehículos (mantenimiento)	3.020.580	9
Transporte	1.900.320	6

Tabla 5.27. Planta móvil doble. Costes varios.

5.2.2.2.1.3 Costes fijos y variables.

Costes variables	Ptas./año	Ptas./tonelada
Energía	18.331.040	54
Transporte	1.900.320	6
Desgaste y mantenimiento	48.172.580	142
Total Variable	68.403.940	202
Costes fijos	Ptas./año	Ptas./tonelada
Personal	12.240.000	36
Capital	28.680.740	84
Seguros	579.300	2

Costes variables	Ptas./año	Ptas./tonelada
Marketing	849.620	2
Administración	13.516.660	40
Total fijos	55.866.320	164
Total costes	124.270.260	366

Tabla 5.28. Planta móvil doble. Costes fijos y variables.

El ahorro con respecto a la situación anterior (escenario 1) es de 91 Ptas./tonelada.

5.2.3 Coste en función de la producción

5.2.3.1 Planta móvil simple

Puede verse en la Figura 5.2. Los datos se encuentran en la Tabla 5.29.

Producción (tonelada/año)	Coste fijo (Ptas./tonelada)	Coste variable (Ptas./tonelada)	Coste total (Ptas./tonelada)
25.000	2.215	261	2.476
50.000	1.107	261	1.368
100.000	554	261	815
150.000	369	261	630

Producción (tonelada/año)	Coste fijo (Ptas./tonelada)	Coste variable (Ptas./tonelada)	Coste total (Ptas./tonelada)
200.000	277	261	538
250.000	221	261	482

Tabla 5.29. Coste en función de la producción

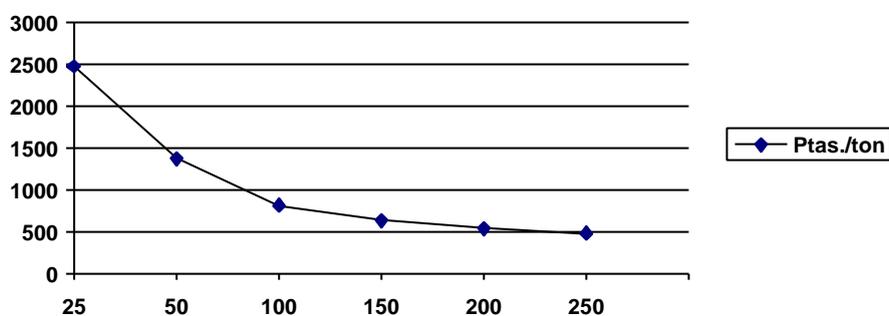


Figura 5.2. Planta móvil sencilla. Coste en función de la producción (en el eje de abscisas, miles de tonelada/año).

La mínima producción que produciría beneficios es aquella entre 30.000 y 40.000 tonelada/año tal y como se muestra en la Tabla 5.30.

Producción (ton/año)	Tasa Aceptación Ptas./ton (*)	Precio Venta, Ptas./ton	Beneficio Proveedor (%)	Beneficio Planta (%)	Beneficio cliente (%)
30.000	2.106	1.646	0	0	-10
40.000	1.645	1.185	0	0	21

Producción (ton/año)	Tasa Aceptación Ptas./ton (*)	Precio Venta, Ptas./ton	Beneficio Proveedor (%)	Beneficio Planta (%)	Beneficio cliente (%)
40.000	1.800	1.460	26	10	3

Tabla 5.30. Planta móvil simple. Mínima producción.

(*) La Tasa de Aceptación iguala el Coste de Producción para un beneficio nulo de la Planta.

5.2.3.2 Planta Móvil Doble.

La gráfica del coste en función de la producción puede verse en la Figura 5.3, mientras que los datos figuran en la Tabla 5.31.

Producción, tonelada/año	Costes Fijos (Ptas./tonelada)	Costes Variables (Ptas./tonelada)	Costes Totales (Ptas./tonelada)
40.000	1.817	243	2.060
50.000	1.454	243	1.697
100.000	727	243	970
150.000	485	243	728
200.000	363	243	606
250.000	291	243	534

Producción, tonelada/año	Costes Fijos (Ptas./tonelada)	Costes Variables (Ptas./tonelada)	Costes Totales (Ptas./tonelada)
300.000	242	243	485

Tabla 5.31. Planta Móvil Doble. Coste en función de la producción.

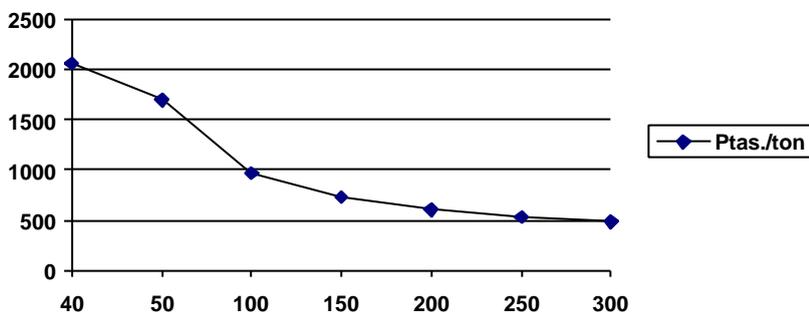


Figura 5.3. Planta Móvil Doble. Coste en función de la producción (en el eje de abscisas, miles de tonelada/año)

La mínima producción que produciría beneficios oscilaría entre 40.000 y 50.000 tonelada/año como muestra la Tabla 5.32.

Producción ton/año	Coste, Ptas./ton	Precio, Ptas./ton	Beneficio Proveedor, %	Beneficio Planta, %	Beneficio cliente, %
40.000	2.166	1.706	0	0	-14
50.000	1.802	1.342	0	0	11

Producción ton/año	Coste, Ptas./ton	Precio, Ptas./ton	Beneficio Proveedor, %	Beneficio Planta, %	Beneficio cliente, %
50.000	1.802	1.860	72	3	4

Tabla 5.32. Planta Móvil Doble. Mínima producción.

5.2.4 Múltiples Operaciones Anuales Triturado

Todos estos resultados están basados en la suposición de que la Planta Móvil sólo tendrá un desplazamiento anual. Esta suposición parece poco realista ya que la principal ventaja comparativa de las plantas móviles es precisamente su capacidad para ser transportada a los distintos puntos de generación de MCD.

Debido a este hecho, a continuación se incluye un análisis similar a los anteriores pero considerando que ambos tipos de plantas móviles, la simple y la doble, realizarán un total de catorce (14) servicios anuales.

Los costes de transporte serán catorce (14) veces mayores, mientras que la capacidad de las plantas disminuirá en torno a un 2,5%.

Esta disminución de la capacidad se explica porque se dispone de menor tiempo de funcionamiento de las plantas ya que aumenta el tiempo dedicado al transporte de las mismas.

Los resultados finales de dichos análisis se muestran en la Tabla 5.33.

Número operaciones	Planta Móvil Simple, Ptas./tonelada	Planta Móvil Doble Ptas./tonelada

Número operaciones	Planta Móvil Simple, Ptas./tonelada	Planta Móvil Doble Ptas./tonelada
1/año	478	457
14/año	562	577
Diferencia global	84 (18%)	120 (26%)

Tabla 5.33. Planta Móvil. Costes en función de las operaciones.

Puede observarse cómo el incremento en el coste final por tonelada es mayor en el caso de Plantas Dobles que en las Simples debido al mayor coste de transporte en este caso.

Por otra parte, se asumirá (por simplicidad) que en todas y cada una de las catorce (14) operaciones se reciclará la misma cantidad de escombros. La Tabla 5.34 muestra el incremento en el coste del reciclaje de una tonelada debido exclusivamente al transporte.

Operaciones	Coste total (Ptas./año)	Ptas./operación	Tonelada	Ptas./tonelada	Beneficio
1 (simple)	121.804.360	121.804.360	255.000	478	Posible
14 (simple)	139.743.640	9.981.680	17.764	562	?
1 (doble)	155.352.440	155.352.440	340.000	457	Posible
14 (doble)	191.231.000	13.659.360	23.686	577	?

Tabla 5.34. Planta Móvil. Coste del transporte.

Posible significa que, como se mostró en el primer análisis, el beneficio es posible de alcanzar para ese coste.

El signo " ? " significa que para determinar el posible beneficio, se requiere un ulterior análisis. Estos análisis se muestran en la Tabla 5.35 y en la 12.36.

Tipo de planta	Máximo coste (Ptas./ton)	Beneficio nulo Proveedor (Ptas./ton)	Beneficio nulo cliente (Ptas./ton)	x: cantidad mínima (ton/operación)
Simple	$9.981.680/x$	$9.981.680/x - 460$	$(9.981.680/x - 460) < 1.500$	5.093
Doble	$13.659.360/x$	$13.659.360/x - 460$	$(13.659.360/x - 460) < 1.500$	6.969

Tabla 5.35. Planta móvil. Alternativa beneficio nulo. (*)

(*) Esta tabla muestra la mínima cantidad necesaria de material a reciclar para no tener pérdidas económicas.

Considerando una superficie media para un piso en Estocolmo de 100 m² y asumiendo que se genera una tonelada de material de demolición por cada m², la cantidad obtenida en la Tabla 5.35 equivaldría a unos 51 pisos para el caso de la Planta Simple y a unos 70 pisos en el caso de Planta Doble.

Tipo de planta	Máximo coste (Ptas./ton)	Beneficio nulo Proveedor (Ptas./ton)	Beneficio nulo cliente (Ptas./ton)	x: cantidad mínima (ton/operación)
Simple	$1,3 \cdot 9.981.680 / x$	$1,3 \cdot 9.981.680 / x - 320$	$(1,3 \cdot 9.981.680 / x - 320) < 1.060$	9.403
Doble	$1,3 \cdot 13.659.360 / x$	$1,3 \cdot 13.659.360 / x - 320$	$(1,3 \cdot 13.659.360 / x - 320) < 1.060$	12.868

Tabla 5.36. Planta móvil. Alternativa 30% beneficio. (**)

(**) Esta tabla muestra la mínima cantidad necesaria de material de demolición a reciclar para que la Planta obtenga un beneficio del 30% (o sea, que los ingresos superen a los gastos en un 30%).

Haciendo ahora el mismo comentario que en el caso anterior, la cantidad de pisos demolidos que tiene que haber en cada operación de reciclaje para que dicha operación sea rentable sería 94 para el caso de Planta Móvil Simple y de 129 para el caso de Planta Móvil Doble.

Por tanto la respuesta a ambos signos de interrogación (" ? ") es la misma: para dicha cantidad de material a reciclar y para un número de operaciones de 14 seguiría siendo rentable el reciclaje.

Sí podría ser un problema real la localización de puntos de demolición con tanta cantidad de material generado: más de 9.400 toneladas en el caso de Planta Simple y más de 12.800 toneladas de material demolido para el caso de Planta Doble parecen cantidades poco realistas (por lo altas) en ambientes urbanos.

6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Planta Fija

Este estudio ha demostrado que, considerando todas las restricciones aplicables a la región de Estocolmo, la instalación de una planta fija de reciclaje de MCD para producir áridos de alta calidad en la construcción de carreteras es posible.

El impacto medioambiental estaría controlado por medio de medidas tanto técnicas como políticas: tecnologías de separación así como un cumplimiento estricto de la legislación ambiental que entró en vigor en 1996.

La calidad de los áridos finales cumpliría con las especificaciones estándar aplicables a los áridos naturales usados en la construcción de carreteras. Esto es un hecho ya en aquellos países que ya los utilizan.

El análisis económico dio un balance positivo entre los ingresos potenciales y los costes.

Con una producción anual por encima de 300.000 toneladas, la planta generaría beneficios.

Decisiones políticas tales como el aumento de las tasas de vertido, harían que los Proveedores mandaran todos los escombros a la planta de reciclaje en vez de a los vertederos.

Este tipo de medidas supondrían para la Planta el disponer de más margen para fijar tanto las Tasas de Aceptación como los precios finales de venta de los áridos. Una adecuada política de precios podría hacer que los Clientes abandonaran progresivamente el uso de áridos naturales por los reciclados.

Cabe esperar, no obstante, un cierto escepticismo en el mercado ante este nuevo tipo de productos, hasta que éste madure y se convenza de su comportamiento en la construcción de carreteras.

6.2 Planta Móvil

La calidad final de los áridos reciclados en plantas móviles, así como la evaluación de impacto ambiental, se logran con este tipo de maquinaria.

La generación de ruido puede ser el único impacto ambiental destacable de esta tecnología debido a que su área de actuación es principalmente urbana, donde la legislación es más restrictiva.

Sin embargo, se han descrito en este estudio diversas medidas correctoras tendentes a solucionar la problemática asociada a este impacto.

El aspecto económico es el que más deja que desear para favorecer la extensión de su uso, a pesar de haberse demostrado la posibilidad real de obtención de beneficios económicos.

La explicación es la siguiente:

1. Con la tecnología actual, las Plantas Móviles no tienen la suficiente capacidad como para reciclar la totalidad de los escombros generados en la Región de Estocolmo.
2. Este tipo de Plantas requiere una superficie mínima para operar (245 m² en el caso de Plantas Dobles) que les impide el acceso a puntos de demolición, sobre todo en ambientes urbanos.
3. Por último, el análisis económico mostró que la cantidad mínima de escombros necesaria para que cada operación de reciclaje de estas Plantas pudiera ser beneficiosa equivale a 94 pisos para el caso de Plantas Simples y 129, para las Dobles. Como se indicó anteriormente, se trata de volúmenes difíciles de encontrar.

6.3 Recomendaciones

Una vez concluido este Proyecto, su recomendación final es animar a la inversión y explotación de una Planta Fija de reciclaje de materiales de construcción.

Un par de comentarios añadidos a esta afirmación son:

1. El hecho de que la Planta daría beneficios para producciones por encima de 300.000 ton/año, siendo 500.000 las toneladas anuales generadas en la Región, implica que las Autoridades Políticas deberían legislar para que la mayoría de dichos escombros fueran a parar a la Planta. Medidas tales como el aumento de las Tasas de Vertido así como de los Impuestos por Vertido ayudarían en este sentido.
2. Parece difícil que pudiera en la actualidad haber más de una Planta Fija que pudiera reciclar en la Región obteniendo beneficios. Debido a la producción mínima requerida así como a la generada, sólo en el caso de una única Planta se podría prever un resultado económicamente favorable.
3. En el hipotético caso de que se aplicaran medidas favorables a la actividad de la planta como las enumeradas más arriba (mayores tasas e impuestos por verter, mayores costes de transporte, entre otras), sí habría más margen para la obtención de beneficios por la Planta. Esto permitiría la aparición de más de una Planta.

6.4 Comentario final

Para terminar este trabajo, se hacen algunos comentarios sobre los métodos utilizados para obtener las conclusiones arriba expuestas.

La información fue reunida y obtenida de tres fuentes principales: publicaciones y artículos, entrevistas personales así como un viaje de investigación.

Dicho viaje de investigación habría sido más fructífero de haberse realizado en una etapa más avanzada de la investigación, cuando más información había sido estudiada.

El marco elegido para analizar la actividad de este tipo de reciclaje (calidad, medio ambiente y rentabilidad económica) ha demostrado ser bastante adecuado en el estudio de esta actividad.

El proceso de diseño de las plantas era también imprescindible para poder describir cómo llevar a cabo esta actividad.

Plantas Fijas y Móviles han de ser descritas en sus procesos específicos para ser capaces de dar respuestas técnicas al futuro inversor.

Por último, el estudio de distintos escenarios tanto desde el punto de vista técnico como desde el económico ha sido muy útil para tratar de describir los distintos caminos que podría seguir esta actividad en el futuro de la Región.

7. Referencias

(1) AB Underås. 1995.

(2) AIPCR. Association Internationale Permanente Des Congrès De La Route. Technical Dictionary of Road Terms in Six Languages. Paris; AIPCR, 2 rue Cézanne, 2316 pp. 1951.

(3) American Concrete Pavement Association. Concrete paving technology. Recycling concrete pavement. 1993.

(4) Arell, Lars. Sekundära Ballastmaterial i Nederländerna. TRITA-AMI Report 3005, ISBN 41-7170-842-1. 1995. (Sueco)

(5) Bakker, M.A. 12 Years of Successful Wet Processing of Building Rubble in Rotterdam. 1993.

(6) Ballast AB (Jan Jönsson, personal communication. 1995).

(7) Berg, Flemming, Milvang-Jensen, Ole and Moltved, Niels. Ubundne bærelag af knust asfalt. Vejdirektoratet. Miljøministeriet. Miljøstyrelsen. Statens Vejlaboratorium. Rapport 69. ISBN 87-88728-69-2. 1992. (Danés)

(8) B.C.S.J. Proposed Standard for the Use of Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete. Building Contractors Society of Japan. Committee on Disposal and Reuse of Construction Waste. 1977 (Versión Inglesa publicada en junio 1981).

(9) B.C.S.J. Study on Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete. Building Contractors Society of Japan. Committee on Disposal and Reuse of Concrete Construction Waste. Summary in Concrete Journal, Japan, 16, No. 7, pp. 18-31 (Japonés). 1978.

(10) Boesman, B. Crushing and Separating Techniques for Demolition Material. EDA/RILEM Demo-Recycling Conference, Proc. Vol. 2. Re-Use of Concrete and Brick Materials, Rotterdam, European Demolition Association, Wassenaarseweg 80, 2596 CZ, Den Haag, The Netherlands. 1985.

(11) BS 18. Tensile Testing of Metals. 1956.

- (12) BS 2787. Glossary of Terms for Concrete and Reinforced Concrete. 1956.
- (13) CarlF AB (Kenneth Parnefjord, entrevista personal. 1995).
- (14) Dohmann, M. Gefahren durch Bauschuttrecycling, Entsorgungs-Praxis. 10/87.
- (15) Donovan, Christine T. Construction and Demolition Waste Processing: New Solutions to an old Problem. C. T. Donovan Assoc. Burlington, VT. Resour. Recycl. v10, n8, p 146(8), journal article. August 1991.
- (16) Draft European Standard. Method for Determination of the Resistance to Fragmentation: Los Angeles Test. TG 7/07/ A 4. June 1991.
- (17) Drees, G. Recycling von Baustoffen in Hochbau, Geräte, Materialgewinnung, Wirtschaftlichkeitsberechnung. Bauverlag GMBH. Wiesbaden und Berlin. 1989. (Alemán).
- (18) Edwin Holmström, J., Fickelson Maurice, Jecic Danilo. Trilingual Dictionary for Materials and Structures. RILEM. International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures. 1971.
- (19) Engson Maskin AB. 1995.
- (20) Eriksson Olle, Svensson Göran. Tillverkning av ballastmaterial. Produktionsteknik och Materialhantering. 1980. (Sueco)
- (21) F.H.W.A. Proceedings of the National Seminar on PCC Pavement recycling and rehabilitation, St. Louis, Missouri, USA, Federal Highway Administration Report FHWA-TS-82-208. 1981.
- (22) Goumans, J. J. J. M. (ed.), Environmental Aspects of Construction with Waste Materials: Proceedings of the Second International Conference on Environmental Implications of Construction Materials and Technology Developments, WASCON'94, Maastricht, 1994. Elsevier, Amsterdam. 1994.

- (23) Hansen, T.C., and Narud, H. Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate. *Concrete International-Design and Construction*, 5. Number 1, pp. 79-83. 1983.
- (24) Hansen, Torben C. (editor). *Recycling of Demolished Concrete and Masonry. Part one; Recycling aggregates and recycled aggregate concrete*. RILEM report No.6. 1992.
- (25) Heimsoth, W. *Erfahrungen mit einer trockenen Bauschutt-Aufbereitungsanlage*. Proceedings of the 4th International Recycling Congress, Berlin, pp. 1033-1037. 1984.
- (26) Höbeda Peet. *Rapport från deltagande i 2nd SPRINT Workshop Alternative Materials in Road Construction*. Rotterdam 2-4 June 1992.
- (27) Jansson, Ragnar. Länsstyrelsen. 1995. (entrevista personal)
- (28) Jehanders AB. 1995.
- (29) Juul, Martin. Business Manager of RGS'90. *Utilisation of Construction and Demolition Waste in Denmark*. 1995.
- (30) Kohler Heransgeber, Guntran (Dr.-Ing.). *Recyclingpraxis Baustoffe*. 1994. (Alemán)
- (31) Kommunal Översiktsplanering enligt Plan- och Bygglagen, m.m. Regeringens Proposition 1994/95:230. 1995. (Sueco)
- (32) Kreijger, Pieter C. (editor). *Adhesion Problems in the Recycling of Concrete*. 1981.
- (33) Lauritzen, Erik K. *Building Waste Generation and Reuse of Building Waste Materials. Advances in Recovery Autorecycling*. Copenhagen. Hexagon. 1993.
- (34) Lindsell P. and Mulheron M. *Recycling of Demolition Debris*. Institute of Demolition Engineers, 18 Station Approach, Virginia Water, Surrey GU25 4AE, United Kingdom. 1985.
- (35) Meininger, Richard C., editor. *Effects of Aggregates and Mineral Fillers on Asphalt Mixture Performance*. 1992.

- (36) Ministry of The Environment And Natural Resources. Swedish Environmental Legislation. 1993.
- (37) Neville, A.M. Properties of concrete. 1973.
- (38) Nix, H. Erfahrungen mit einer nassen Bauschutt-Aufbereitungsanlage. Proceedings of the 4th International Recycling Congress, Berlin, pp. 1009-1013. 1984.
- (39) Nordberg AB (Lars-Gunnar Ström, entrevista personal. 1995).
- (40) Nordberg España. 1995.
- (41) O'Mahony, M.M. Frost Susceptibility of Recycled Aggregate (article from ref. (Goumans, J. J. J. M.(ed.). 1994)). 1994.
- (42) Ottosson, Charlotte and Strand, Monika. Inventory of the Demolition Phase of a Nuclear Power Station. Master of Science Degree Project. TRITA-BYMA 1994:9 E. Stockholm 1994.
- (43) PEAB AB (Gert Svensson, entrevista personal. 1995).
- (44) RAW Standard Conditions of Contract for Works of Civil Engineering Construction. 1990. (Holandés)
- (45) RGS'90 (Karsten Ludvigsen, entrevista personal. 1995).
- (46) RILEM. Demolition and Reuse of Concrete and Masonry. Proceedings of the Third International RILEM Symposium. October 1993.
- (47) RS Nymölle A/S (Helmer Stirø-Larsen, entrevista personal. 1995).
- (48) Scholten, L.J. Processing Plants for Demolition and Construction Wastes in The Netherlands. Dutch Recycling Association on Construction and Demolition Waste. BRBS-report 016. July 1991.

- (49) Schouenborg, Björn and Viman, Leif. Studded Tyre Test. Precision trials. Swedish National Testing and Research Institute. 1994.
- (50) Sigfrid, Lotta. Bygg-och Rivningsavfall. SYSAV Utveckling AB. September 1994.
- (51) Stadsbyggnads Kontoret. Stadsdelarnas Utveckling 2. Östermalm. Samråd om förslag till Översiktsplan 96 för Stockholm. Stockholms Stad. September 1995. (Sueco)
- (52) Statistisk årsbok för Stockholm. Utrednings-och Statistisk- Kontoret. Stockholms stad. 1992.
- (53) Stockholm Energi. 1995.
- (54) 'Stockholms Hamn' (The Harbour of Stockholm, Inglés). 1995
- (55) Superfos Construction a/s (Helge Nielsen, entrevista personal. 1995).
- (56) Svedala Svenska AB (Magnus Malmström, entrevista personal. 1995).
- (57) Sveriges Geologiska Undersökning (SGU). Aggregates and Industrial Minerals. Production and Resources. 1994.
- (58) Swedish National Road Administration. Väg 94. 1994. (Sueco)
- (59) Vyncke, J. and E. Rousseau. Recycling of Construction and Demolition Waste in Belgium, Actual Situation and Future Evolution. Proceedings of the Third International RILEM Symposium. London, UK. 1994.
- (60) Yrjanson, William A. Recycling of Portland cement concrete pavements. National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Highway Practice. American Concrete Pavement Association. 1989.

8. Pliego de Condiciones Generales

8.1 Objetivo

El objetivo del Pliego de Condiciones es establecer las bases de los concursos relacionados con la contratación de las obras y condiciones generales para contratos y pedidos que incluyan mano de obra en el lugar de construcción

8.1.1 Definiciones

En el contrato aparecerán una serie de términos, que se entenderán como sigue:

Addendum o Addenda: Disposiciones adicionales al contrato dictadas por escrito por la compañía propietaria, antes de la apertura de las propuestas.

Propietario: Compañía que proyecta la ejecución de la Planta de Reciclaje cuya autoridad representa su Director General o el representante autorizado de este.

Contratista principal: Empresa de Ingeniería responsable del diseño, puesta en marcha y supervisión total de la Planta de Reciclaje.

Subcontratista: Empresas que prestan los servicios y los suministros requeridos para la construcción de la Planta de Reciclaje.

Contratos o Documentos contractuales: Las diversas partes del contrato citadas en este pliego, tanto su conjunto como individualmente.

Planos contractuales: Planos específicamente titulados así y relacionados en el Pliego de Condiciones, o cualquier addendum o plano suministrado por la Compañía Propietaria como integrante o supletorio.

Trabajo contractual: Trabajo cuyo suministro o ejecución se le exija al Contratista por una o varias de las partes del contrato, excepto el trabajo extra descrito más adelante en este Pliego de Condiciones.

Ingeniero: Persona designada por el Propietario y/o Contratista Principal y/o los Subcontratistas para actuar como tales en relación con el presente contrato, incluyendo ingenieros particulares según el contrato.

Trabajo extra: Cualquier trabajo no incluido en el contrato en el momento de su ejecución.

Proveedores: Cualquier persona, empresa o entidad, excepto empleados del Contratista Principal, que contrate con este o con cualquier Subcontratista, la fabricación o entrega de maquinaria, materiales o equipo de incorporar al trabajo o que realmente realice dicha fabricación o entrega.

Medios y Métodos de construcción: Mano de obra, materiales, estructuras provisionales, herramientas, maquinaria y equipo de la construcción, y el modo y el tiempo de su ejecución, necesarios para completar este contrato.

Obra: Los trabajos con el alcance descrito y que se refieren a este contrato.

Zona de la obra: Área de la obra donde el Contratista Principal ejecutará el trabajo contratado y cualquier área adyacente designada como tal por el Propietario.

Pliego de Condiciones: Directrices, requisitos y normas de procedimientos, aplicables al trabajo detallado más adelante y estipulado en el Pliego de Condiciones Facultativas o cualquier otro documento o anexo incluido.

Trabajo: El suministro y trabajos exigidos al Contratista Principal, y deberá incluir el trabajo contractual y el trabajo extra.

Resto de equipos del Proceso: Cumplirán las especificaciones previstas en otros puntos, así como las normas de seguridad vigentes. La empresa adjudicataria del Proyecto se responsabilizará de su exacto cumplimiento.

Certificación de materiales y pruebas de funcionamiento: El Contratista Principal proporcionará al Propietario siete copias de los certificados de materiales.

El Contratista Principal será responsable de las inspecciones y deberá estar presente en las pruebas hidrostáticas y de funcionamiento de todo el equipo (o sus partes componentes) y de su suministro.

8.2 Bases Generales

8.2.1 Objeto de los Concursos

El objeto de los concursos será la contratación de las obras que comprende el Proyecto para la construcción de la Planta de Reciclaje de materiales de construcción y demolición para su uso en la construcción de carreteras.

8.2.2 Idioma Oficial

En las relaciones de las Empresas Constructoras con el Propietario se utilizará el español.

8.2.3 Documentos que el Propietario Pone a Disposición de las Empresas Constructoras

Las Empresas Constructoras tendrán a su disposición, además de las presentes bases, los siguientes documentos del proyecto:

- Datos de los sondeos y ensayos realizados.

- Planos.
- Pliegos de condiciones facultativas, condiciones generales y condiciones complementarias.
- Resultados de las cubicaciones.
- Relación de las unidades para formar el presupuesto.

El Propietario podrá ofrecer en cada caso otros datos que considere necesarios para el estudio de la oferta.

8.2.4 Datos que Figuran en el Proyecto

Las cantidades y cubicaciones indicadas en el modelo de las ofertas se estiman correctas y sirven para comparar los presupuestos distintos. El abono al Contratista Principal se efectuará a base de la cantidad de trabajo realmente ejecutada por él, o en su caso, la cantidad de materiales que él suministra, ambos conformes a las condiciones exigidas en los documentos contractuales, y deberá comprenderse que dichas cantidades y cubicaciones indicadas pueden incrementarse, reducirse u omitirse sin cambiar el precio unitario propuesto en el modelo de oferta. Los datos sobre sondeo, ensayos, condiciones locales y demás circunstancias que se recogen en el Proyecto representan una opinión fundada del Propietario.

Sin embargo, ello no supone que se responsabiliza de la certeza de los datos que se suministran y, en consecuencia, deben adaptarse tan sólo como complemento de la información que el ofertante deba adquirir directamente y con sus propios medios.

Por tanto, el Contratista Principal será el responsable de los errores que puedan derivar de su defecto o negligencia en la consecución de todos los datos que afecten al contrato, al planeamiento y a la ejecución de la obra,

Antes de presentar su presupuesto, el citado deberá realizar un estudio escrupuloso de dicho documento, el terreno sobre el que se ejecutará la obra propuesta, todos los planos, los pliegos de condiciones, las condiciones generales y especiales del contrato propuesto y los formatos empleados en dicha presentación.

Deberá comprenderse que la presentación del presupuesto se considerará como evidencia prima-facies de que el licitador realizó tales estudios y que está puesto al corriente en cuanto a lo exigido en los planos y otros documentos.

8.2.5 Admisión Previa a la Licitación

Podrán optar a la adjudicación de las obras todas las empresas nacionales y extranjeras individuales o asociadas que lo deseen, siempre que cumplan las condiciones del contrato, la legislación general vigente y las presentes ases, y hayan sido previamente admitidas a la licitación por el Propietario.

8.2.6 Propuesta

Las propuestas se efectuarán sobre la base de las cubicaciones y alcance de los trabajos proporcionados por el Propietario.

Los precios de las unidades y el presupuesto total serán fijados por el ofertante.

El plazo de ejecución de las obras no podrá exceder del establecido por el Propietario para la terminación de las mismas.

Los interesados deberán realizar cuantos estudios estimen necesarios para ejecutar la obra, ajustándose a los Planos y Pliegos de Condiciones.

8.3 Condiciones Generales

8.3.1 Terminología General

8.3.1.1 Intención del Contrato

La intención del contrato es prescribir una obra completa u otro trabajo del contrato conforme a lo indicado en los Planos, Pliego de Condiciones, Condiciones Especiales, Presupuesto y Contrato.

El Contratista Principal y/o Subcontratistas deberán ejecutar todo el trabajo conforme a las líneas, rasantes, secciones, tipo, dimensiones y demás informaciones indicadas en los Planos o en las modificaciones hechas por orden escrita, incluyendo el suministro de todo el material, instrumentos, maquinaria, equipos, herramientas, transporte personal y demás cosas necesarias para la ejecución y terminación del trabajo.

8.3.1.2 Trabajo Especial

Si fuera necesario ejecutar construcciones o remediar condiciones no incluidas en los Planos, Pliegos de Condiciones o Condiciones Especiales, el Propietario preparará un Pliego de Condiciones Complementarias para dicho trabajo, y este se considerará como Pliego de Condiciones.

En el caso de que el Pliego de Condiciones Complementarias esté en desacuerdo con otro documento contractual, prevalecerá el texto de Condiciones Complementarias.

8.3.1.3 Documentos Contractuales

Excepto el título, subtítulo, epígrafes, índices y materias o índices cuya inclusión se hace simplemente para mayor comodidad del lector, se considerarán como parte de los contratos las siguientes, salvo aquellas de sus partes que expresamente se excluyan:

- Anuncio

- Las bases del concurso

- La propuesta

- La fianza provisional

- El Pliego de Condiciones Complementarias

- El Pliego de Condiciones Generales

- El Pliego de Condiciones Facultativas

- La fianza definitiva

- El contrato

- Los planos contractuales

- Todos los apéndices emitidos por el Propietario antes de la apertura de propuestas

- Todas las disposiciones cuya inclusión en el contrato sea legalmente obligatoria, tanto si se han incluido como si no

- El aviso de adjudicación

8.3.1.4 Idioma Oficial

En las relaciones con el Propietario, el adjudicatario empleará el español. Caso de que el contrato se redacte en más de un idioma, regirá la versión española.

8.3.2 Perfeccionamiento Del Contrato

8.3.2.1 Fianza Definitiva

El adjudicatario estará obligado a prestar una fianza definitiva del diez por ciento del importe de su oferta, bien mediante depósitos en metálico o títulos de la Deuda, bien mediante aval entregado por un Banco, oficial o privado inscrito en el Registro General de Bancos y Banqueros, de conformidad con los requisitos que establece la ley de 22 de Diciembre de 1960 y disposiciones complementarias.

La fianza podrá ser otorgada por persona o entidad distinta del adjudicatario, entendiéndose en todo caso, que la garantía queda sujeta a las mismas responsabilidades que si fuera constituida por él mismo.

En caso de amortización o sustitución total o parcial de valores o modificaciones de las condiciones de aval bancario que constituya la fianza definitiva, el adjudicatario estará obligado a mantener en todo momento el importe de la garantía, debiendo quedar constancia documentada de cualquier modificación que se produzca.

Durante el desarrollo del contrato, el Propietario retendrá a los mismos efectos de fianza, el diez por ciento del importe de las certificaciones. Esta retención será devuelta al empresario en las condiciones que se indican en el apartado 15.3.8.4, Periodo de Garantía.

8.3.2.2 Formalización del Contrato

El adjudicatario queda obligado a suscribir dentro del plazo de quince días hábiles, contados a partir de la fecha en que se haya acreditado la constitución de la fianza

definitiva, el correspondiente documento de contrato. Son de cuenta del adjudicatario los gastos e impuestos derivados de la licitación y de la formalización del contrato y cuantos otros existan legalmente establecidos.

8.3.3 Cumplimiento de los Plazos

8.3.3.1 Programa de Trabajo

En el plazo de quince días hábiles a partir de la adjudicación, el adjudicatario presentará el Programa de trabajo de las obras. Dicho programa incluirá los siguientes datos:

- Fijación de las clases que integran el proyecto e indicación del volumen de las mismas, de acuerdo con la descripción por partidas y las cantidades fijadas en la propuesta.
- Determinación de los medios necesarios (instalaciones, equipos y materiales) con expresión de sus rendimientos medios.
- Estimación, en días naturales, de los plazos parciales de las diversas clases de obras.
- Valoración mensual y acumulada de las obras programada sobre la base de precios unitario de adjudicación.
- Gráfico de las diversas actividades en un diagrama espacio-tiempo o PERT.

8.3.3.2 Revisión del Programa de Trabajo

Siempre y cuando sea conveniente, el programa de trabajo deberá ser revisado por el Contratista Principal en el modo y momento ordenado por el ingeniero, y si lo

aprueba el Propietario, el Contratista Principal deberá adaptarse al plan revisado estrictamente.

En ningún caso deberá permitirse que el plazo total revisado y fijado para la terminación de la obra, sea objeto de dicha revisión, si antes no ha sido justificada plenamente la necesidad de dar ampliación, de acuerdo con las disposiciones del artículo 5.3.3.6. Ampliación del Plazo.

8.3.3.3 Iniciación y Prosecución de las Obras

Una vez aprobado por el Propietario el programa de trabajo se dará la orden para iniciar el trabajo, considerándose la fecha de este como la fecha de comienzo del contrato.

El Contratista Principal habrá de comenzar la obra dentro de los diez días a partir de dicha fecha. Siendo el tiempo uno de los elementos esenciales del contrato, el Contratista Principal proseguirá la obra con la mayor diligencia, empleando aquellos medios y métodos de construcción que aseguren su terminación no más tarde de la fecha establecida al efecto, o en la fecha que se haya ampliado el tiempo estipulado para la terminación.

El Contratista Principal deberá exhibir a pie de obra toda la maquinaria y equipo que prometió durante la oferta, y aquella que el Propietario crea necesaria para ejecutar adecuadamente el trabajo.

La maquinaria y demás elementos de trabajo deberán quedarse a pie de obra durante todo el tiempo que sean necesarios y no deberán quitarse sin el permiso del Propietario.

8.3.3.4 Aviso de Causa de Trabajo

Dentro de diez días de la ocurrencia de cualquier condición que cause, o que pueda causar un retraso (incluyendo las que dan derecho a la revisión del plazo), el Contratista Principal deberá avisar al Propietario por escrito de efecto que, en su caso,

tales condiciones tengan el programa de trabajo ya establecido, declarando por qué y en qué respectos, la condición está causando, o podrá causar, demora. Si el Contratista Principal no cumple estrictamente con este requisito a juicio del Propietario, este podrá considerar tal incumplimiento como causa suficiente para negar toda ampliación del plazo por causa de retraso debida a cambios, trabajo adicional, suspensión del trabajo u otras condiciones. Tal incumplimiento llevará implícita la renuncia del derecho del Contratista Principal a toda reclamación por los daños ocasionados por la demora.

8.3.3.5 Coordinación con otros Contratistas

Durante el programa de trabajo, otros contratistas podrán emplearse en otras fases de la obra. En tal caso, el Contratista Principal deberá coordinar su trabajo con los demás contratistas según las órdenes del Propietario.

El Propietario se reserva el derecho de suspender todos los pagos, hasta que el Contratista Principal cumpla con dichas órdenes de coordinación.

El Contratista Principal deberá ser responsable ante el Propietario de todas las reclamaciones, daños y gastos ocasionados por no haber cumplido prontamente con dichas órdenes del Propietario.

8.3.3.6 Ampliación del Plazo

El Propietario podrá ampliar el plazo para el cumplimiento del trabajo, conforme a las disposiciones de este artículo.

La solicitud de ampliación del plazo deberá hacerse por el Contratista Principal, por escrito, antes de completar el trabajo contratado, describiendo detalladamente las causas de la demora, la fecha de su comienzo y la terminación de estas y el número de días de demora atribuibles a dichas causas.

8.3.3.7 Bases para la Ampliación del Plazo

En el caso de solicitud de ampliación del plazo, el Contratista Principal sólo tendrá derecho a esta si la demora se debe exclusivamente a:

- Los actos u omisiones de otros subcontratistas de la misma obra.
- Los actos u omisiones del Propietario, sus funcionarios agentes o empleados.

Las condiciones que están fuera del Propietario y del Contratista Principal, por ejemplo, hechos de fuerza mayor o del enemigo público, inclemencias del tiempo excesivas, guerras y otros peligros nacionales, que imposibiliten o hagan ilegal la ejecución del trabajo, huelgas u otras cuestiones laborales no causadas por los actos u omisiones del Contratista Principal. Este sólo tendrá derecho a una ampliación del plazo por el número de días de demora determinados por el Propietario como únicamente debidas a tales causas, y siempre que haya cumplido con los requisitos:

8.3.3.8 Programa de Trabajo

8.3.3.9 Iniciación y Prosecución de las Obras

8.3.3.10 Aviso de Causa de Retraso

8.3.3.11 Ampliación del Plazo

8.3.3.12 Ampliación por Causas Concurrentes de Demoras

El Contratista Principal no tendrá derecho a obtener ampliaciones distintas por cada una de las varias causas concurrentes y, si obtuviese alguna ampliación, sólo se le concederá por el periodo real de atraso determinado por el Propietario, y sin tener en cuenta el número de causas implicadas en la demora.

8.3.3.13 Fecha de Terminación

El Contratista Principal ha de terminar la obra dentro del plazo determinado originalmente o, en su caso, en el plazo ampliado.

Como fecha de terminación se entenderá aquella en que el Ingeniero haya aceptado definitivamente dicho trabajo, o en el caso de un contrato que tenga una cláusula de conservación, las del final del periodo de conservación estipulado después de la aceptación definitiva.

8.3.4 El Trabajo Y Su Ejecución

8.3.4.1 Ejecución, Material y Mano de Obra

A menos que se indique lo contrario en los Planos u otros documentos contractuales, el trabajo deberá ejecutarse conforme a la mejor práctica moderna, empleando materiales y mano de obra de la más alta calidad, a satisfacción del Propietario.

8.3.4.2 Carácter de la Mano de Obra, Método y Equipo

En todos los momentos, el Contratista Principal deberá disponer de mano de obra y equipo suficiente para conseguir la plena terminación de las distintas clases de trabajos en la manera y plazo estipulados.

Toda la mano de obra deberá tener conocimiento y experiencia adecuadas para ejecutar apropiadamente las tareas asignadas.

Toda la mano de obra especializada deberá ser lo suficientemente experimentada para cumplir satisfactoriamente las tareas especiales asignada, o en su caso, el manejo del equipo y maquinaria empleados para la ejecución del trabajo.

Todo el equipo o maquinaria que se proponga para su empleo en la ejecución del trabajo deberá ser del tamaño y condición mecánica necesarios para cumplir con los requisitos del trabajo y los exigidos en cuanto a la calidad.

El equipo o maquinaria empleados deberá ser tal que no ocasionen daños a la carretera, terrenos adyacentes y otras carreteras. El Ingeniero podrá obligar al Contratista a quitar y reemplazar cualquier equipo o maquinaria insatisfactorio.

Cualquier capataz y obrero empleado por el Contratista Principal o por cualquier Subcontratista, que en opinión del Ingeniero, no ejecute su trabajo se una manera experta y apropiada, o que sea desordenado, deberá ser apartado de la obra, a petición por escrito del Ingeniero, por el Contratista Principal o Subcontratista que lo empleara, y no se volverá a admitir en ninguna parte de la obra sin la previa aprobación del Ingeniero. En el caso de que el Contratista Principal no cumpla con dicha orden de despido o deje de proporcionar el personal apropiado y suficiente para la exacta prosecución del trabajo, el Ingeniero podrá suspender los pagos o trabajos del mismo hasta que tales órdenes se cumplan.

8.3.4.3 Medios y Métodos de Construcción

A menos que se indique expresamente en los planos y documentos contractuales, los medios y métodos de construcción deberán ser elegidos por el Contratista Principal, siempre que el Ingeniero tenga derecho a rechazarlo si constituyen un riesgo para el trabajo o el Propietario, o no produzcan una obra acabada conforme a lo exigido en el contrato.

Dicha aprobación del Ingeniero, o en su caso su silencio, no deberá eximir al Contratista Principal de la obligación de conseguir el resultado propuesto en el contrato. En el caso de que el Ingeniero rechace los medios y métodos del Contratista, esta decisión no deberá considerarse como causa de reclamaciones por daños y perjuicios.

8.3.4.4 Aceptación Definitiva

Siempre que todos los materiales se hayan suministrado, que toda la obra se haya ejecutado y que la construcción previa estipulada en el contrato se haya terminado satisfactoriamente, todo ello de acuerdo con el Pliego de Condiciones, el Ingeniero procederá a la inspección final.

Cuando la empresa Contratista Principal notifique la terminación de todo el Proyecto, el Ingeniero hará una inspección semidefinitiva, y si de esta resulta que la construcción se encuentra terminada satisfactoriamente, dicha inspección se considerará definitiva y el Ingeniero la aceptará, notificando por escrito al Contratista Principal tal aceptación dentro de los diez días siguientes o tan pronto como sea posible.

Pero si de alguna inspección semidefinitiva resultara que alguna obra es insatisfactoria en todo o en parte, el Ingeniero dará al Contratista Principal las instrucciones necesarias para la sustitución del material y la ejecución o reejecución del trabajo necesario o imprescindible para la terminación y aceptación final, y el Contratista Principal deberá ajustarse a tales instrucciones y ejecutarlas.

A la sustitución de tal material o y ejecución o reejecución satisfactoria de tales trabajos se hará otra inspección que constituirá la inspección final, si se considera que dicho material ha sido satisfactoriamente sustituido y la obra satisfactoriamente terminada. En tal caso, el Ingeniero la aceptará y notificará tal aceptación al Contratista Principal por escrito y dentro de los diez días siguientes a dicha aceptación.

8.3.4.5 Cooperación por Parte del Contratista Principal

El Contratista Principal prestará a la obra la atención constante y necesaria para facilitar el progreso de la misma y cooperará con el Ingeniero, sus inspectores y demás contratistas en todos los modos posibles.

8.3.4.6 Cooperación entre el Contratista Principal y los Subcontratistas

El Propietario se reserva el derecho de contratar y ejecutar en cualquier momento otra obra distinta y adicional sobre la obra cubierta por cualquier contrato o junto con la misma.

Si se autorizan contratos distintos dentro de los límites de cualquier proyecto individual, cada uno de los subcontratistas conducirá su obra de modo que no obstaculice o impida la construcción o terminación de la obra que ejecuten los demás contratistas.

Los Subcontratistas que trabajen en el mismo proyecto colaborarán entre sí, y en caso de controversia, el Ingeniero actuará como árbitro, siendo su decisión definitiva y obligatoria para todos. Cada Subcontratista asumirá toda la responsabilidad, financiera o de otro tipo, derivada de su contrato, quedando a salvo el Propietario de cualquier daño, reclamación o pérdida experimentada por aquel como consecuencia de la presencia o actuación de los demás subcontratistas.

El Contratista Principal hará lo posible para organizar su trabajo y disponer y colocar el material usado de modo que no obstaculice el trabajo de los demás subcontratistas dentro del límite del mismo proyecto. Unirá su trabajo al de los demás de una manera aceptable y lo ejecutará a un ritmo adecuado al de los demás.

8.3.4.7 Inspección de la Obra

Todos los materiales y cada parte y detalle de la obra podrán ser inspeccionados en cualquier momento por el Ingeniero o por sus representantes autorizados, y el Contratista Principal se atenderá estrictamente al verdadero sentido de los Pliegos de Condiciones y especificaciones técnicas de los pedidos por lo que respecta a la calidad de los materiales, la mano de obra y la diligente ejecución del contrato.

Tal inspección puede incluir la inspección del taller de la Estación, estando sujeto a ello todo el material suministrado conforme al presente Pliego de Condiciones.

El Ingeniero o sus representantes tendrán acceso a todas las partes de la obra, y el Contratista Principal les prestará la información y ayuda necesarias para llevar a cabo una inspección completa y detallada.

Se podrá ordenar la remoción y sustitución, a expensas del Contratista Principal, de toda la obra o de todos los materiales usados sin la supervisión o inspección de un representante del Propietario.

8.3.5 Control del Material

8.3.5.1 Fuente de Suministros y Requisitos sobre la Calidad

Los materiales usados en la obra serán como mínimo de una calidad igual a los requisitos de Pliego de Condiciones.

La fuente de suministro de cada uno de los materiales será aprobada por el Ingeniero antes de comenzar la entrega. Si después de la prueba resulta que la fuente de suministro, previamente aprobada, no produce productos uniformes y satisfactorios, o si el producto procedente de cualquier fuente resulta inaceptable en cualquier momento, el Contratista Principal suministrará los materiales de otras fuentes aprobadas.

La prueba de los materiales en las fuentes de suministro de origen será realizada por el Propietario o a expensas de este.

Si el Contratista Principal desea suministrar materiales de depósitos locales distintos de aquellos que, en su caso, hayan sido aprobados para la obra, procurará ante todo obtener la aprobación de la fuente por parte del Ingeniero.

Suministrará sin cargo tantas muestras preliminares como se requieran y hará que por parte de un laboratorio independiente se realicen tantas pruebas como exija el Ingeniero.

Si el Ingeniero así lo decide, puede él mismo encargarse de hacer las pruebas. Queda entendido que tales pruebas no se consideran en modo alguno como garantía de aceptación de cualquier cantidad de material que pueda entregar posteriormente para su incorporación a la obra.

El Contratista Principal asumirá la plena responsabilidad de la utilización de materiales uniformes y satisfactorios procedentes de tales depósitos legales e indemnizará y dejará a salvo al Propietario de cualquier reclamación relativa a pérdidas o daños derivados de la apertura y funcionamiento de aquellos, o de la imposibilidad de que el depósito una vez en explotación, produzca materiales aceptables, tanto en calidad como en cantidad.

8.3.5.2 Inspección en Planta

Si el volumen de la obra, la marcha de la construcción y otras consideraciones lo justifican, el Ingeniero puede proceder a la inspección del material o de los artículos manufacturados en sus respectivas fuentes.

Queda entendido, sin embargo, que no se asume obligación alguna de inspeccionar los materiales en dicho modo.

La inspección en planta sólo se emprenderá a condición de que:

- Se asegure la cooperación y asistencia del contratista principal y del productor con el que ha contratado material.
- El representante del Ingeniero tenga entrada libre en todo momento a aquellas partes de la Estación que pueda interesar a la fabricación o producción de los materiales que se suministran.

Queda entendido que el Propietario se reserva el derecho de ensayar todos los materiales que hayan sido aprobados y aceptados en la fuente de suministro después de que dichos materiales hayan sido entregados, y rechazar aquellos que, al sufrir nuevas pruebas, no cumplan el Pliego de Condiciones.

8.3.5.3 Entrega y Almacenamiento de Material

Los vagones o camiones usados para el transporte de materiales como los áridos, cemento y materiales bituminosos, habrán de estar limpios cuando se coloque en ellos cualesquiera de estos materiales de construcción.

Se mantendrán limpios, libres de toda materia extraña, en buen estado de trabajo o funcionamiento y tendrán unos cuerpos resistentes y fuertes que eviten la pérdida del material durante el transporte.

Los materiales se almacenarán de modo que conserven su calidad y adecuabilidad para la obra.

Cuando se considere necesario, los materiales se almacenarán en edificios impermeables, se colocarán sobre plataformas de madera u otras superficies limpias y duras, y no sobre el terreno, y se cubrirán cuando así se ordene.

Los materiales almacenados, aún cuando fueran aprobados antes de almacenarlos, pueden ser inspeccionados antes de usarlos en la obra, y cumplirán los requisitos del Pliego de Condiciones en el momento que se proceda a usarlos.

Los materiales almacenados se situarán de modo que se facilite su rápida inspección, y se almacenarán en lugares que serán restaurados a su estado original por el Contratista Principal. Esta medida no se aplicará en el caso de excavación y almacenamiento de tierra vegetal, ni de otros materiales sobrados de la obra o específicamente prescritos en el Pliego de Condiciones.

Durante la manipulación de todos los áridos u otros materiales de construcción, se pondrá especial cuidado para que con ello no se mezcle tierra o materias extrañas. Los áridos se manipularán de modo que se evite la segregación.

8.3.5.4 Manipulación de los Materiales

Todos los materiales se manipularán con cuidado y de tal modo que se mantenga su calidad y aptitud para la obra.

Se transportarán desde el lugar de almacenamiento hasta la obra en vehículos estancos, contruidos de modo que se eviten las pérdidas o segregaciones de materiales después de la carga y medición, con objeto de que no puede haber desajustes en las cantidades de materiales previstas para su incorporación a la obra una vez cargados.

8.3.5.5 Materiales Defectuosos

Todos los materiales que no se ajusten a los requisitos del Pliego de Condiciones se considerarán defectuosos y, tanto si están en el sitio como si no, se rechazarán y se retirarán inmediatamente del sitio de la obra, a menos que el Ingeniero ordene lo contrario.

El material rechazado cuyos defectos se hayan corregido sustancialmente no se utilizarán mientras no se haya otorgado la aprobación.

8.3.5.6 Inspección de los Materiales

Con objeto de facilitar la inspección y prueba de los materiales, el Contrastista Principal notificará al Ingeniero con dos semanas como mínimo de antelación a la entrega, los materiales procedentes de fuentes comerciales de suministros.

8.3.6 Relaciones y Responsabilidad Jurídica ante el Público

8.3.6.1 Leyes Aplicables

El Contratista Principal estará plenamente informado de todas las leyes, ordenanzas, reglamentos, órdenes y decretos de cuerpos y tribunales que tengan jurisdicción y

competencia, y que de cualquier modo acepten aquellas personas comprometidas o empleados de la obra, o en la marcha de la misma.

En todo momento observará y cumplirá tales leyes, ordenanzas, reglamentos, órdenes y decretos, y protegerá e indemnizará al Propietario y sus representantes contra cualquier reclamación o responsabilidad derivada o basada en la violación de cualquiera de tales leyes, ordenanzas, reglamentos, órdenes o decretos, ya sean imputables a él mismo o a sus empleados.

8.3.6.2 Permisos. Licencias o Impuestos

El Contratista Principal conseguirá todos los permisos y licencias exigidas por la ley, pagará todos los cargos, gastos e impuestos, y dará los avisos necesarios e incidentales para la debida prosecución de la obra.

8.3.6.3 Diseño. Materiales y Procedimientos Patentados

Si el Contratista Principal se ve obligado o desea utilizar algún diseño, instrumento, material o proceso amparado por derecho patente de autor, se encargará de conseguir su uso mediante el apropiado acuerdo jurídico con el Propietario o beneficiario. Si dicho acuerdo no se celebra o registra como queda dicho, el Contratista Principal y su fiador indemnizarán y pagarán daños y perjuicios al propietario de cualquier reclamación por infracción como consecuencia del uso de cualquier proyecto, instrumento, material o proceso patentado, o de cualquier marca comercial o derecho de autor e indemnizará al Propietario de los costos, gastos y daños que este venga obligado a pagar por razón de cualquier infracción, en cualquier momento durante la prosecución o terminación de la obra.

8.3.6.4 Instalaciones Sanitarias

El Contratista Principal proveerá y mantendrá en un estado sanitario y limpio los acomodos que para el uso de sus empleados sean necesarios según las exigencias del Gobierno y autoridades locales, así como de otros cuerpos o tribunales con jurisdicción.

8.3.6.5 Responsabilidad por Daños y Perjuicios

El Contratista Principal indemnizará y responderá ante el Propietario, sus funcionarios y empleados, por todos los procedimientos, acciones o reclamaciones de cualquier naturaleza incoados por causa de heridas o daños recibidos o sufridos por cualquier persona o propiedad, como consecuencia de las operaciones de dicho Contratista, o por negligencia en la salvaguarda de la obra, o por el uso de materiales inaceptables al construir esta, o debido a cualquier acto u omisión, negligencia o malicia de dicho Contratista Principal, o por reclamaciones o cantidades cobradas por cualquier ley, ordenanza, orden, reglamento o decreto, pudiendo retenerse a dicho fin la cantidad que el Propietario crea conveniente del dinero debido al Contratista Principal conforme a su contrato.

Si no se debe dinero al Contratista Principal, su fiador, en su caso, responderá hasta el proceso o procesos, la acción o acciones, la reclamación o reclamaciones por los daños y perjuicios antes dichos se hayan liquidado y se haya presentado al Propietario la prueba pertinente al efecto.

No se retendrá cantidad alguna de dinero al Contratista Principal si este presenta una prueba satisfactoria de estar protegido suficientemente mediante un seguro de responsabilidad civil a terceros.

8.3.6.6 Seguro de Responsabilidad Civil

Si así se especifica en el Pliego de Condiciones Complementarias, el Contratista Principal suscribirá el seguro por las clases y por la cantidad estipulada en aquel, además de cualesquiera otras formas de seguro o bonos exigidos conforme a los términos de contrato.

La falta de alusión al seguro en el Pliego de Condiciones Complementarias no relevará al Contratista Principal de las obligaciones establecidas en este y demás documentos del contrato.

8.3.6.7 Obligaciones del Contratista Principal Respecto a la Obra

Hasta la aceptación definitiva de la obra por parte del Ingeniero, atestiguada por escrito, el Contratista Principal estará a cargo y cuidado de la misma, y tomará toda clase de preocupaciones contra daños y perjuicios contra cualquier parte de ella originados por la acción de los elementos, o por cualquier otra causa, ya derivada de la ejecución como de la no ejecución de la obra.

El Contratista Principal reedificará, reparará, restaurará y hará desaparecer todos los perjuicios y daños originados por cualesquiera de las causas precipitadas antes de la aceptación definitiva, soportando los gastos de los mismos, salvo el daño en la obra debido a causas imprevisibles que escapan al control del Contratista Principal y en que no quepa falta o negligencia de este, incluyendo en estas causas, aunque no son de carácter exclusivo, los eventos catastróficos y los actos del enemigo público y de la autoridades gubernamentales.

En caso de suspensión de la obra por cualquier causa que sea, el Contratista Principal responderá de todos los materiales, los almacenará adecuadamente, si es necesario proveerá el adecuado drenaje y erigirá las estructuras necesarias, todo ello a sus expensas.

8.3.7 Subcontratos y Asignaciones

8.3.7.1 Subcontratos

Salvo que se estipule de otro modo en el Pliego de Condiciones Complementarias, el Contratista Principal, sin un permiso especial del Propietario, no hará subcontratos que totalicen más del 75% del precio total del contrato.

Antes de estipular cualquier subcontrato, el Contratista Principal habrá de presentar al Propietario una declaración escrita dando el nombre y dirección del Subcontratista propuesto, la parte de los materiales y de la obra que ha de suministrar y realizar y cualquier otra información que pueda demostrar que el Subcontratista propuesto

cuenta con facilidades, preparación, integridad, experiencia y recursos financieros necesarios para ejecutar la obra de acuerdo con los términos de este contrato.

Si un subcontratista aprobado decide subcontratar cualquier parte del contrato presentará sobre el Subcontratista propuesto la misma información que se acaba de citar.

El Propietario notificará al Contratista Principal, en un plazo de quince días si el Subcontratista propuesto está cualificado o no. En este último caso, el Contratista Principal puede presentar otro Subcontratista, a menos que decida hacer la obra por sí mismo. No se permitirá en el sitio a ningún Subcontratista si no ha sido aprobado.

Antes de estipular ningún contrato, el Contratista Principal informará plena y completamente al Subcontratista de todas las cláusulas y requisitos de este contrato relativo, ya sea directa o indirectamente, a la obra a ejecutar y de los materiales a suministrar conforme a tal contrato, y en todo subcontrato de este tipo se estipulará expresamente que toda labor realizada y los materiales suministrados bajo el mismo, adoptará estrictamente los requisitos de este contrato.

8.3.7.2 Pago a los Subcontratistas

El acuerdo entre el Contratista Principal contendrá los mismos términos y condiciones en cuanto al método de pago por obra, mano de obra y materiales a los porcentajes retenidos, que las que contiene el presente contrato.

El Contratista Principal pagará a todos los Subcontratistas por y a cuenta de la obra por estos hechos, de acuerdo con las cláusulas de sus respectivos subcontratos. El Contratista Principal demostrará satisfactoriamente que ha hecho tales pagos, si el Propietario lo exige.

El Contratista Principal será el único responsable por las acciones o faltas de sus Subcontratistas, agentes o empleados en la medida de su subcontrato.

8.3.8 Medición, Pago y Garantía

8.3.8.1 Medición de Cantidades

Toda obra terminada bajo este contrato será medida por el Ingeniero según el sistema métrico decimal.

En aquellos casos en que las partidas se compren en países donde se use el sistema inglés de pie-libra, el Contratista Principal asegurará que el tamaño y la resistencia de las partidas así procuradas sean como mínimo iguales a las determinadas.

A falta de normas en contrato, tanto en el Pliego de Condiciones Complementarias, como en el Facultativo se aplicará el siguiente método de medición:

- Todas las mediciones longitudinales por área se harán horizontalmente y no a lo largo de la superficie real, y no se harán deducciones por las instalaciones individuales que tengan un área de 1 m² o menos.
- Las estructuras se medirán según las líneas indicadas en los Planos.
- Al computar los volúmenes de excavación, terraplenes y préstamos se usará el método de las áreas extremas medias.
- El acero para armadura o el alambre para pretensado o postensado se calculará en base a los pesos teóricos.
- El tamaño "tonelada" se referirá a la tonelada de 1.000 kg de peso. Todos los materiales medidos por toneladas se pesarán en balanzas precisas y aprobadas por el Ingeniero.
- Todos los materiales medidos por metros cúbicos se acarrearán en vehículos apropiados, y se medirán dentro de estos en el punto de entrega.

8.3.8.2 Certificados de Pago

El importe de la obra ejecutada se le acreditará mensualmente al Contratista, en base a los certificados hechos por el Propietario, salvo que se establezca en los contratos otra forma de pago. El certificado se hará usando las unidades de obra ejecutadas y los correspondientes precios unitarios.

8.3.8.3 Recepción y Liquidación de la Obra

La recepción provisional o definitiva del trabajo se realizará conforme a las disposiciones correspondientes. El Propietario podrá efectuar recepciones parciales provisionales de acuerdo con las etapas del programa de trabajo, siempre que se considere que tales aceptaciones redundan en su propio interés.

8.3.8.4 Periodo de Garantía

Como se indica en el artículo 1.3.2.1. Fianza Definitiva, el Propietario tendrá como garantía el 10% de la cantidad del pago certificado, devolviendo el mismo al Contratista Principal después de efectuar la recepción definitiva, incluyendo el periodo de conservación.

8.4 Condiciones Facultativas

8.4.1 Armadura

8.4.1.1 Descripción

El trabajo consistirá en el suministro de todo el personal, equipo, maquinaria, materiales, accesorios y servicios necesarios para la colocación de barras, zunchos y mallazos.

8.4.1.2 Materiales

Las barras de armadura, mallazo y acero para zunchos deberán cumplir las condiciones exigidas en el artículo correspondiente.

8.4.1.3 Ejecución

- Comienzo del trabajo: El Subcontratista no deberá comenzar el trabajo antes de haber sido aprobado por el Propietario los planos de detalle para la fabricación de los elementos.
- Peso de la armadura: El Propietario podrá comprobar el peso de la armadura empleado, y cualquier material que no llegue al 97% de lo exigido deberá ser rechazado y removido de la zona de trabajo.
- Almacenamiento: El Subcontratista deberá disponer de los medios necesarios para almacenar el acero de armadura de forma que evite herrumbre o recubrimiento por grasa, aceite o suciedad. El almacenamiento deberá hacerse en pilas o bastidores que quiten confusión y faciliten la inspección por parte del Propietario, y cada elemento deberá llevar una tarjeta de identificación con suficiente información.
- Colocación: El Subcontratista deberá colocar y fijar la armadura exactamente como se indique, apoyándola sobre silletas metálicas, cuyos extremos han de quedar al descubierto sobre la superficie del hormigón. En otros casos, para la sustentación de la armadura deberá usarse hormigón u otro material no sujeto a la corrosión.
- Barras: Los métodos para doblar, colocar y empalmar barras de armaduras deberán seguir las recomendaciones contenidas en el artículo 4º de la instrucción para el proyecto de obras de hormigón.
- Mallazos: El Subcontratista deberá colocar, sostener y atar el mallazo de tal manera que quede perfectamente plano, y al nivel previsto.

8.4.1.4 Medición

El peso de la armadura aceptablemente colocada deberá determinarse en kg., a base del peso del material empleado por unidad de medición.

8.4.2 Condiciones Generales Complementarias para los Trabajos en el Lugar de la Construcción

Personal, herramientas y equipo y todo material provisional, incluyendo caballetes y andamios necesarios para realizar el trabajo.

El transporte y movimiento de todo el material exigido por el trabajo. Ello incluirá el material suministrado por el Propietario, que será cargado sobre vehículo del Contratista Principal y a partir de ese momento todo nuevo transporte o manipulación será a cargo del Contratista Principal.

Cuidar de que la maquinaria y el material suministrados por él estén en perfectas condiciones de funcionamiento.

Preparar y proporcionar informes diarios del personal que trabaja en las obras e informes diarios de trabajo, en duplicado, al Ingeniero.

El Contratista Principal incluirá en su oferta el número de categoría de sus obreros así como el número y especificaciones de la maquinaria que incorporará a la obra.

También incluirá una planificación de montaje que nunca podrá exceder la fecha tope de terminación dada por el Propietario.

En reuniones periódicas se examinará la marcha del montaje y el cumplimiento de plazos previstos.

La adjudicación del montaje supone la aceptación y aprobación por parte del Contratista Principal para colaborar conjunta y amistosamente con cuantas empresas puedan participar en la supervisión y montaje del resto de la instalación.

El Contratista Principal deberá nombrar entre su personal una persona responsable con formación técnica de grado medio o superior, que lo represente.

Lo mencionado en el Pliego de Prescripciones y omitido en los Planos o viceversa, habrá de ser ejecutado como si estuviera expuesto en ambos documentos. En caso de contradicción, prevalecerá lo escrito en el primero.

En los casos en los que existan discrepancias entre las Disposiciones Técnicas y legales enumeradas en el artículo 1.5 del Pliego y las prescripciones del presente Pliego, prevalecerá lo determinado en este.

En cualquier caso, las contradicciones, omisiones o errores que pudiesen advertirse en estos documentos por la Administración o por el Contratista, deberán consignarse, con su posible solución, en el Acta de Replanteo y/o en el Libro de Órdenes.

9. Pliego de Condiciones Específicas

9.1 Especificaciones Calidad

(I) Regulaciones Técnicas de los Países Bajos sobre las Capas del Pavimento (Condiciones estándar RAW de Contrato para Trabajos de Construcción de Ingeniería Civil. 1990)

Capítulo 31, apartados 51 al 57

Capas tipo base de áridos para el pavimento.

31.56 Materiales de Construcción

31.56.01 Piedras o materiales pétreos para mezclas de áridos en capas de pavimentos, general.

01 El material no contendrá ningún elemento extraño como pelotas de arcilla o sustancias orgánicas gruesas, y deberá perdurar en el tiempo.

El material debe ser estable.

02 A no ser que se especifique, el valor de trituración del material deberá ser al menos 0,65 (muy aproximadamente Valor Los Ángeles 50).

31.56.03 Piedras para mezclas de áridos en capas de pavimentos.

01 La piedra para capas superficiales no ligadas deberá ser piedra molida.

02 El material de malla 4 mm deberá contener como máximo un 10% de piezas redondas y sin moler; el porcentaje de piezas sin romper deberá ser como máximo el 3%.

31.56.05 Granulado de mampostería molida

01 El granulado de mampostería molida deberá ser producido a partir del triturado de escombros de mampostería.

La fracción de 8 mm de malla de granulado de mampostería triturado 0/40 (*) tiene que componerse de:

Material principal

- al menos 85% (p) de mampostería rota y otro material pétreo triturado con una densidad de al menos 1.600 kg/m³.

Material secundario

- Un 15% (p) como máximo de otros tipos de material pétreo triturado. En el caso de asfalto triturado el porcentaje será como máximo del 10% (p).

Impurezas

- Un máximo de un 1% (p/p y v/v) de material no pétreo (escayola, plástico, goma, poliestireno, etc.).
- Un máximo de un 0,1% de materia orgánica que se pueda descomponer, como madera y restos vegetales.

(*) Las mismas especificaciones se aplican a la fracción 0/120.

03 El valor de molienda deberá determinarse por las fracciones 45-31,5 mm, 31,5-22,4 mm, 22,4-16 mm y 16-11,2 mm.

El material en la malla 4 mm deberá contener al menos un 15% de piezas planas.

31.56.09 Hormigón triturado

01 El hormigón triturado se produce moliendo hormigón de demolición.

La fracción en una malla de 8 mm de hormigón triturado debe componerse de:

Principales componentes:

- Al menos un 80% (p/p) de grava triturada u hormigón árido triturado.
- Un máximo de un 10% (p/p) de otro material pétreo molido, cuyos granos deben tener una densidad de al menos 2.100 kg/m³.

Elementos adicionales:

- Un máximo de un 10% de otro material pétreo molido. Como para el asfalto molido, este porcentaje deberá ser como máximo del 5% (p/p).

Impurezas:

- Un máximo del 1% (p/p y v/v) de material no pétreo (escayola, plástico, goma, poliestireno, etc.).
- Un máximo del 0,1% de materia orgánica que se puede descomponer, como madera y restos vegetales.

03 El valor de molienda deberá ser determinado por las fracciones 45-31,5 mm, 31,5-22,4 mm, 22,4-16 mm y 16-11,2 mm.

04 El material deberá contener un máximo de un 15% de piezas planas en una malla de 4 mm.

31.56.10 Granulado mezclado (hormigón/mampostería triturados)

El granulado mezclado debe hacerse moliendo hormigón y mampostería.

La fracción en una malla de 8 mm de mezcla de granulado 0/40 (*) deberá consistir en:

Principales elementos:

Al menos un 50% (p/p) de hormigón y grava molidos, o bien piedra de hormigón molido u otra piedra o material pétreo, cuyos granos deben tener una densidad en base seca de al menos 2.100 kg/m³. Esto equivale a decir que al menos un 45% (p/p) del granulado debe

componerse de piedra de hormigón o grava molidos cuyos granos tengan una densidad en base seca de al menos 2.100 kg/m^3 .

Como máximo un 50% de mampostería molida así como cualquier otra piedra o material pétreo cuyos granos deben tener una densidad en base seca de al menos 1.600 kg/m^3 .

Elementos adicionales:

Un máximo de un 10% (p/p) de otros tipos de piedra o material pétreo triturado. Como para el asfalto triturado, el porcentaje será como máximo del 5% (p/p).

Impurezas:

- Un máximo de un 1% (p/p y v/v) de materia no pétreo (escayola, plástico, goma, poliestireno, etc.).

- Un máximo del 0,1% de materia orgánica que se puede descomponer, como madera y restos vegetales.

(* Las mismas especificaciones se aplican a la fracción 0/120.

El valor de molienda deberá ser determinado por las fracciones 45-31,5 mm, 31,5-22,4 mm, 22,4-16 mm y 16-11,2 mm.

04 El material deberá contener un máximo de un 15% de piezas planas en una malla de 4 mm.

(II) Asfalto Triturado para Aplicaciones Base sin Ligar (Vejdirektorated. 1992)

- Limitaciones del asfalto triturado como material base: la deformación bajo una carga estática podría ser mayor que para la grava. No usar en esas aplicaciones (aparcamientos, paradas de autobús, etc.).

Especificaciones: ver Tabla 9.1 y Figura 9.1.

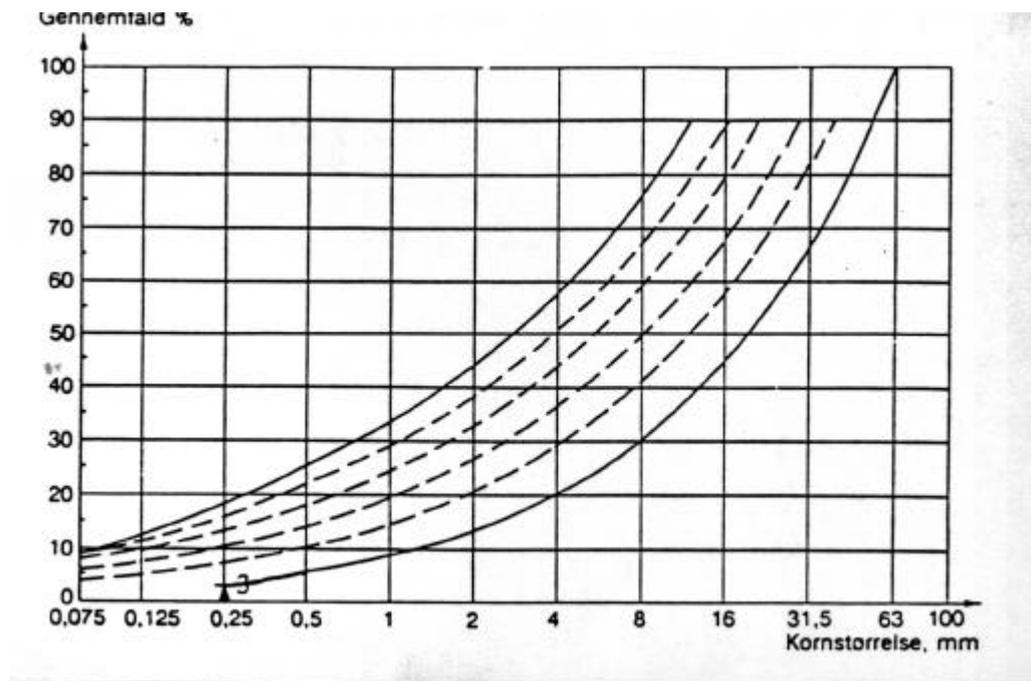


Figura 9.1. Asfalto triturado. Presentación semilogarítmica

Propiedad	Relleno	Curva tamaños	Pureza	Información adicional
Compresibilidad		√		
Capacidad de resistencia en la construcción		√		
Capacidad de resistencia a lo largo del tiempo		√		√
Restricciones por congelación	√	√	√	
Restricciones por congelación a lo largo del tiempo				√
Resistencia heladas				√
Resistencia desgaste				√

Tabla 9.1. Asfalto triturado. Relación entre las demandas funcionales y las especificaciones.

9.2 Datos Técnicos

Datos de la Figura 2.6. Hormigón Triturado como Árido.

	Densidad (kg/m ³)				Presión	Tenacidad			MPa
Receta	Cubo 1	Cubo 2	Cubo 3	m	Cubo 1	Cubo 2	Cubo 3	m	
ref. 1	2.320	2.310	2.300	2.310	29,2	33,0	32,6	31,6	
ref. 2	2.310	2.310	2.300	2.310	33,1	33,5	33,8	33,5	
40/25	2.270	2.280	2.250	2.270	32,4	32,1	32,5	32,3	
40/50	2.250	2.260	2.250	2.250	34,7	35,4	34,4	34,8	
40/75	2.250	2.230	2.220	2.230	34,9	35,6	34,5	35,0	
40/100	2.220	2.220	2.230	2.220	35,7	35,4	35,6	35,6	
30/25	2.280	2.290	2.280	2.280	32,7	30,8	27,6	30,4	
30/50	2.260	2.260	2.260	2.260	29,6	27,6	29,4	28,9	
30/75	2.230	2.230	2.230	2.230	29,42	29,3	29,9	29,5	
30/100	2.190	2.220	2.180	2.200	33,6	32,3	31,9	32,7	

Tabla 9.2. Densidad y tenacidad a la presión para pruebas de cubos probados con diferentes cantidades de hormigón reciclado como árido tras 28 días.

Material/ ajuste	Ref. 1	Ref. 2	40/25	40/50	40/75	40/100	30/25	30/50	30/75	30/100
Cemento/ kg	11, 2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2
Arena 0-8/kg	42, 1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1
Grava natural 8- 16/kg	32, 6	32,6	24,5	16,4	8,1	-	24,5	16,4	8,1	-
Hormigón reciclado 8-16/kg	-	-	7,2	14,4	21,6	28,8	7,2	14,2	21,4	28,4
Agua/ litro	6,7	6,8	6,8	6,8	6,9	6,9	6,9	7,0	6,8	6,8
Ajuste/ mm	150	160	150	160	170	150	170	150	150	150

Tabla 9.3. Recetas usadas durante el experimento. Se hicieron tres piezas de cada lote.

9.2.1 Calidad Productos Planta Fija

El proceso descrito para la generación de áridos reciclados para las capas base y sub-base de carreteras, debe asegurar la máxima calidad de dichos productos.

Estos deberán superar una serie de ensayos para poder ser aceptados por los clientes.

Los tres aspectos que medirán esos ensayos son:

- Distribución del tamaño de grano

- Dureza
- Contenido en impurezas

9.2.2 Calidad Productos Planta Móvil

Teniendo en cuenta lo ya dicho sobre la calidad de los materiales que entran en la planta móvil (sección 9.2.2), podemos afirmar que la calidad del producto final logrado en la planta móvil será igual a la que se consigue en la planta fija. El proceso de reciclaje es básicamente el mismo.

9.3 Descripción Ensayos

9.3.1 Californian Bearing Ratio/Proporción de Aguante Californiana (Arell. 1995)

Alcance

Medida de la capacidad de aguante de materiales granulares.

Procedimientos ensayo. Maquinaria empleada

El ensayo se realiza presionando un plato metálico de 50,8 mm de diámetro contra el material, que es compactado en un cilindro de acero de 152,4 mm de diámetro.

Se mide la presión necesaria para conseguir que el plato penetre en el material tanto 2,54 mm (0,1 pulgadas) como 5,08 mm (0,2 pulgadas). La relación entre esta presión y la necesaria para conseguir el mismo resultado en un material estándar se conoce con el nombre de Californian Bearing Ratio.

Resultados

Sus valores pueden estar por encima o por debajo de la unidad. Valores mayores que uno (1) corresponden a materiales más fuertes que el estándar, mientras que valores menores que uno (1) corresponden a materiales más débiles.

9.3.2 Fines Modulus (FM)/Módulo de Finos (Neville. 1973)

Alcance

Con ciertas limitaciones el FM da una indicación del posible comportamiento que puede tener una mezcla de hormigón hecho con áridos de una cierta granulometría.

Procedimientos ensayo. Maquinaria empleada

El FM se define como la suma de los porcentajes acumulados retenidos en los tamices de las series estándar: 150 micras, 300 micras, 600 micras, 1,18 mm, 2,36 mm, 5 mm (ASTM 100, 50, 30, 16, 8, 4) y hasta el máximo tamaño de áridos presentes.

Cuando todas las partículas en la muestra superan las , por ejemplo, 600 micras (ASTM 30), el porcentaje acumulado retenido en el tamiz de 300 micras (ASTM 50) debería ser 100%, al igual que ocurrirá con 150 micras (ASTM 100).

Cuanto mayor sea el valor de FM, mayor será el tamaño del árido.

Resultados

El ensayo FM puede entenderse como la media ponderada (Popovics, nombrado por Neville en "Adhesion problems in the recycling of concrete" 1973, demostró que era la media logarítmica de la distribución granulométrica de la muestra) de un tamiz sobre el que la muestra queda retenida, contándose los tamices desde el más pequeño.

Así, por ejemplo, un FM de 4 puede interpretarse como que el cuarto tamiz (1,18 mm, ASTM 16) representa el tamaño medio.

Sin embargo está claro que un parámetro como es el tamaño medio no es representativo de toda la distribución, por lo que un mismo valor de FM puede representar un número infinito de curvas de granulometrías diferentes.

El ensayo FM no puede, por tanto, usarse como descriptivo de la granulometría de un árido pero sí es útil en la medición de pequeñas variaciones en áridos del mismo tipo (por ejemplo, en comprobaciones diarias de la calidad del material).

9.3.3 Nordic Abrasion Value (NAV)/Valor Nórdico de Abrasión (Schouenborg y Viman. 1994)

Alcance

Medida del desgaste de los áridos.

Procedimientos ensayo. Maquinaria empleada

Una muestra de un árido de un tamaño homogéneo (11,2 mm hasta 16 mm) se hace rodar junto con bolas de acero y agua en un bidón de acero. Este bidón dispone en su interior de tres costillas que mejoran la mezcla de las partículas del árido con las bolas de acero. Se produce una abrasión del material árido. Transcurrido un cierto número de revoluciones en el bidón, se saca el material árido haciéndose pasar por un tamiz de 2 mm de luz.

Resultados

El desgaste se mide como pérdida porcentual en peso tras producirse el tamizado.

9.3.4 Los Angeles Abrasion Test/Ensayo de Abrasión Los Angeles (Draft European Standard. 1991)

Alcance

El propósito de este ensayo es especificar el procedimiento para medir la resistencia a la fragmentación, por impacto, del material que configura la muestra del árido. Este ensayo se aplica tanto a áridos de origen natural como artificial, empleados tanto en la construcción como en la ingeniería civil.

Procedimientos ensayo. Maquinaria empleada

El ensayo consiste en medir la cantidad de material, menor de 1,6 mm de tamaño, producido cuando el material objeto de análisis es impactado por bolas estándar en la máquina Los Angeles.

Siendo M el peso del material analizado y m el peso del material menor de 1,6 mm producido en el ensayo, la resistencia a la fragmentación se expresa de acuerdo a la siguiente expresión:

$$100 * m/M$$

Esta cantidad adimensional se define como coeficiente Los Angeles para el material analizado.

El procedimiento de realización de este ensayo es el siguiente:

Se colocan las bolas con cuidado en la máquina (el número de bolas dependerá de la clasificación granular elegida), y después, la muestra de árido. La carga se determina de acuerdo a las indicaciones de la Tabla 9.4:

Clasificación granular, mm	Número de bolas	Peso total de la carga, g
10-14 ó 4-20	11	4.800 (+20, -150)

Tabla 9.4. Ensayo de abrasión Los Angeles

Se sustituye la cubierta.

Se hace rotar la máquina 500 revoluciones a una velocidad constante de 30-33 r.p.m.

Se vierte el árido en una bandeja colocada bajo el aparato, asegurando que la apertura esté justo encima de la bandeja para evitar pérdidas.

Se tamiza el material contenido en la bandeja en un tamiz de 1,6 mm de luz. Esta operación se realiza a distintos lotes de producto para facilitarla.

Se lava el material retenido en el tamiz. Se drena y seca en un horno a 110°C hasta que su peso permanece constante.

Se pesa este material de tamaño mayor una vez seco. Sea $m1$ el valor de este peso.

Resultados

En la expresión del coeficiente Los Angeles:

$$100 * m/M,$$

se cumple:

$m = 5.000 * m1$, siendo este valor el peso seco de la fracción de material que atraviesa el tamiz de 1,6 mm, en gramos.

El resultado final se redondea.

9.3.5 Sulphate Soundness Test/Ensayo de Validez ante Sulfatos (Hansen. 1992)

Alcance

Determinación de las pérdidas en peso de los áridos cuando sufren ataques químicos.

Procedimientos ensayo. Maquinaria empleada

La norma ASTM C33 (Especificaciones estándar para áridos de hormigón) limita la pérdida de peso cuando el árido experimenta cinco ciclos de humidificación y secados consecutivos en una solución de sulfatos. Este ensayo cumple la norma ASTM C88 (Método estándar para el análisis de validez de áridos ante el uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio).

Resultados

Cuando se utiliza sulfato de magnesio, la norma ASTM C33 limita la pérdida de peso de áridos finos o gruesos al 15% y 18% respectivamente. Los respectivos porcentajes bajan a 10% y 12% cuando se utiliza sulfato de sodio.

9.3.6 Arbetsindex/Índice de Trabajo (Svedala Svenska AB. 1995)

Alcance

Determinación de la dureza de material mineral.

Procedimientos ensayo. Maquinaria empleada

No es importante la descripción detallada de los procedimientos o maquinaria empleada ya que este análisis es utilizado a nivel interno por esta empresa sueca (Svedala) y no se trata de un análisis generalizado.

Sin embargo, sí es interesante poder interpretar sus resultados:

Resultados (Tabla 9.5)

Arbetsindex	Dureza
< 10	Muy blando
10-14	Blando
14-18	Medio
18-22	Duro
> 22	Muy duro

Tabla 9.5. Arbetsindex

9.3.7 Dutch Static Compression Value/Valor Holandés de Compresión Estática

Alcance

Determinación de la dureza de los áridos.

Procedimientos ensayo. Maquinaria empleada

Se coloca una muestra del material en un molde cilíndrico de acero. Mediante un émbolo del mismo diámetro que el molde, se aplica una fuerza de 200 kN sobre la muestra durante 30 segundos.

Resultados

Este ensayo da resultados distintos en función de los cambios en la distribución granulométrica de las partículas.

Cuanto mayor sea el Valor de Compresión Estática, mayor es la dureza del agregado.

9.3.8 Boiling Test/Ensayo de Ebullición

Alcance

Determinación de la consistencia de material mineral.

Procedimientos ensayo. Maquinaria empleada

Se lavan aproximadamente dos (2) kg del material (11-22 mm o 16-22 mm) de forma que no contenga finos. Se coloca bajo el agua en una caldera de vapor dejando que la muestra hierva durante ocho (8) horas. Se deja enfriar a temperatura ambiente una (1) noche.

Resultados (Tabla 9.6)

Si el material se ha roto en pedazos, se considera que carece de la consistencia adecuada.