

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**INFLUENCIA DE LA SEGREGACIÓN EN FUENTE
DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y
DEMOLICIÓN SOBRE LOS DIFERENTES TIPOS
DE PLANTAS DE RECICLAJE**

(INFLUENCE OF SEGREGATION IN SOURCE OF CONSTRUCTION
AND DEMOLITION WASTE ON THE DIFFERENT TYPES OF
RECYCLING PLANTS)

Para acceder al Título de

**GRADUADO EN INGENIERÍA EN
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

Autor: Alberto Bermudez Pardo

Mayo - 2018

ÍNDICE GENERAL

1 INTRODUCCIÓN.....	4
1.1 OBJETIVOS.....	5
2 GESTIÓN Y RECICLADO DE LOS RCD ´S.....	6
2.1 ORIGEN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD´S).....	6
2.2 PROCESAMIENTO DE LOS RCD´S Y TIPOS DE PLANTA.....	8
2.3 PROPIEDADES DEL PRODUCTO ÁRIDO RECICLADO.....	11
2.3.1 Árido reciclado procedente de hormigón.....	12
2.3.2 Árido reciclado procedente de cerámicos o de residuos mixtos.....	13
2.4 APLICACIONES DE LOS PRODUCTOS ÁRIDOS RECICLADOS.....	14
2.4.1 Árido reciclado procedente de hormigón.....	15
2.4.2 Árido reciclado procedente de cerámicos o de residuos mixtos.....	16
2.5 CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES.....	17
2.5.1 Ventajas ambientales del tratamiento de los RCD´s.....	18
2.5.2 Desventajas ambientales del tratamiento actual de los RCD`s.....	19
2.6 ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE GENERACIÓN DE RCD´S EN CANTABRIA.....	20
3 PLANTEAMIENTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	22
3.1 COMPOSICIÓN INICIAL DE LOS RCD´S USADO EN ESTE ESTUDIO.....	22
3.2 DESARROLLO DE LOS ESCENARIOS PARA DETERMINAR LA COMPOSICIÓN FINAL DE LOS RCD´S.....	24
3.3 DETERMINACIÓN DE LAS ENTRADAS PARA LOS ESCENARIOS PRESENTADOS.....	27
3.3.1 Escenario 1-A.....	28
3.3.2 Escenario 1-B.....	32
3.3.3 Escenario 2-A.....	36
3.3.4 Escenario 2-B.....	40
3.4 ÁREA BAJO ESTUDIO: SANTANDER Y LIMÍTROFES.....	44
3.5 MANAGERS DE LOS RCD´S.....	48

3.6 TIPOS DE PLANTA	49
3.6.1 Tipo de tratamiento en planta para las corrientes de los RCD'S	49
3.6.2 Presentación y descripción de la maquinaria de las plantas de reciclaje	50
4 RESULTADOS	57
4.1 PROCESO Y SALIDAS DE LA PLANTA DE RECICLAJE BÁSICA.....	57
4.1.1 Inspección visual y pesaje	59
4.1.2 Área de descarga: extracción por grúa de gancho y tratamiento manual del hormigón armado	61
4.1.3 Separación por tamaño de partícula en la criba vibratoria	66
4.1.4 Reducción del tamaño de partícula mediante la trituradora de mandíbula	69
4.1.5 Separación magnética mediante el imán en banda sobre cinta transportadora	73
4.1.6 Separación por tamaño de partícula en la criba rotatoria.....	74
4.1.7 Separación por densidad en el tamiz por flujo de aire	78
4.1.8 Separación final en la cabina de clasificado manual.....	79
4.1.9 Globalización de los resultados.....	81
4.2 PROCESO Y SALIDAS DE LA PLANTA DE RECICLAJE AVANZADA	94
4.2.1 Inspección visual y pesaje	96
4.2.2 Área de descarga: extracción por grúa de gancho.....	98
4.2.3 Cabina de clasificado manual: separación manual	101
4.2.4 Reducción del tamaño de partícula en la trituradora por impacto y distribución por tamaño en la criba vibratoria	102
4.2.5 Separación magnética mediante el imán en banda sobre cinta transportadora	106
4.2.6 Separación metálica mediante las corrientes Foucault	107
4.2.7 Separación de las fracciones de residuos en la criba vibratoria	108
4.2.8 Separación por densidad en la Espiral de los residuos de las fracciones fina y todas en una.....	111
4.2.9 Separación por densidad en tamiz por flujo de aire de la fracción gruesa.....	113
4.2.10 Separación por densidad mediante la sacudidora por humedad de la fracción gruesa.....	114

4.2.11 Globalización de los resultados.....	117
5 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	130
5.1 CAPACIDAD DE RECUPERACIÓN DE LOS RECURSOS	130
5.2 CALIDAD DE LOS ÁRIDOS RECICLADOS	136
5.3 INGRESOS DE LA VENTA DE RECURSOS RECUPERADOS	140
5.4 CONTAMINACIÓN SOBRE EL ENTORNO DE LA PLANTA (PM10)	147
5.5 CALENTAMIENTO GLOBAL, EMISIONES EN Teq CO2.....	150
6 CONCLUSIONES	156
7 BIBLIOGRAFÍA.....	159
8 ÍNDICE DE FIGURAS, GRÁFICOS Y TABLAS.....	163
8.1 ÍNDICE DE FIGURAS	163
8.2 ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	164
8.3 ÍNDICE DE TABLAS	165

1 INTRODUCCIÓN

La motivación de este proyecto ha surgido de la necesidad actual de la sociedad de recuperar y reutilizar elementos y objetos desechados de distinto tipo, solventando una de las grandes preocupaciones sociales existentes, el exceso de producción de residuos y su consecuente impacto negativo sobre el planeta.

La recuperación y reutilización de los materiales que ya han sido usados, implica un nuevo proceso de renovación evitando el desechamiento de los mismos al que se conoce como reciclaje. El reciclaje está directamente ligado con la ecología y con el concepto de sustentabilidad que supone que el ser humano debe poder aprovechar los recursos que el planeta y la naturaleza le brindan, pero sin abusar de ellos y sin generar daños significativos al ambiente natural. Es por tanto un pilar fundamental en la noción compleja de conservación ambiental, ya que a partir de él se puede contribuir a limitar la contaminación y, además, reutilizar los diferentes recursos de manera continua.

Este proyecto en concreto, se centrara en el estudio y el análisis del manejo y tratamiento de los residuos generados en las obras de construcción y demolición, conocidos como los Residuos de Construcción y Demolición (RCD's). Los residuos de construcción y demolición proceden, en su mayor parte, de derribos de edificios o de rechazos de los materiales de construcción de las obras de nueva planta y de pequeñas obras de reformas en viviendas o urbanizaciones. El problema ambiental que plantean estos residuos deriva, no solo de su gran volumen de generación, sino del tratamiento que reciben, no suficientemente satisfactorio en la mayor parte de los casos, dado el escaso reciclado de los mismos. Entre los impactos ambientales que ello provoca, cabe destacar la eliminación de estos residuos sin aprovechamiento de sus recursos valorizables, la contaminación de suelos y acuíferos en vertederos incontrolados, la falta de espacio de almacenamiento y en menor medida, el deterioro paisajístico.

En la práctica, los residuos de construcción y demolición que son procesados para su reciclaje incluyen una variada serie de materiales, entre los que se encuentran productos cerámicos, residuos de hormigón, material asfáltico y, en menor medida, otros componentes como madera, vidrio, plásticos, metales etc.

Con este proyecto se busca fomentar el tratamiento y reciclado de los RCD's siendo afines a las nuevas normativas europeas de reciclado, cuyos objetivos establecen la recuperación del 70 % de los RCD's generados para el año 2020.

1.1 OBJETIVOS

El objetivo principal de este proyecto consiste en evaluar y comparar la influencia de segregación en origen de los distintos componentes de los residuos de construcción y demolición sobre los diferentes tipos de plantas de reciclaje. Para ello, se hará uso de cantidades reales de los residuos de construcción y demolición generados en la región de Cantabria, y se plantearán y desarrollarán diferentes escenarios dependiendo de los porcentajes de segregación y del mezclado en la fuente de generación de los residuos.

Los residuos de construcción y demolición que forman la entrada a la planta de reciclaje pueden llegar de forma segregada o mezclada. El mezclado de residuos se dividirá en tres grupos de mezclado, el mezclado pétreo, el mezclado de metales y el mezclado genérico de los RCD's. Por tanto, el mezclado de residuos puede llevarse a cabo con agrupaciones de residuos de características y propiedades similares, dando lugar a una mezcla uniforme, o bien con agrupaciones de residuos que no tienen que por qué poseer propiedades similares, dando lugar a un mezclado diverso y difícil de tratar en la planta de reciclaje.

La distinción entre los escenarios principales vendrá dada consiguientemente por el porcentaje de segregación aplicado sobre los residuos de construcción y demolición en el origen, mientras que la distinción de los subescenarios estará fijada por la uniformidad de la mezcla. De esta forma, se dispondrán de cuatro subescenarios.

Una vez desarrollados los diferentes tipos de escenarios, se aplicaran las políticas fijadas de segregado y mezclado de cada subescenario sobre las cantidades reales de los residuos de construcción y demolición, y se determinaran diferentes composiciones de residuos que formaran las entradas a la planta de reciclaje, dando lugar a cuatro escenarios distintos por tipo de planta.

Más adelante, se evaluará y analizará el desempeño de diferentes tipos de plantas de reciclaje sobre cada uno de los escenarios. Se analizará el funcionamiento de una planta de reciclaje con altas prestaciones, denominada como planta avanzada, en la cual se dispone de una maquinaria variada y actualizada, y de un proceso de reciclaje complejo que permite obtener productos reciclados de alta calidad. Y por otro lado se analizará el funcionamiento de una planta de reciclaje convencional o básica, en la que se hace uso de una maquinaria básica, y se generan productos reciclados de menor calidad.

Finalmente, se deducirá y evaluará cuál de las plantas es más conveniente en cada uno de los escenarios presentados en base a criterios técnicos, medioambientales, económicos y sociales.

2 GESTIÓN Y RECICLADO DE LOS RCD ´S

2.1 ORIGEN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD´S)

La ley de residuos y suelos contaminados (Ley 22/2011) con las modificaciones introducidas en la Ley 5/2013, define como "residuos" cualquier sustancia u objeto que su poseedor deseche o tenga la intención o la obligación de desechar. Más específicamente, según el Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición, residuos de construcción y demolición (RCD's) es cualquier sustancia u objeto que, cumpliendo la definición de "residuo" se genera en una obra de construcción o demolición.

El concepto de obra de construcción y demolición, a los efectos de este Real Decreto abarca las actividades consistentes en la construcción, reparación, reforma o demolición de un bien inmueble, tal como un edificio, carretera, puerto, ferrocarril, canal, presa, instalación deportiva o de ocio, y otro análogo de ingeniería civil. Asimismo, también se consideran en este ámbito la realización de trabajos que modifiquen la forma o sustancia del terreno o del subsuelo, tales como excavaciones, inyecciones, urbanizaciones u otros análogos con exclusión de los residuos procedentes de industrias extractivas.

Si bien la definición de RCD's abarca a cualquier residuo que se genere en una obra de construcción y demolición, el ámbito de aplicación del Real Decreto 105/2008 exceptúa los siguientes:

- Las tierras y piedras no contaminadas por sustancias peligrosas reutilizadas en la misma obra, en una obra distinta o en una actividad de restauración, acondicionamiento o relleno, siempre y cuando pueda acreditarse de forma fehaciente su destino de reutilización.
- Los residuos regulados por el RD 975/2009 con las modificaciones introducidas por el RD 777/2012, sobre la gestión de los residuos de industrias extractivas.
- Los lodos de dragado no peligrosos reubicados en el interior de las aguas superficiales derivados de las actividades de gestión de las aguas y de las vías navegables, de prevención de las inundaciones o de mitigación de los efectos de las inundaciones o sequías.

Los RCD's proceden en su mayor parte de derribos de edificios o rechazos de los materiales de construcción de las obras de nueva planta y de pequeñas obras de reformas en viviendas o urbanizaciones. Se conocen habitualmente como escombros. Las competencias sobre el control de su producción y gestión corresponde a las Comunidades Autónomas, a excepción de los

RCD's procedentes de obras menores domiciliarias, cuya gestión corresponde a las Entidades locales.

Una parte importante de estos residuos se llevan a vertederos, creando de esta forma un gran impacto visual y paisajístico, además de un impacto negativo al rechazar materiales que con un adecuado tratamiento, podrían ser reciclados. Se hace por tanto necesaria su correcta gestión, de forma que se consiga reducir las cantidades generadas y aprovechar el potencial que tienen como material secundario.

En la práctica, los RCD's que son procesados para su reciclaje incluyen una variada serie de materiales, entre los que se encuentran los productos cerámicos, residuos de hormigón, material asfáltico y en menor medida otros componentes como madera, vidrios, plásticos, etc. Según el Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición de la Comunidad de Madrid, la composición media de residuos es la que recoge el gráfico 2.1, la cual es la que se considera en este proyecto.

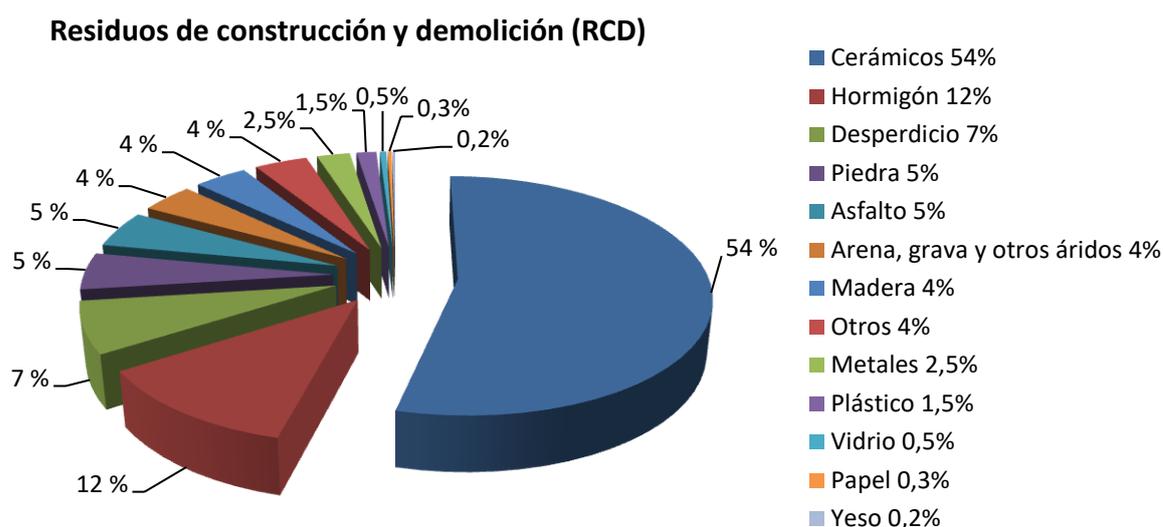


Gráfico 2.1: Composición de los residuos de construcción y demolición. Fuente: CEDEX, (2010)

Cabe destacar que los cerámicos pueden tener dos orígenes muy diferentes:

- Residuos producidos en las operaciones de demolición de estructuras de edificación. En España la mayor parte de los residuos de demolición lo forman este tipo de residuos, y proceden principalmente de demoliciones de edificaciones. En este tipo de residuos se engloban materiales muy variados como pueden ser: ladrillo, ladrillo silico-calcáreo, mezclado o no con hormigón, y pueden contener un elevado porcentaje de impurezas en el caso de que no se realice una demolición selectiva.

- En menor medida, ladrillos elaborados en fábricas, que son rechazados por no cumplir las especificaciones pertinentes. En este caso se trata de materiales muy homogéneos y libres de impurezas.

Los escombros de hormigón, sin embargo, proceden mayoritariamente de las demoliciones de obra civil.

2.2 PROCESAMIENTO DE LOS RCD'S Y TIPOS DE PLANTA

Hay que diferenciar dos fases en el procesamiento de los RCD's: la demolición y el reciclado de los materiales.

1) Demolición: si los escombros van a ser reciclados, conviene utilizar métodos de demolición que reduzcan in situ los escombros a tamaños que puedan ser tratados por el triturador primario de la planta de reciclaje. Asimismo, los procesos de demolición selectiva son fundamentales para disminuir la presencia de impurezas en los escombros, por ejemplo el yeso.

2) Reciclado: abarca el proceso de tratamiento en planta de los residuos desechados para su recuperación y reutilización posterior o vertido. A continuación se detallan los tipos de plantas de reciclaje de RCD's existentes, junto con el proceso de reciclado de un tipo planta que sirve como planta modelo para este trabajo.

-Plantas de Transferencia:

Son instalaciones para el depósito temporal de residuos de la construcción que han de ser tratados o eliminados en instalaciones localizadas a grandes distancias. Su cometido principal es agrupar residuos y abaratar costes de transporte, si bien en ocasiones se efectúa en ella algún proceso menor de triaje y clasificación de las fracciones, con lo que se mejora la gestión en las plantas de tratamiento y vertederos.

-Plantas de Tratamiento (reciclado):

Son instalaciones de tratamiento de los RCD's, cuyo objetivo es seleccionar, clasificar y valorizar las diferentes fracciones que contienen estos residuos, con el objetivo de obtener productos finales aptos para su utilización directa, o residuos cuyo destino será otro tratamiento posterior de valorización o reciclado, y si este no fuera posible, de eliminación en vertedero.

Las plantas de producción de áridos reciclados son bastante similares a las plantas de machaqueo de áridos naturales, incluyen machacadoras, cribas y dispositivos de transporte (cintas transportadoras,

cangilones, etc.). Adicionalmente, disponen de equipos para la eliminación de contaminantes y electroimanes para la separación del acero.

La planta de tratamiento debe asegurar unas máximas distancias de transporte, es decir, situarse lo más cerca posible del centro de la ciudad donde se originan la mayoría de los residuos de la construcción y donde se da una más amplia demanda de los áridos reciclados. También se pueden habilitar vertederos temporales de residuos (plantas de transferencia) y pequeñas plantas móviles que pueden emplearse para un tratamiento primario de los residuos.

Los sistemas de procesamiento utilizados dependerán de la aplicación final que se le vaya a dar al material reciclado y de la cantidad de impurezas que contenga.

Las plantas de tratamiento se pueden clasificar en:

- Plantas de 1ª generación: carecen de mecanismos de eliminación de materiales perjudiciales para la calidad del producto árido reciclado final, a excepción del acero.
- Plantas de 2ª generación: añade al tipo anterior sistemas mecánicos o manuales de eliminación de contaminantes previos al machaqueo, y elementos de limpieza y clasificación del producto machacado, por vía seca o húmeda. Son las más extendidas en el reciclado del hormigón.
- Plantas de 3ª generación: dirigidas a una reutilización prácticamente integral de otros materiales secundarios, considerados como contaminantes de los áridos generados.

Además se puede realizar otra clasificación de las plantas según su capacidad de desplazamiento:

- Plantas móviles: están constituidas por maquinaria y equipos de reciclaje móviles que, aun disponiendo de una ubicación de referencia como almacén, suelen desplazarse a las obras para reciclar desde el origen. Utilizan un remolque de lecho plano como plataforma para el equipo de precibado, trituración, separación magnética y cribado final, junto con transportadoras, conductos y controles. Los sistemas se pueden montar en menos de un día mediante el despliegue de patas hidráulicas y la subida y alineación del equipo para conseguir un correcto flujo de materiales. Pueden procesar hasta 100 toneladas a la hora, suponiendo que la alimentación sea del mismo tamaño y que se emplee la separación magnética y los sistemas de cribado.
- Plantas fijas: son instalaciones de reciclaje ubicadas en un emplazamiento fijo, con autorización administrativa para el reciclaje de los RCD's, cuya maquinaria de reciclaje (fundamentalmente los equipos de trituración) es fija y no opera fuera del emplazamiento donde está ubicada. Estas plantas son en líneas generales, similares a las

empleadas para el machaqueo de los áridos naturales, si bien incorporan de forma específica elementos para la separación de impurezas y otros contaminantes. Generalmente incluyen varios procesos de trituración y pueden procesar entre 300 y 400 toneladas por hora.

A continuación se describe brevemente el proceso completo de reciclado de RCD's en una planta tipo, fija de 2ª generación, que como se verá más adelante es la que más se identifica con el tipo de plantas estudiadas en este proyecto. Todo proceso de reciclado de RCD's comienza con la recepción de los materiales, donde se realiza la inspección visual y pesaje. Una vez realizada la tarea de inspección, entran en juego las líneas de tratamiento, en las que se trituran, limpian y clasifican los RCD's con el fin de obtener un producto reciclado potencialmente reutilizable.

1) Proceso de recepción del material: el proceso de reciclaje se inicia con la recepción y pesaje de los camiones que llegan a planta. Se realiza entonces una inspección visual del material para determinar el acopio al que van a ser destinados. Existen varios tipos de acopio, los principales son los formados por escombros de carácter pétreo (residuos limpios) y los formados por todo tipo de residuos (residuos mixtos), que suelen poseer un porcentaje de contenido de materiales contaminantes mayor, como plásticos, papel, madera, etc. No obstante, actualmente también existe el acopio de residuos segregados. Consisten en lotes de residuos que han sido segregados en el origen y que poseen excelentes características para su tratamiento en planta.

Como se verá más adelante, existen plantas que mezclan todos los residuos formando una única línea de tratamiento, o bien plantas que emplean tratamientos específicos que dependen de las propiedades del acopio de residuos y forman varias líneas de tratamiento.

En la inspección visual y pesaje, sobre todo en los grupos de residuos segregados, se extraen aquellos materiales que poseen propiedades contaminantes para el producto reciclado árido final o bien, poseen un alto valor de mercado.

2) Líneas de tratamiento: consisten en la trituración, limpieza, y separación de los RCD's introducidos en planta, con el fin de la obtención de productos reciclados potencialmente reutilizables.

La trituración se lleva a cabo mediante trituradoras de mandíbula o de impacto, y su principal función es la de obtener un tamaño de partícula determinado a la salida de planta para la producción de los productos áridos reciclados. Normalmente, existen dos fracciones de salida, una fracción con un tamaño de partícula fina y otra con un tamaño

de partícula gruesa. La fracción gruesa se emplea para la producción de productos áridos reciclados de mayor calidad, al formar una mezcla limpia y sobre la que los tratamientos de extracción y separación resultan más eficientes. Sobre la fracción fina los procesos de extracción y separación resultan más complicados, es por ello que conforman una mezcla heterogénea con un alto grado de impurezas y consiguientemente se emplean en la producción de productos áridos de menor calidad.

La limpieza de las agrupaciones de RCD's, radican en la extracción de materiales contaminantes o que poseen propiedades perjudiciales para el producto árido final. Suelen ser materiales no pétreos como plásticos, metales, madera, papel, etc. Algunos poseen altos valores de venta en los mercados, por ejemplo los metales, por lo que resulta muy conveniente separarlos de la corriente principal. Existen varios tipos de máquinas para este cometido, los imanes magnéticos para la extracción del acero, tamizadoras por flujo de aire, sacudidoras por humedad y espirales entre otras. También puede llevarse a cabo mediante el clasificado manual sobre cinta transportadora.

Por último, el proceso de separación se lleva a cabo mediante las cribas vibratorias o rotatorias. Su función principal reside en la separación por tamaño de los residuos tratados en planta. De esta forma, se consiguen separar la fracción gruesa de la fina y destinar cada una de ellas a específicas líneas de tratamiento.

2.3 PROPIEDADES DEL PRODUCTO ÁRIDO RECICLADO

Se entienden como áridos reciclados a aquellos resultantes del tratamiento de material inorgánico previamente utilizado en la construcción.

Las características de los áridos reciclados dependen (CEDEX, 2010):

- De las características de los materiales de los que proceden.
- De las características de los equipos de machaqueo utilizados en su producción.
- De la naturaleza de los cribados que se hayan realizado.
- De los procedimientos empleados para eliminar impurezas.

Los áridos reciclados se dividen en áridos reciclados procedentes del hormigón y áridos reciclados cerámicos o procedentes de residuos mixtos.

2.3.1 Árido reciclado procedente de hormigón

Los áridos reciclados procedentes de hormigón presentan cierta heterogeneidad en sus propiedades, debida principalmente a las distintas características de los hormigones que llegan a la planta de reciclado, a los sistemas de trituración empleados y a la presencia de impurezas.

En general, la calidad del árido reciclado está claramente condicionada por la fracción considerada, presentando las fracciones finas unas peores propiedades (disminución de la densidad, aumento de la absorción de agua, mortero, impurezas, partículas ligeras, terrones de arcilla, así como mayor contenido de cloruros y de sulfatos). Seguidamente se presentan las propiedades físicas y químicas más relevantes de este tipo de árido.

Propiedades físicas

El árido reciclado procedente del hormigón original tras el proceso de trituración, es una mezcla de árido grueso o grava (≥ 4 mm) y árido fino o arena (< 4 mm). El porcentaje de árido grueso que se obtiene varía del 70% al 90% de la masa total del hormigón original.

La fracción gruesa posee una distribución granulométrica adecuada para casi todas las aplicaciones de material granular en construcciones, incluso en la producción de un nuevo hormigón, aunque suelen presentar un mayor porcentaje de desclasificados inferiores.

En cuanto al coeficiente de la forma del árido reciclado, es similar al del árido natural, pudiendo presentar un porcentaje de lajas inferior.

La textura de los áridos reciclados suele ser rugosa y porosa, debido a la presencia del mortero de cemento que queda adherido a los áridos.

La densidad es muy similar a la del hormigón original y algo menor que la densidad del árido natural empleado para la producción de dicho hormigón, entre un 5-10% menor, aunque se considera un árido de densidad normal ($> 2000 \text{ kg/m}^3$). En el caso de las arenas recicladas (árido fino), el valor de su densidad es inferior a la de las gravas, por su mayor contenido de pasta de cemento adherida, estando la densidad real en la generalidad de los casos por debajo de $2,4 \text{ kg/m}^3$. Se puede establecer el control de la densidad como un índice de la uniformidad del árido reciclado.

La diferencia más marcada entra las propiedades de los áridos reciclados y los convencionales, es la absorción del agua, que depende de la composición original, situándose los valores más habituales entre 4-9%.

Propiedades químicas

La caracterización química de los áridos reciclados de hormigón es similar a la del residuo del que proceden. Una parte de los componentes de hidratación del cemento quedan adheridos a las partículas, y se acumulan especialmente en el caso de las más finas.

Entre los principales posibles contaminantes en los áridos reciclados se pueden considerar: las arcillas y los suelos en general; el betún, los polímeros y los filleres expansivos procedentes de los sellados de juntas, el yeso, los ladrillos, materiales orgánicos, metales, vidrio, áridos ligeros, partículas de hormigón dañadas en un incendio, diversas sustancias reactivas y hormigón de cemento aluminoso. La presencia de estos contaminantes en los áridos reciclados debe evaluarse y limitarse para controlar los efectos sobre el nuevo hormigón o producto a que vayan a ser destinados.

La gran heterogeneidad de los áridos reciclados y la incorporación de algunas impurezas, puede producir contaminación por lixiviados, especialmente cuando el árido reciclado se utiliza en aplicaciones diferentes al hormigón, como rellenos o carreteras, y cuando proceden de residuos de edificación, donde la concentración de impurezas es mayor.

2.3.2 Árido reciclado procedente de cerámicos o de residuos mixtos

Las propiedades varían de acuerdo a la composición de los materiales, por lo que es necesario hacer una distinción entre los componentes principales y secundarios. Se considera como áridos reciclados cerámicos a aquellos que contienen al menos un 65% en peso de los siguientes componentes: ladrillos y ladrillo silico-cacáreo mezclados o no con hormigón.

Propiedades físicas

Al igual que en los áridos reciclados procedentes del hormigón, la absorción de agua es una de las propiedades físicas del árido reciclado del tipo cerámico que presenta una mayor diferencia con respecto al árido natural. Según los estudios consultados, la absorción del árido cerámico grueso suele variar entre 6 y 25%, aunque cuando el árido reciclado incorpora además de material cerámico otros materiales como hormigón o árido natural, la absorción suele situarse por debajo del 12%. La fracción fina del árido reciclado presenta valores mucho mayores, hasta un 30%. La saturación de estos áridos se produce después de 30 minutos sumergidos en agua.

En cuanto a la densidad se refiere, depende del tipo de ladrillo usado y de la cantidad de arena utilizada en la fabricación de los ladrillos. Como orden de magnitud se puede considerar que la

densidad del ladrillo triturado está entre 1200 y 1800 kg/m³, mientras que la densidad del conjunto está comprendida entre 1000 y 1500 kg/m³. La densidad del árido reciclado cerámico es inferior a la de un árido reciclado de hormigón, y por supuesto es también inferior a la de un árido natural.

Propiedades químicas

Un problema asociado a la utilización de los áridos reciclados cerámicos es la presencia de impurezas, sobre todo de madera, yeso y vidrio.

El contenido de sulfatos – que puede ser debido a la presencia de mortero en los escombros, piezas de yeso u otros contaminantes-, no debería de exceder de 1% en peso del árido seco. Aún con valores de sulfato del 1%, si los áridos reciclados se utilizan en la fabricación de hormigón, este puede sufrir una apreciable pérdida de resistencia, principalmente cuando el contenido de cemento es bajo.

Cuando se utiliza ladrillo triturado como principal componente, la pérdida por ignición es menor de 5% en peso. Si se utiliza ladrillo silico-calcáreo u hormigón la pérdida es mayor.

2.4 APLICACIONES DE LOS PRODUCTOS ÁRIDOS RECICLADOS

La utilización de árido reciclado es cada vez más habitual en el campo de la construcción, en ámbitos muy variados como son la construcción de explanaciones (terraplenes y rellenos), capas de firmes carretas, o en la fabricación del hormigón.

Los destinos de estos materiales reciclados dependerán de la naturaleza o composición mayoritaria de los residuos. Así, mientras que para las explanaciones se suelen utilizar materiales procedentes tanto de residuos cerámicos, como de asfalto, de hormigón o mezclas de estos, para otras aplicaciones más restrictivas, como la fabricación de hormigón, los materiales reciclados suelen proceder de residuos de hormigón o en algunos casos de mezcla de residuos de hormigón y cerámicos.

Cada una de estas aplicaciones obliga a fijar distintos niveles de exigencias en las propiedades del árido reciclado.

2.4.1 Árido reciclado procedente de hormigón

Los áridos reciclados procedentes del hormigón son empleados en un amplio número de aplicaciones, siendo las siguientes las más destacadas (CEDEX, 2010):

- **Obras de tierra y terraplenes:** los residuos de la demolición de estructuras de hormigón pueden emplearse en obras de tierra y terraplenes. Para esta valorización hay que tener en cuenta la homogeneidad del residuo así como la ausencia de armaduras, contaminantes, y granulometría. No obstante, empleo de estos escombros “limpios” en terraplén supone desaprovechar las posibilidades de estos materiales. Si a pesar de ello se utilizan en obras de tierra, se haría como si de materiales naturales se tratara. Para prevenir la expansividad, hay que prestar atención al azul de metileno y al contenido en sulfatos, mientras que en la puesta en obra son la absorción de agua y la naturaleza frágil de los áridos reciclados, las variables a atender especialmente.
- **Carreteras:** la incorporación de los materiales reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición a la infraestructura de una carretera, puede hacerse, siempre que se cumplan las condiciones técnicas y medioambientales exigidas, como materiales para explanaciones; en terraplenes y rellenos, y como áridos reciclados para distintas capas del firme. En España las especificaciones técnicas que se refieren a la utilización de materiales en terraplenes y rellenos se recogen en los artículos 330 y 332 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).
- **Edificación y obra pública:** las principales aplicaciones de los áridos procedentes de hormigón triturado son: árido grueso para hormigones, y árido fino para morteros y cementos.
 - **Árido para hormigón estructural:** en general, los áridos gruesos reciclados procedentes de hormigón, pueden ser utilizados tanto para hormigón en masa como para hormigón armado, manteniéndose los criterios de dosificación de los hormigones convencionales. Se recomienda limitar el contenido de árido grueso reciclado al 20% en peso sobre el contenido total del árido grueso. Con esta limitación, las propiedades finales del hormigón reciclado (mecánicas y de durabilidad) apenas se ven afectadas en relación a las que presenta un hormigón convencional, siendo necesaria, para porcentajes superiores, la realización de estudios específicos y experimentación complementaria en cada aplicación. No se recomienda la utilización de arenas recicladas procedentes de hormigón para esta aplicación.

- **Árido para hormigón no estructural:** la utilización de árido reciclado procedente de hormigón no estructural está incluida en el Anejo 18 de la EHE, permitiéndose hasta un 100% de árido grueso reciclado, siempre y cuando se cumplan las especificaciones definidas.
- **Árido fino para morteros:** una alternativa al empleo de estos áridos reciclados es su utilización como arena para la producción de morteros. Estos morteros con árido fino reciclado experimentan un aumento notable de demanda de agua. Como consecuencia de esta elevada demanda de agua, las arenas recicladas no son recomendables para la fabricación de morteros de buena calidad. Si se consideran, sin embargo, adecuadas para la fabricación de morteros de baja resistencia, donde la consistencia obtenida es similar a la que proporcionan las arenas naturales calizas.
- **Cementos fabricados con finos procedentes de hormigón:** para este fin se utiliza una mezcla de finos menores de 5mm procedentes de hormigón machacado, escorias de horno alto pulverizadas o lodos con desechos de cemento procedente de las plantas de fabricación de hormigón, 2-3% de yeso y un acelerados inorgánico de fraguado. Comparando hormigones que tienen la misma consistencia y resistencia a compresión, hechos con cemento reciclado y con cemento Portland con escorias, se obtiene que presentan características similares en cuanto al desarrollo de la resistencia en el tiempo, retracción de secado y la resistencia a heladas, mientras que el calor de hidratación es menor y la profundidad de carbonatación mayor al utilizar cementos reciclados.

2.4.2 Árido reciclado procedente de cerámicos o de residuos mixtos

Al igual que los áridos procedentes del hormigón, estos tipos de áridos se emplean en numerosas aplicaciones (CEDEX, 2010):

- **Obras de tierra y terraplenes:** los escombros y la mampostería pueden utilizarse en terraplenes y obras de tierra con las adecuadas condiciones de homogeneidad y limpieza, siendo muy recomendable eliminar el yeso por la posibilidad de causar reacciones expansivas. Esto implica notables costes, por lo que el objetivo es producir áridos que puedan ser utilizados en usos de mayor valorización, como capas de firme de modo que se puedan compensar en la medida de lo posible dichos costes. En el caso de áridos reciclados heterogéneos que no contengan sustancias peligrosas ni contaminantes inertes se podrían utilizarse en la construcción de rellenos y terraplenes.

- **Carreteras:** los áridos reciclados procedentes de materiales cerámicos no cumplen en general las especificaciones que se exigen en nuestro país a los áridos para capas de firme como zahorras o materiales tratados con cemento. En el País Vasco se han hecho unos tramos de prueba para comprobar, a escala real, algunas características del árido reciclado mixto relacionadas con su puesta en obra y su comportamiento mecánico. Los resultados de compactación muestran que el árido reciclado presenta un buen comportamiento a compactación, alcanzado densidades en torno a la óptima. La respuesta mecánica de la explanada de árido reciclado se controló con deflectómetro de impacto. Los resultados muestran que la explanada construida con árido reciclado es semejante a la respuesta de la de árido de cantera (Ihobe & Cedex, 2011).
- **Edificación y obra pública:** la aplicación de este tipo de áridos en el respectivo sector se encuentra considerablemente limitada. Su principal uso se da en la producción de hormigones y morteros. Dada la reducida densidad del árido mayoritariamente cerámico, estaría en condición de árido ligero, por lo que puede ser de aplicación para la obtención de hormigones ligeros sin finos. En cambio, el árido mixto puede utilizarse para la fabricación de un hormigón no ligero de aplicación en la construcción de estructuras de hormigón en masa y hormigón armado, tales como muros de sótano, pilas de hormigón, bloques de hormigón, todo tipo de productos de hormigón armado prefabricado, etc. La resistencia de este tipo de hormigón reciclado disminuye considerablemente en relación con la del hormigón normal.

2.5 CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES

Si bien la mayor parte de los residuos que se generan en actividades de construcción y demolición no suelen revestir características de peligrosidad, su recogida de forma no selectiva provoca la mezcla de distintos tipos de residuos que en general no son peligrosos pero que, al mezclarse, pueden dar lugar a residuos contaminados en su conjunto, lo que impide someterlos a un aprovechamiento apropiado, o a que se envíen a vertederos que no cuentan con las barreras de protección adecuadas al tipo de residuos que reciben.

Entre los materiales y sustancias que pueden encontrarse entre los RCD's y que pueden tener alguna característica de peligrosidad cabe destacar:

- Aditivos de hormigón (inflamable)
- Adhesivos, másticos y sellantes (inflamable, tóxico o irritante)

- Emulsiones alquitranadas (tóxico, cancerígeno)
- Materiales a base de amianto, en forma de fibra respirable (tóxico, cancerígeno)
- Madera tratada con fungicidas/pesticidas (tóxico, ecotóxico, inflamable)
- Revestimientos ignífugos halogenados (ecotóxico, tóxico, cancerígeno)
- Equipos con PCB (ecotóxico, cancerígeno)
- Luminarias de mercurio (tóxico, ecotóxico)
- Sistemas con CFC's
- Elementos a base de yeso (fuente posible de sulfhídrico en vertederos, tóxico, inflamable)
- Envases que hayan contenido sustancias peligrosas (disolventes, pinturas, adhesivos, etc.)

Sin embargo la mayor parte de los RCD's se pueden considerar inertes o asimilables a inertes, y por lo tanto su poder contaminante es relativamente bajo pero, por el contrario, su impacto visual es con frecuencia alto. Esto se debe al gran volumen de ocupación y el escaso control ambiental ejercido sobre los terrenos que se eligen para su depósito.

2.5.1 Ventajas ambientales del tratamiento de los RCD's

Los principales beneficios ambientales derivados del tratamiento en planta de los RCD's son (Grupo Investigación TEP-227 & Cedex):

- Disminución de volumen de escombros que se depositan en vertederos, con la consiguiente disminución de impacto sobre el medio ambiente. En este punto ha de tenerse en cuenta que los RCD's poseen el mayor volumen de generación de residuos con respecto a otro tipo de residuos, por lo que la reducción del volumen de depósito en vertederos y la consecutiva disminución de impacto visual y ambiental es muy considerable.
- Optimización de recursos y materiales mediante su reutilización (desarrollo sostenible), y mejora económica del resultado de las obras.
- Reducción del número de explotaciones necesarias para suministrar la materia prima original, con el consiguiente beneficio en cuanto a impacto ambiental y de protección de recursos naturales.
- Reducción de los costes de transporte de la materia prima en determinados casos debido a una mayor cercanía (o mejor localización) de la Planta productora de áridos de RCD's a la obra con respecto a explotaciones naturales existentes.

- Reducción de costes de transporte al 50% en determinadas circunstancias, al poder simultanear el transporte de ida con RCD's a la planta con la vuelta a la obra con áridos reciclados de RCD's.
- Minimizar el impacto ambiental global del sector de la construcción y favorecer la construcción sostenible.

2.5.2 Desventajas ambientales del tratamiento actual de los RCD's

En España e incluso en Europa la situación actual en relación a la gestión de estos residuos, provoca problemas medioambientales y supone un despilfarro los recursos disponibles. Más concretamente (Grupo Investigación TEP-227 & Cedex):

- La cantidad de residuos procedentes de la construcción y demolición es muy grande, y además se caracterizan por su enorme volumen. Esto constituye un problema fundamental en términos de gestión, debido a los elevados costes que supone trasladar residuos de gran volumen a distancias relativamente grandes, lo que origina que muchas veces no alcancen el destino deseado.
- Generación de polvo, ruido y vibraciones producidos en las operaciones de tamizado y machaqueo en las plantas de procesado de los áridos, por lo que hay que estudiar el emplazamiento más conveniente para reducir en lo posible su impacto ambiental. En el caso de las plantas fijas de reciclaje de áridos es convenientes situarlas en las proximidades de una planta de fabricación de hormigón.
- Posibles impactos sobre la salud, causados por el inadecuado manejo y/o protección frente a componentes peligrosos que pueden existir en los residuos (particularmente en algunos de demolición), como el amianto y los metales pesados.
- Aproximadamente, el 75 % de los residuos se destina al relleno de terrenos o recuperación de explotaciones de canteras abandonadas, a pesar de poseer un gran potencial para su reciclado. Esto supone una gran cantidad de residuos que ocupan vertederos existentes (Laura Diaz Bajo, 2015).
- La jerarquía europea que se aplica a los métodos de gestión de residuos (prevención, reutilización, reciclaje, valorización energética y por último, eliminación en vertedero) no se aplica en la mayoría de los Estados miembros de la UE, lo que conduce a una utilización poco óptima de los recursos naturales(Laura Diaz Bajo, 2015).

2.6 ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE GENERACIÓN DE RCD'S EN CANTABRIA

Para la estimación del volumen de producción de RCD's, el método de instalaciones de Residuos es el método más utilizado a nivel regional. Este método se basa en las cantidades de residuos con las que se operan en las vías de tratamiento y eliminación: residuos tratados en estaciones de transferencia e instalaciones de tratamiento, residuos enviados a vertederos, residuos desechados y residuos reciclados.

Hasta el año 2010, las cantidades totales de RCD's producidos en Cantabria eran destinadas a vertederos o bien, se empleaban como relleno (restauración ambiental) de paisajes degradados, principalmente canteras y minas antiguas. La información de las cantidades empleadas es proporcionada por la empresa pública que se ocupa de la gestión de residuos en Cantabria (MARE, 2015).

A finales de 2010, algunas instalaciones de reciclaje comenzaron a operar en Cantabria, los datos de las cantidades de entrada de las plantas de reciclaje se obtienen mediante los códigos del Catálogo Europeo de Residuos (CER). Al analizar esta fuente de datos, se puede concluir que algunos flujos de residuos como los datos sobre la reutilización en la fuente o los residuos vendidos directamente al manager de residuos no están incluidos. En el gráfico 2.2 se incluyen los datos obtenidos de las instalaciones de tratamiento entre los años 2001 y 2013 en la región de Cantabria.

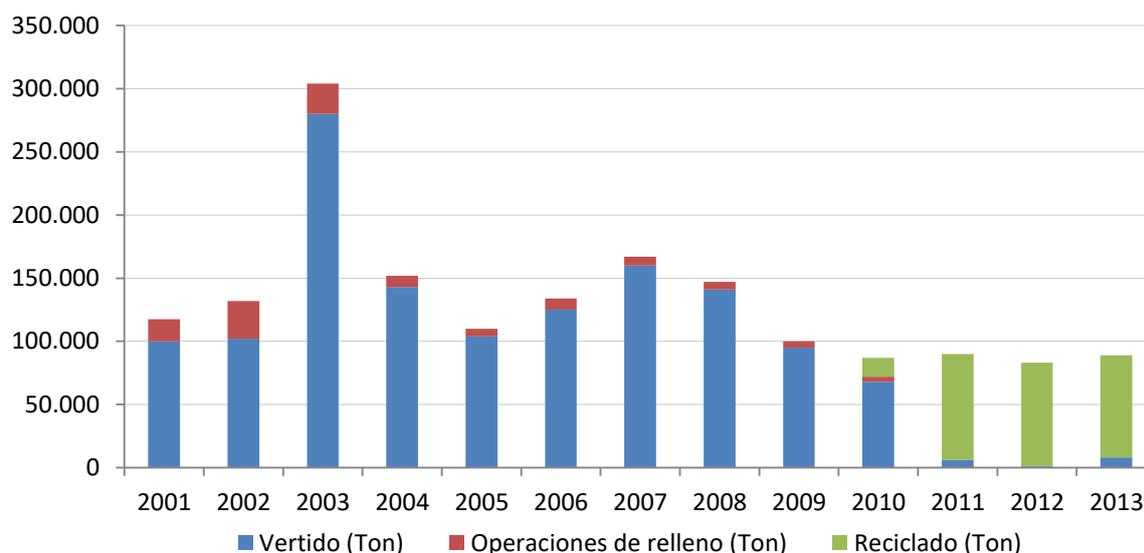


Gráfico 2.2: Generación de RCD's en Cantabria en base a la información registrada. Fuente: Elena Dosal, (2015)

Como se puede ver en el gráfico 2.2, las cantidades de los RCD's contabilizadas por las plantas de tratamiento no resultan constantes en los años estudiados. En el año 2001 la cantidad contabilizada determina aproximadamente 100.000 toneladas de RCD's, aumentando ligeramente el próximo año. Para el año 2003 se da el pico máximo, con en torno a 300.000 toneladas de RCD's contabilizados. En el año 2004, esta cantidad disminuye considerablemente a casi 150.000 toneladas. En los próximos 3 años se da una tendencia de aumento, comenzado en 100.000 toneladas en 2005 y alcanzado más de 150.000 toneladas en 2007. No obstante, a partir de este año el conteo vuelve a disminuir situándose en torno a las 100.000 toneladas en el periodo de 2009 a 2013.

Analizando la gráfica, queda claro que hasta 2010 la gestión tradicional de los RCD's consistía en el depósito en vertederos y en menor medida, su uso en operaciones de relleno. A partir del año 2011 se da el punto de inflexión donde la tendencia cambia claramente, siendo la mayor parte de los RCD's tratados en plantas de reciclaje. Esto se debe a la legislación puesta en marcha en Cantabria, en la que se prohibió el destino a vertedero sin tratamiento previo (BOC, 2010b). También se prohibió su uso en operaciones de relleno sin tratamiento previo.

La composición de estos residuos resulta bastante difícil de estimar debido a que las cantidades destinadas al vertedero antes de 2010 se clasificaban por la CER, sin información sobre su origen. No queda claro si los residuos producidos en otros sectores están incluidos en estos datos o si los residuos producidos por el sector de la construcción no se contabilizan al estar codificados por otros CER. Por otra parte, se supone que las cantidades destinadas a las operaciones de relleno estaban mayoritariamente compuestas por residuos de carácter pétreo.

A partir del año 2010, cuando las plantas de reciclaje comenzaron a estar operativas, la composición de los RCD's resulta más fácil de determinar al disponer de datos reales. Teniendo en cuenta que existen ciertos residuos como los materiales metálicos que no se contabilizan, los datos reflejan una producción anual de RCD's de aproximadamente 100.000 toneladas. Respecto a su composición, aunque sí que es cierto que existen ciertas diferencias, resulta muy similar a la proporcionada por el Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición de la Comunidad de Madrid, mostrada en la gráfica 2.1.

3 PLANTEAMIENTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

3.1 COMPOSICIÓN INICIAL DE LOS RCD'S USADO EN ESTE ESTUDIO

El primer paso para el desarrollo de los escenarios empleados en este estudio consiste en definir la cantidad total de RCD's generados en Cantabria. Aproximadamente se estima una producción anual de residuos de 100.000 toneladas en base a los datos de los últimos años (MARE, 2015) y por lo tanto, se asume esta cantidad de generación de residuos para este trabajo. Una vez se tiene la cantidad total de residuos generados fijada, el siguiente paso consiste en determinar el porcentaje para cada uno de los diferentes tipos de residuos. Estos diferentes tipos de residuos, se definen como potenciales componentes de RCD's que se producen sobre la base hipotética de que no son mezclados en la fuente. Los porcentajes de los componentes de los RCD's se obtienen del Catálogo de residuos que utilizan en la construcción, desarrollado por CEDEX (CEDEX, 2010), el cual utiliza resultados obtenidos en un estudio de la composición de los RCD's llevado a cabo por la Comunidad Autónoma de Madrid en sus vertederos. Los porcentajes propuestos en este estudio pueden consultarse en la tabla 3.1, donde los RCD's son clasificados en grandes corrientes de residuos agrupados por sus características y propiedades. Con el objetivo de establecer una correspondencia adecuada de los residuos generados, las corrientes de residuos son identificados mediante los códigos establecidos por el Catálogo Europeo de Residuos (CER).

Tabla 3.1: Composición de los RCD's generados en Cantabria. Fuente: Elaboración propia

Grupo	Tipo de residuo	%	CER	Flujo de residuos
Pétreo	Piedras	5	17 05 04	Piedras
	Hormigón	12	17 01 01	Hormigón
	Ladrillos, azulejos y cerámicos	38	17 01 02	Ladrillos
		16	17 01 03	Azulejos y Cerámicos
	Arena, grava y otros agregados	4		Arena grava y otros agregados
	Asfalto	5	17 03 02	Mezcla bituminosa
No Pétreo	Metales	2,5	17 04 01	Cobre, bronce y latón
			17 04 02	Aluminio
			17 04 03	Plomo
			17 04 04	Zinc
			17 04 05	Hierro y acero
			17 04 06	Estaño
			17 04 11	Cables
			Madera	4
	Vidrio	0,5	17 02 02	Vidrio
	Plástico	1,5	17 02 03	Plástico
	Yeso	0,2	17 08 02	Materiales de construcción basados en yeso
	Desperdicio	7	17 06 04	Material aislante
	Otros	4	15 01 06	Embalaje mezclado
	Papel	0,3	15 01 01	Empaques de papel y cartón
TOTAL		100		

Como se puede observar en la tabla 3.1, algunas suposiciones han de tenerse en cuenta:

- 1)** Para empezar, se establece una primera clasificación de residuos en base a su carácter pétreo, dividiendo el listado de corrientes de residuos en pétreos o no pétreos. En base a estudios realizados por las plantas de reciclaje de los RCD's se considera que de la totalidad de los RCD's entrantes a planta el 80% poseen carácter pétreo (CEDEX, 2010).
- 2)** En cuanto al hormigón armado, si se tiene en cuenta los indicadores desarrollados por estudios realizados (Mália et al., 2013), se puede estimar que el 40% del hormigón generado como residuo se trata de hormigón armado. No obstante, esta cantidad podría reducirse al 20% si se aplicase una correcta segregación en la fuente.
- 3)** En el caso de los materiales cerámicos, basándonos en los residuos generados en la construcción típica de Cantabria, se asume que del 54% de materiales cerámicos producidos, el 70% se asocia a los ladrillos, siendo el porcentaje restante para los azulejos y otro tipo de cerámicos (Elena Dosal, 2015).
- 4)** Para la clasificación de los metales, estos se dividen en metales féreos (hierro y acero), metales no féreos (estaño, aluminio, cobre, bronce latón, zinc y cables) y metales pesados (plomo). En base a estudios corroborados por los managers de las instalaciones de los RCD, se asume que el 96% es Hierro y acero, 1.65% de estaño, 0.26% de metales no féreos que se dividen en partes iguales entre el aluminio, cobre, bronce y latón, zinc y cables y el 2.09% restante de metales pesados principalmente constituidos por plomo (Coelho and De Brito, 2013a). Se observa que a medida que se fija la cantidad total de metales ferrosos, se puede deducir la cantidad relativa de hierro y acero contenida en el hormigón armado, usando una regla general sobre el hormigón armado y la densidad del hormigón.
- 5)** Otro aspecto a tener en cuenta es el de la corriente de plástico, ya que no está compuesto por el mismo tipo de plástico aunque se agrupen bajo el mismo código. El tipo de plástico predominante es el PVC, debido a que se utiliza en tuberías y conductos, revestimientos de suelos y paredes, marcos de ventanas, perfiles y forros que constituyen el 47% del peso total de los plásticos. El resto del plástico está formado por plástico que no es ni PVC ni film, ya que el film se considera como una componente perteneciente a la corriente del embalaje mixto (Envirowise, 2006).
- 6)** Finalmente, se considera que los desperdicios (17 06 04) forman la corriente de los materiales aislantes, estando formada por una mezcla de materiales como madera, fibra de vidrio y poliuretano. En cuanto a la corriente de residuos denominado "otros", se considera como embalaje mixto al no poder situarlo en otra corriente de residuos. Esta corriente contiene un 58.63% de paletas de madera, 24.67% de cartones y 16.7% de films de polietileno (Envirowise, 2006).

Teniendo en cuenta todas estas consideraciones, la cantidad total generada por cada corriente de residuos puede ser observada en la tabla 3.2.

Tabla 3.2: Cantidad total de residuos generada por cada flujo de los RCD's. Fuente: Elaboración propia

Grupo	Tipo de residuo	CER	Flujo de residuos	Cantidad(Toneladas)
Pétreo	Piedras	17 05 04	Piedras	5.000
	Hormigón	17 01 01	Hormigón	12.000
	Ladrillos, azulejos y cerámicos	17 01 02	Ladrillos	37.800
		17 01 03	Azulejos y cerámicos	16.200
	Arena, grava y otros agregados	Arena, grava y otros agregados		4.000
Asfalto	17 03 02	Mezcla bituminosa	5.000	
No Pétreo	Metales	17 04 01	Cobre, bronce y latón	1,63
		17 04 02	Aluminio	1,63
		17 04 03	Plomo	52,25
		17 04 04	Zinc	1,63
		17 04 05	Hierro y acero	2.400
		17 04 06	Estaño	41,25
		17 04 11	Cables	1,63
	Madera	17 02 01	Madera	4.000
	Vidrio	17 02 02	Vidrio	500
	Plástico	17 02 03	PVC	705
			Otros plásticos(no PVC, no film)	795
	Yeso	17 08 02	Materiales de construcción basados en yeso	200
	Desperdicio	17 06 04	Material aislante	7.000
	Otros	15 01 06	Embalaje mixto(paletas de madera)	2.345
			Embalaje mixto(cartones)	987
			Embalaje mixto(film de polietileno)	668
	Papel	15 01 01	Empaques de papel y cartón	300
TOTAL				100.000

3.2 DESARROLLO DE LOS ESCENARIOS PARA DETERMINAR LA COMPOSICIÓN FINAL DE LOS RCD'S

Una vez estimada la composición inicial de los RCD's, el siguiente paso consiste en establecer los parámetros de cada escenario y subescenario. Para ello se determinan porcentajes de mezclado y segregado para cada escenario, y en cuanto a los subescenarios divergen entre sí mediante los porcentajes relativos correspondientes al mezclado: mezclado pétreo, mezclado de metales y mezclado de RCD's. Subrayar que por definición, el pétreo mezclado solo puede estar constituido por residuos pétreos, el mezclado de metales por metales y en el mezclado genérico de los RCD's, se pueden encontrar todo tipo de residuos.

Como se ha mencionado anteriormente, los porcentajes totales de mezclado y segregado de residuos en fuente dan lugar a dos tipos de escenarios.

- **Escenario 1 de baja segregación:** se define como el escenario que tiene lugar en la situación actual de Cantabria, donde se aplica una política de baja segregación en la fuente de los RCD's, dando lugar a una agrupación de residuos altamente mezclados que requieren de una adecuada clasificación posterior. Se establecen unos porcentajes donde sólo el 15% de los RCD's son segregados, y el 85% restante proviene como mezcla.
- **Escenario 2 de alta segregación:** se define como el escenario opuesto al anterior, donde solo el 15% de los residuos son mezclados entre sí, dando lugar a una segregación del 85% de los RCD's. Este escenario representa un futuro cercano, en el cual se fomenta una alta segregación en la fuente, para poder así cumplir con las estrictas legislaciones venideras y obtener productos reciclados de alta calidad.

Dentro de cada uno de los escenarios se pueden definir dos subescenarios, debido a que la fracción pétreo mezclada puede estar constituida por los mismos tipos de residuos, formando pétreo mezclado, o con otros tipos de residuos, formando el mezclado genérico de los RCD's. Para el caso de la fracción no pétreo mezclada, los materiales metálicos pueden formar parte tanto del mezclado de metales como del mezclado genérico de RCD's. No obstante en este último caso, los residuos no metálicos formaran parte siempre de la mezcla genérica de los RCD's. El porcentaje relativo de mezclar los residuos del mismo carácter o de mezclarlos con otros tipos de residuos, dan lugar a cuatro versiones, teniendo en cuenta que se posibilitan dos subescenarios por cada escenario.

- **Subescenario A:** en la fracción pétreo que se encuentra mezclada, el 80% lo constituye el pétreo mezclado y el 20% restante el mezclado genérico de los RCD's. Por otro lado, en la fracción no pétreo mezclada, la mezcla de los materiales se constituye en un 70% de mezclado de metales y un 30% de la mezcla de RCD's. Se define como el subescenario donde se fomenta una mezcla de residuos uniforme con residuos de propiedades similares.
- **Subescenario B:** se trata del caso opuesto al anterior. En la fracción pétreo mezclada, el 20% de la mezcla la compone el pétreo mezclado y el 80% restante la mezcla de genérica de los RCD's. Para la fracción no pétreo mezclada, la mezcla de los residuos se conforma en un 30% en mezclado de metales y un 70% en la mezcla de los RCD's. Es decir, la mezcla de residuos estará compuesta en mayor medida por residuos que no tienen mucho que ver entre sí, lo que se resume en porcentajes elevados de mezclado genérico de RCD's.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, se desarrollan las tablas 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6 que dan lugar a cada uno de los escenarios posibles anteriormente descritos, donde se pueden ver con claridad los porcentajes de segregación y mezclado, y dentro del mezclado los porcentajes relativos de mezclado pétreo, mezclado de metales y mezclado genérico de los RCD's.

Tabla 3.3: Composición porcentual del mezclado de residuos para el escenario 1-A. Fuente: Elaboración propia.

Escenario 1-A							
%	Residuos	Grupo	% Total	% Relativo			
80	Pétreo	Segregado	15	12			
		Mezclado	85	68	Mezclado pétreo	80	54,4
					RCD mezclado	20	13,6
					Total	100	68
Total	100	80					
20	No Pétreo	Segregado	15	3			
		Mezclado	85	17	Mezclado metales	70	11,9
					RCD mezclado	30	5,1
					Total	100	17
Total	100	20					

Tabla 3.4: Composición porcentual del mezclado de residuos para el escenario 1-B. Fuente: Elaboración propia.

Escenario 1-B							
%	Residuos	Grupo	% Total	% Relativo			
80	Pétreo	Segregado	15	12			
		Mezclado	85	68	Mezclado pétreo	20	13,6
					RCD mezclado	80	54,4
					Total	100	68
Total	100	80					
20	No Pétreo	Segregado	15	3			
		Mezclado	85	17	Mezclado metales	30	5,1
					RCD mezclado	70	11,9
					Total	100	17
Total	100	20					

Tabla 3.5: Composición porcentual del mezclado de residuos para el escenario 2-A. Fuente: Elaboración propia.

Escenario 2-A							
%	Residuos	Grupo	% Total	% Relativo			
80	Pétreo	Segregado	85	68			
		Mezclado	15	12	Mezclado pétreo	80	9,6
					RCD mezclado	20	2,4
					Total	100	12
Total	100	80					
20	No Pétreo	Segregado	85	17			
		Mezclado	15	3	Mezclado metales	70	2,1
					RCD mezclado	30	0,9
					Total	100	3
Total	100	20					

Tabla 3.6: Composición porcentual del mezclado de residuos para el escenario 2-B. Fuente: Elaboración propia.

Escenario 2-B							
%	Residuos	Grupo	% Total	% Relativo			
80	Pétreo	Segregado	85	68			
		Mezclado	15	12	Mezclado pétreo	20	2,4
					RCD mezclado	80	9,6
					Total	100	12
Total	100	80					
20	No Pétreo	Segregado	85	17			
		Mezclado	15	3	Mezclado metales	30	0,9
					RCD mezclado	70	2,1
					Total	100	3
Total	100	20					

3.3 DETERMINACIÓN DE LAS ENTRADAS PARA LOS ESCENARIOS PRESENTADOS

Una vez definidos los parámetros para cada uno de los casos presentados y tomando como punto de partida la generación total de 100.000 toneladas, se puede determinar la composición y cantidad final de cada una de las corrientes de residuos que forman las entradas a planta en los distintos escenarios.

Para ello, antes de determinar estas cantidades de las corrientes de entrada, es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones que como se verá más adelante, hacen que los porcentajes de composición de las corrientes de residuos mostrados en cada las tablas 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6 anteriores varíen de forma considerable.

- Los flujos de residuos correspondientes a las “Piedras y tierra (17 05 04)” y a la “Mezcla bituminosa (17 03 02)”, poseen porcentajes específicos de 30% de mezclado y 70% de segregado independientemente del tipo de escenario en que se encuentren. Esto es debido a que se generan en procedimientos de construcción específicos y a menudo, se recolectan por separado (Elena Dosal, 2015).
- Las corrientes de residuos de “Arena, grava y otros agregados”, “Embalaje mezclado (15 01 06)” y los “Empaques de papel y cartón (15 01 01)”, son corrientes que se generan de forma mezclada por definición, y por tanto no pueden ser segregados. Es por ello que el 100% de su cantidad total se considera como mezcla (Elena Dosal, 2015).
- En el grupo de los residuos pétreos, la “Mezcla bituminosa (17 03 02)” se presenta como la única corriente de carácter no pétreo, por lo que el 100% de su mezcla está destinada al mezclado genérico de los RCD's.
- De la misma forma en el grupo de los residuos no pétreos, se tienen muchos materiales no metálicos como la madera y el vidrio, donde el 100% de la mezcla estará también destinada al mezclado de los RCD's.
- En el escenario 1, la corriente de residuos correspondiente al “Hormigón (17 01 01)”, se comprende en un 40% como hormigón armado y un 60% como hormigón no reforzado. Para el escenario dos los porcentajes cambian, siendo un 20% de hormigón armado y un 80% de hormigón no reforzado.
- El hormigón armado presenta un 8,7 % adicional de acero, el cual tiene que ser posteriormente restado de la cantidad total de hierro y acero (Elena Dosal, 2015).

Finalmente, teniendo en cuenta la generación total de 100.000 toneladas, los parámetros definidos en las anteriores tablas para cada uno de los casos de los escenarios presentados y las consideraciones anteriormente expuestas, se determinan las cantidades resultantes de las corrientes de residuos que formaran las entradas a planta.

3.3.1 Escenario 1-A

El primer escenario que se nos presenta se corresponde con el 1-A. Se trata de una versión con segregación en fuente convencional, donde sólo se segregan el 15 % de los residuos generados en las fuentes. En cuanto a la fracción mezclada de los residuos, se fomenta el mezclado uniforme de residuos de carácter similar, con un 80% de mezclado pétreo en la fracción pétreo mezclada y un 70% de mezclado de metales para los residuos metálicos que se encuentran mezclados en la fracción no pétreo.

La tabla 3.7 muestra los parámetros del escenario analizado, en la que se determinan las cantidades exactas de las diferentes corrientes de residuos que forman las entradas de la planta de reciclaje.

Tabla 3.7: Determinación de las cantidades exactas de los diferentes flujos de residuos para el escenario 1-A. Fuente: Elaboración propia

Grupo	Residuo	Ton	Estado	Ton	Grupo	Ton	Grupo	Ton
Pétreo	Hormigón	12.000	Mezclado	10.200	H.A	4.080	Mezclado Pétreo	3.264
							RCD Mezclado	816
							Hormigón	6.120
							Mezclado Pétreo	4.896
							RCD Mezclado	1.224
							H.A	720
	Piedras y tierra	5.000	Mezclado	1.500	Hormigón	1.080	Mezclado Pétreo	1.200
							RCD Mezclado	300
							Segregado	3.500
							Piedras y tierra	3.500
							Mezclado Pétreo	25.704
							RCD Mezclado	6.426
	Ladrillos	37.800	Mezclado	32.130	Ladrillos	5.670	Mezclado Pétreo	11.016
							RCD Mezclado	2.754
							Segregado	5.670
							Azulejos y cerámicos	2.430
							Mezclado Pétreo	3.200
							RCD Mezclado	800
Azulejos y cerámicos	16.200	Mezclado	13.770	Mezcla bituminosa	3.500	Mezclado Pétreo	1.500	
						RCD Mezclado	1.500	
						Segregado	2.430	
						Azulejos y cerámicos	2.430	
						Mezclado Pétreo	3.200	
						RCD Mezclado	800	
Arena, grava y otros agregados	4.000	Mezclado	4.000	Mezcla bituminosa	3.500	Mezclado de metales	0,97	
						RCD Mezclado	0,41	
						Segregado	3.500	
						Cobre, bronce y latón	0,24	
						Mezclado de metales	0,97	
						RCD Mezclado	0,41	
Mezcla bituminosa	5.000	Mezclado	1.500	Aluminio	0,24	Mezclado de metales	31,09	
						RCD Mezclado	13,32	
						Segregado	7,84	
						Plomo	7,84	
						Mezclado de metales	0,97	
						RCD Mezclado	0,41	
Cobre, bronce y latón	1,63	Mezclado	1,38	Zinc	0,24	Mezclado de metales	1.179,65	
						RCD Mezclado	505,57	
						Segregado	0,24	
						Hierro y acero	297,39	
						Mezclado de metales	24,54	
						RCD Mezclado	10,52	
Aluminio	1,63	Mezclado	1,38	Estaño	6,19	Mezclado de metales	0,97	
						RCD Mezclado	0,41	
						Segregado	0,24	
						Cables	0,24	
						Mezclado de metales	0,97	
						RCD Mezclado	0,41	
Plomo	52,25	Mezclado	44,41	Madera	3.400	RCD Mezclado	3.400	
						Segregado	7,84	
						Madera	600	
						Mezclado	425	
						RCD Mezclado	425	
						Segregado	75	
Zinc	1,63	Mezclado	1,38	Vidrio	1.275	RCD Mezclado	1.275	
						Segregado	0,24	
						Vidrio	225	
						Mezclado	170	
						RCD Mezclado	170	
						Segregado	30	
Hierro y acero	2.400	Mezclado	1.685,22	Plástico	1.500	RCD Mezclado	5.950	
						Segregado	297,39	
						Plástico	225	
						Mezclado	170	
						RCD Mezclado	170	
						Segregado	30	
Estaño	41,25	Mezclado	35,06	Basado en yeso	200	RCD Mezclado	4.000	
						Segregado	6,19	
						Basado en yeso	30	
						Mezclado	5.950	
						RCD Mezclado	5.950	
						Segregado	1.050	
Cables	1,63	Mezclado	1,38	Material aislante	7.000	RCD Mezclado	4.000	
						Segregado	0,24	
						Material aislante	1.050	
						Mezclado	4.000	
						RCD Mezclado	4.000	
						Segregado	300	
Madera	4.000	Mezclado	3.400	Empaques de papel y cartón	300	RCD Mezclado	300	
						Segregado	600	
						Empaques de papel y cartón	300	
						Mezclado	425	
						RCD Mezclado	425	
						Segregado	75	
Vidrio	500	Mezclado	425	Total	100.000			
						Segregado	75	

De la tabla 3.7 desarrollada en la página anterior se puede determinar las cantidades finales resultantes de cada corriente de residuos, se encuentren en forma segregada o mezclada, y finalmente obtener los porcentajes reales de mezclado y segregado, y de las diferentes agrupaciones de mezclado: mezclado pétreo, mezclado de metales y los RCD's mezclados.

Tabla 3.8: Cantidades exactas de los flujos de residuos segregados. Fuente: Elaboración propia

Grupo	CER	Descripción	Ton	Total	% Total
Segregado	17 01 01	Hormigón	1.080,00	19.255,00	19,26
	17 01 01	Hormigón reforzado	720,00		
		Acero	62,61		
	17 01 02	Ladrillos	5.670,00		
	17 01 03	Azulejos y cerámicos	2.430,00		
	17 02 01	Madera	600,00		
	17 02 02	Vidrio	75,00		
	17 02 03	Plástico	225,00		
	17 03 02	Mezcla bituminosa diferente a 17 03 01	3.500,00		
	17 04 01	Cobre, Bronce y Latón	0,24		
	17 04 02	Aluminio	0,24		
	17 04 03	Plomo	7,84		
	17 04 04	Zinc	0,24		
	17 04 05	Hierro y Acero	297,39		
	17 04 06	Estaño	6,19		
	17 04 11	Cables diferentes al 17 04 10	0,24		
	17 05 04	Piedras y tierra	3.500,00		
	17 08 02	Materiales de construcción basados en yeso	30,00		
17 06 04	Material aislante	1.050,00			

Como se puede ver en la tabla 3.8, correspondiente a las corrientes de residuos segregadas, se obtiene un 19,26% de segregación del total de residuos que entraran a la planta de reciclaje. La política de este escenario implica un 15 % de segregación en la fuente, pero como se puede ver el porcentaje obtenido es notoriamente mayor. La causa principal de esta variación, consiste en los porcentajes específicos de segregación de las corrientes de residuos "Piedras y tierra" y "Mezcla bituminosa", en la que se aplica siempre un 70% de segregación. Teniendo en cuenta que son corrientes de residuos con cantidades totales elevadas, la alta segregación aplicada aumentara el porcentaje total de segregación final. El hecho de que haya materiales como los pertenecientes a la corriente de "Arena, grava y otros agregados" que no se pueden segregar, originan que la subida de este porcentaje no sea tan elevada.

Tabla 3.9: Cantidades exactas de los flujos de residuos pertenecientes al mezclado pétreo. Fuente: Elaboración propia

Grupo	CER	Descripción	Ton	Total	% Total
Mezclado pétreo (17 01 07)	17 01 01	Hormigón	4.896,00	49.563,83	49,56
	17 01 01	Acero	283,83		
		Hormigón reforzado	3.264,00		
	17 01 02	Ladrillos	25.704,00		
	17 01 03	Azulejos y cerámicos	11.016,00		
		Arena, grava y otros agregados	3.200,00		
17 05 04	Piedras y tierra	1.200,00			

Para el mezclado pétreo, tabla 3.9, se obtiene un 49,56% frente al 54,4% que en teoría se debería de obtener. La razón por la que el porcentaje se ve reducido, consiste en que la fracción mezclada de la “Mezcla bituminosa”, al ser un residuo de carácter no pétreo, sólo puede ser incorporada en el mezclado genérico de los RCD.

Tabla 3.10: Cantidades exactas de los flujos de residuos pertenecientes al mezclado de metales. Fuente: Elaboración propia

Grupo	CER	Descripción	Ton	Total	% Total
Mezclado de metales (17 04 07)	17 04 01	Cobre, Bronce y Latón	0,97	1.239,15	1,24
	17 04 02	Aluminio	0,97		
	17 04 03	Plomo	31,09		
	17 04 04	Zinc	0,97		
	17 04 05	Hierro y Acero	1.179,65		
	17 04 06	Estaño	24,54		
	17 04 11	Cables diferentes al 17 04 10	0,97		

En la tabla 3.10 se determina un 1,24% de mezclado de metales, siendo un 11,9% lo que se determinó en primera instancia. La razón de esta drástica reducción es obvia, y es que entre los residuos no pétreos se encuentran una cantidad considerable de residuos no metálicos que no pueden ser incluidos en el mezclado de metales.

Tabla 3.11: Cantidades exactas de los flujos de residuos pertenecientes al mezclado de los RCD's. Fuente: Elaboración propia

Grupo	CER	Descripción	Ton	Total	% Total
RCD Mezclado (17 09 04)	17 02 01	Madera	3.400,00	29.942,02	29,94
	17 02 02	Vidrio	425,00		
	17 02 03	Plástico	1.275,00		
	17 03 02	Material bituminoso	1.500,00		
	17 08 02	Yeso de construcción	170,00		
	17 01 01	Hormigón	1.224,00		
	17 01 01	Acero	70,96		
		Hormigón reforzado	816,00		
	17 01 02	Ladrillos	6.426,00		
	17 01 03	Azulejos y cerámicos	2.754,00		
	17 06 04	Material aislante	5.950,00		
	17 04 01	Cobre, Bronce y Latón	0,41		
	17 04 02	Aluminio	0,41		
	17 04 03	Plomo	13,32		
	17 04 04	Zinc	0,41		
	17 04 05	Hierro y acero	505,57		
	17 04 06	Estaño	10,52		
	17 04 11	Cables diferentes al 17 04 10	0,41		
		Arena, grava y otros agregados	800,00		
	17 05 04	Piedras y tierra	300,00		
15 01 01	Empaques de papel y cartón	300,00			
15 01 06	Embalaje mezclado	4.000,00			

Finalmente en el mezclado de los RCD's (tabla 3.11), resulta un 29,94% incrementando en más de un 10% el porcentaje de referencia de la mezcla de los RCD's, 18,7%. Precisamente las causas que originaban la reducción de los porcentajes de mezclado de metales y mezclado pétreo, hacen que el porcentaje de mezclado de los RCD's aumente de manera considerable. Además de esto, hay que tener en cuenta que las corrientes de residuos de “Embalaje mezclado”, “Empaques de papel y

cartón” y “Arena, grava y otros agregados”, son corrientes que se encuentran mezcladas por definición, por lo que no pueden ser segregadas en la fuente. De esta forma se aumentan los porcentajes de mezclado, sobre todo los de RCD's, ya que las dos primeras corrientes mencionadas solo pueden incluirse en el mezclado de los RCD's.

3.3.2 Escenario 1-B

De la misma forma que el anterior escenario, consiste en un escenario donde se incentivan políticas de segregación convencional en fuente, con un 15% de segregación del total de residuos y un 85% que son mezclados entre sí. Sin embargo, en este caso no se fomenta el mezclado de residuos de carácter similar, con sólo un 20% de mezclado pétreo en la fracción pétreo mezclada y un 30% en mezclado de metales, en el caso de la fracción no pétreo mezclada.

Este escenario se puede definir como el escenario más desfavorable de todas las versiones presentadas, en cuanto a políticas de segregación aplicadas en la fuente e incentivo de mezclado de residuos de carácter similar.

La tabla 3.12 muestra los parámetros del escenario en cuestión, en la que se determinan las cantidades exactas de los diferentes tipos de residuos que formaran las entradas de la planta de reciclaje.

Tabla 3.12: Determinación de las cantidades exactas de los diferentes flujos de residuos para el escenario 1-B. Fuente: Elaboración propia

Grupo	Residuo	Ton	Estado	Ton	Clasificación	Ton	Clasificación	Ton
Pétreo	Hormigón	12.000	Mezclado	10.200	Hormigón armado	4.080	Mezclado Pétreo	816
						354,78	RCD Mezclado	70,96
					Hormigón	6.120	Mezclado Pétreo	1.224
								RCD Mezclado
					Hormigón	720	Mezclado Pétreo	300
								RCD Mezclado
	Segregado	1.800	Hormigón	1.080				
				RCD Mezclado	1.200			
	Piedras y tierra	5.000	Mezclado	1.500				
				RCD Mezclado	1.200			
	Segregado	3.500	Piedras y tierra	3.500				
				RCD Mezclado	25.704			
	Ladrillos	37.800	Mezclado	32.130				
				RCD Mezclado	25.704			
	Segregado	5.670	Ladrillos	5.670				
				RCD Mezclado	11.016			
	Azulejos y cerámicos	16.200	Mezclado	13.770				
				RCD Mezclado	11.016			
	Segregado	2.430	Azulejos y cerámicos	2.430				
				RCD Mezclado	3.200			
Arena, grava, y otros agregados	4.000	Mezclado	4.000					
			RCD Mezclado	1.500				
Mezcla bituminosa	5.000	Mezclado	1.500					
			RCD Mezclado	3.500				
Segregado	3.500	Mezcla bituminosa	3.500					
			RCD Mezclado	0,97				
Cobre, bronce y latón	1,63	Mezclado	1,38					
			RCD Mezclado	0,24				
Segregado	0,24	Cobre, bronce y latón	0,24					
			RCD Mezclado	0,97				
Aluminio	1,63	Mezclado	1,38					
			RCD Mezclado	0,24				
Segregado	0,24	Aluminio	0,24					
			RCD Mezclado	31,09				
Plomo	52,25	Mezclado	44,41					
			RCD Mezclado	7,84				
Segregado	7,84	Plomo	7,84					
			RCD Mezclado	0,97				
Zinc	1,63	Mezclado	1,38					
			RCD Mezclado	0,24				
Segregado	0,24	Zinc	0,24					
			RCD Mezclado	1.179,65				
Hierro y acero	2.400	Mezclado	1.685,22					
			RCD Mezclado	417,39				
Acero H.A	417,39	Hierro y acero	297,39					
			RCD Mezclado	10,52				
Estaño	41,25	Mezclado	35,06					
			RCD Mezclado	6,19				
Segregado	6,19	Estaño	6,19					
			RCD Mezclado	0,97				
Cables	1,63	Mezclado	1,38					
			RCD Mezclado	0,24				
Segregado	0,24	Cables	0,24					
			RCD Mezclado	3.400				
Madera	4.000	Mezclado	3.400					
			RCD Mezclado	600				
Segregado	600	Madera	600					
			RCD Mezclado	425				
Vidrio	500	Mezclado	425					
			RCD Mezclado	75				
Segregado	75	Vidrio	75					
			RCD Mezclado	1.275				
Plástico	1.500	Mezclado	1.275					
			RCD Mezclado	225				
Segregado	225	Plástico	225					
			RCD Mezclado	170				
Basado en yeso	200	Mezclado	170					
			RCD Mezclado	30				
Segregado	30	Basado en yeso	30					
			RCD Mezclado	5.950				
Material aislante	7.000	Mezclado	5.950					
			RCD Mezclado	1.050				
Segregado	1.050	Material aislante	1.050					
			RCD Mezclado	4.000				
Embalaje mezclado	4.000	Mezclado	4.000					
			RCD Mezclado	300				
Empaques de papel y cartón	300	Mezclado	300					
			RCD Mezclado	300				
Total						100.000		

De la tabla 3.12 se extraen las cantidades exactas de cada corriente de residuos, se determinan los porcentajes reales de segregado y mezclado, y de las consiguientes agrupaciones de mezclado: mezclado pétreo, mezclado de metales y mezclado de los RCD's.

Tabla 3.13: Cantidades exactas de los flujos de residuos segregados. Fuente: Elaboración propia

Grupo	CER	Descripción	Ton	Total	% Total
Segregado	17 01 01	Hormigón	1.080,00	19.255	19,26
	17 01 01	Hormigón reforzado	720,00		
		Acero	62,61		
	17 01 02	Ladrillos	5.670,00		
	17 01 03	Azulejos y cerámicos	2.430,00		
	17 02 01	Madera	600,00		
	17 02 02	Vidrio	75,00		
	17 02 03	Plástico	225,00		
	17 03 02	Mezcla bituminosa diferente a 17 03 01	3.500,00		
	17 04 01	Cobre, Bronce y Latón	0,24		
	17 04 02	Aluminio	0,24		
	17 04 03	Plomo	7,84		
	17 04 04	Zinc	0,24		
	17 04 05	Hierro y Acero	297,39		
	17 04 06	Estaño	6,19		
	17 04 11	Cables diferentes al 17 04 10	0,24		
	17 05 04	Piedras y tierra	3.500,00		
17 08 02	Materiales de construcción basados en yeso	30,00			
17 06 04	Material aislante	1.050,00			

Para la tabla 3.13, las políticas de segregación en fuente es idéntica a la del escenario 1-A, es por ello que resulta el mismo porcentaje total de segregación final. Como se mencionó anteriormente, es el porcentaje específico de 70% de segregación de las corrientes de residuos "Piedras y tierra" y "Mezcla bituminosa", el que origina el incremento del porcentaje total de segregación.

Tabla 3.14: Cantidades exactas de los flujos de residuos pertenecientes al mezclado pétreo. Fuente: Elaboración propia

Grupo	CER	Descripción	Ton	Total	% Total
Mezclado pétreo (17 01 07)	17 01 01	Hormigón	1.224,00	12.390,96	12,39
	17 01 01	Acero	70,96		
		Hormigón reforzado	816,00		
	17 01 02	Ladrillos	6.426,00		
	17 01 03	Azulejos y cerámicos	2.754,00		
		Arena, grava y otros agregados	800,00		
	17 05 04	Piedras y tierra	300,00		

No obstante, en los subgrupos de mezclado los porcentajes ya no son los mismos que los del escenario 1-A, al ser la política de mezclado diferente. Como se muestra en la tabla 3.14, se obtiene un 12,39% frente al 13,6% que en teoría se debiera de obtener, siendo la reducción de apenas un 1%. Al igual que en el anterior escenario la reducción es debida a que el 100% del mezclado de la "Mezcla bituminosa" está destinado al mezclado de los RCD's. Sin embargo, en este caso la reducción no es tan pronunciada, al ser sólo un 20% del mezclado de esta corriente la que no es incorporada al mezclado pétreo, en vez del 80% que se establecía en el escenario anterior.

Tabla 3.15: Cantidades exactas de los flujos de residuos pertenecientes al mezclado de metales. Fuente: Elaboración propia

Grupo	CER	Descripción	Ton	Total	% Total
Mezclado de metales (17 04 07)	17 04 01	Cobre, Bronce y Latón	0,41	531,07	0,53
	17 04 02	Aluminio	0,41		
	17 04 03	Plomo	13,32		
	17 04 04	Zinc	0,41		
	17 04 05	Hierro y acero	505,57		
	17 04 06	Estaño	10,52		
	17 04 11	Cables diferentes al 17 04 10	0,41		

En la tabla 3.15 se determina que el mezclado de metales representa el 0,53% de la cantidad total de residuos que forman la entrada a la planta de reciclaje. En teoría este porcentaje debería alcanzar el 5,1%. Como se puede ver el resultado obtenido se corresponde con la décima parte, al igual que en anterior escenario. La pronunciada reducción es consecuencia de la misma causa, y es que muchos residuos del grupo no pétreo no poseen carácter metálico, no pudiéndose incorporar al mezclado de metales. Además son tipos de residuos que son generados en grandes cantidades, en comparación a los residuos metálicos, los cuales presentan cantidades mucho más reducidas.

Tabla 3.16: Cantidades exactas de los flujos de residuos pertenecientes al mezclado de los RCD's. Fuente: Elaboración propia

Grupo	CER	Descripción	Ton	Total	% Total
RCD Mezclado (17 09 04)	17 02 01	Madera	3.400,00	67.822,98	67,82
	17 02 02	Vidrio	425,00		
	17 02 03	Plástico	1.275,00		
	17 03 02	Material bituminoso	1.500,00		
	17 08 02	Yeso de construcción	170,00		
	17 01 01	Hormigón	4.896,00		
	17 01 01	Acero	283,83		
	17 01 01	Hormigón reforzado	3.264,00		
	17 01 02	Ladrillos	25.704,00		
	17 01 03	Azulejos y cerámicos	11.016,00		
	17 06 04	Material aislante	5.950,00		
	17 04 01	Cobre, Bronce y Latón	0,97		
	17 04 02	Aluminio	0,97		
	17 04 03	Plomo	31,09		
	17 04 04	Zinc	0,97		
	17 04 05	Hierro y Acero	1.179,65		
	17 04 06	Estaño	24,54		
	17 04 11	Cables diferentes al 17 04 10	0,97		
		Arena, grava y otros agregados	3.200,00		
	17 05 04	Piedras y tierra	1.200,00		
	15 01 01	Empaques de papel y cartón	300,00		
15 01 06	Embalaje mezclado	4.000,00			

En el mezclado genérico de los RCD's, tabla 3.16, resulta un porcentaje ligeramente mayor al 66,3% que se debería de obtener. Idénticamente al anterior escenario, el porcentaje aumenta, pero en este caso de manera mucho menos pronunciada. Se siguen teniendo corrientes de residuos que son considerados como mezcla en su totalidad y otros donde el 100% de la mezcla solo puede destinarse al RCD mezclado, lo que se traduce en un aumento del porcentaje del mezclado de los RCD's. La cuestión es que la política de mezclado de este escenario, destina el 80% del mezclado de los

residuos pétreos al RCD mezclado y el 70% en los residuos no pétreos, por tanto al tratarse de porcentajes elevados, el hecho de que existan materiales donde 100% de la mezcla este destinada al RCD mezclado no se traduce en un cambio drástico del porcentaje final.

3.3.3 Escenario 2-A

El escenario 2-A es un escenario totalmente diferente al anteriormente analizado. Las políticas de segregación en fuente son mucho más estrictas, con un 85% de segregación sobre la cantidad total de residuos generada en las fuentes. Estas políticas son afines a las nuevas normativas europeas de reciclado, cuyo objetivo consiste en que las plantas para 2020 sean capaces de recuperar el 70% de los RCD's generados. Y es que como se podrá ver posteriormente, las altas segregaciones en fuente junto con una adecuada clasificación de los residuos, facilitan considerablemente los procesos de las plantas de reciclaje, reduciendo los costos y consiguientemente, aumentando los beneficios y la calidad de los productos reciclados. Además de esto, se fomenta el mezclado de residuos de carácter similar con un 80% de mezclado pétreo en la mezcla de la fracción pétreo y 70 % de mezclado de metales para la mezcla de la fracción no pétreo.

Todo esto nos hace pensar que el escenario 2-A se presenta como el ideal para cumplir con los objetivos de reciclado establecidos para 2020.

A continuación, se determinan las cantidades exactas de las corrientes de residuos establecidas y se analizan los valores de los porcentajes totales obtenidos. Para ello se hace uso de la tabla 3.17.

Tabla 3.17 Determinación de las cantidades exactas de los diferentes flujos de residuos para el escenario 2-A. Fuente: Elaboración propia

Grupo	Residuo	Ton	Estado	Ton	Clasificación	Ton	Clasificación	Ton
Pétreo	Hormigón	12.000	Mezclado	1.800	Hormigón armado	360	Mezclado Pétreo	288
						31,30	RCD Mezclado	25,04
			Segregado	10.200	Hormigón	1.440	Mezclado Pétreo	1.152
						2.040	RCD Mezclado	72
	Piedras y tierra	5.000	Mezclado	1.500	Hormigón	8.160	Mezclado Pétreo	1.200
						300	RCD Mezclado	300
			Segregado	3.500	Piedras y tierra	3.500	Mezclado Pétreo	4.536
						1.134	RCD Mezclado	1.134
	Ladrillos	37.800	Mezclado	5.670	Ladrillos	32.130	Mezclado Pétreo	1.944
						486	RCD Mezclado	486
	Azulejos y cerámicos	16.200	Mezclado	2.430	Azulejos y cerámicos	13.770	Mezclado Pétreo	3.200
						800	RCD Mezclado	800
	Arena, grava y otros agregados	4.000	Mezclado	4.000	Mezcla bituminosa	3.500	Mezclado Pétreo	1.500
						1.500	RCD Mezclado	1.500
	Mezcla bituminosa	5.000	Mezclado	1.500	Mezcla bituminosa	3.500	Mezclado de metales	0,17
						0,24	RCD Mezclado	0,07
	Cobre, bronce y latón	1,63	Mezclado	0,24	Cobre, bronce y latón	1,38	Mezclado de metales	0,17
0,07						RCD Mezclado	0,07	
Aluminio	1,63	Mezclado	0,24	Aluminio	1,38	Mezclado de metales	5,49	
					2,35	RCD Mezclado	2,35	
Plomo	52,25	Mezclado	7,84	Plomo	44,41	Mezclado de metales	0,17	
					0,07	RCD Mezclado	0,07	
Zinc	1,63	Mezclado	0,24	Zinc	1,38	Mezclado de metales	230,09	
					98,61	RCD Mezclado	98,61	
Hierro y acero	2.400	Mezclado	328,70	Hierro y acero	1.862,61	Mezclado de metales	4,33	
					208,70	RCD Mezclado	1,86	
Estaño	41,25	Mezclado	6,19	Estaño	35,06	Mezclado de metales	0,17	
					0,07	RCD Mezclado	0,07	
Cables	1,63	Mezclado	0,24	Cables	1,38	Mezclado de metales	600	
					600	RCD Mezclado	600	
Madera	4.000	Mezclado	600	Madera	3.400	Mezclado de metales	75	
					75	RCD Mezclado	75	
Vidrio	500	Mezclado	75	Vidrio	425	Mezclado de metales	225	
					225	RCD Mezclado	225	
Plástico	1.500	Mezclado	225	Plástico	1.275	Mezclado de metales	30	
					30	RCD Mezclado	30	
Basado en yeso	200	Mezclado	30	Basado en yeso	170	Mezclado de metales	1.050	
					1.050	RCD Mezclado	1.050	
Material aislante	7.000	Mezclado	1.050	Material aislante	5.950	Mezclado de metales	4.000	
					4.000	RCD Mezclado	4.000	
Embalaje mezclado	4.000	Mezclado	4.000	Embalaje mezclado	300	Mezclado de metales	300	
					300	RCD Mezclado	300	
Empaques de papel y cartón	300	Mezclado	300	Empaques de papel y cartón	300	Mezclado de metales	300	
					300	RCD Mezclado	300	
Total						100.000		

Se extraen cantidades exactas de cada corriente de residuos y determinan los porcentajes reales de segregado y mezclado, y de las consiguientes agrupaciones de mezclado.

Tabla 3.18: Cantidades exactas de los flujos de residuos segregados. Fuente: Elaboración propia

Grupo	CER	Descripción	Ton	Total	% Total
Segregado	17 01 01	Hormigón	8.160,00	76445	76,45
	17 01 01	Hormigón reforzado	2.040,00		
		Acero	177,39		
	17 01 02	Ladrillos	32.130,00		
	17 01 03	Azulejos y cerámicos	13.770,00		
	17 02 01	Madera	3.400,00		
	17 02 02	Vidrio	425,00		
	17 02 03	Plástico	1.275,00		
	17 03 02	Mezcla bituminosa diferente a 17 03 01	3.500,00		
	17 04 01	Cobre, Bronce y Latón	1,38		
	17 04 02	Aluminio	1,38		
	17 04 03	Plomo	44,41		
	17 04 04	Zinc	1,38		
	17 04 05	Hierro y Acero	1.862,61		
	17 04 06	Estaño	35,06		
	17 04 11	Cables diferentes al 17 04 10	1,38		
	17 05 04	Piedras y tierra	3.500,00		
17 08 02	Materiales de construcción basados en yeso	170,00			
17 06 04	Material aislante	5.950,00			

Analizando la tabla 3.18, se observa una reducción del porcentaje total de segregado de entorno al 10%. El porqué de la reducción consiste en los porcentajes específicos de segregado de 70% de los “Materiales bituminosos y de las Piedras”, en vez del 85% que se debería aplicar. Por otro lado, la presencia de corrientes de residuos como el “Embalaje mezclado” o la “Arena, grava y otros agregados”, los cuales no pueden ser segregados en la fuente y por consiguiente la cantidad total tiene que ser incorporada a la mezcla, aumentan los porcentajes de las agrupaciones de mezclado y disminuyen el porcentaje total de segregación.

Tabla 3.19: Cantidades exactas de los flujos de residuos pertenecientes al mezclado pétreo. Fuente: Elaboración propia

Grupo	CER	Descripción	Ton	Total	% Total
Mezclado pétreo (17 01 07)	17 01 01	Hormigón	1.152,00	12.345,04	12,35
	17 01 01	Acero	25,04		
		Hormigón reforzado	288,00		
	17 01 02	Ladrillos	4.536,00		
	17 01 03	Azulejos y cerámicos	1.944,00		
		Arena, grava y otros agregados	3.200,00		
17 05 04	Piedras y tierra	1.200,00			

Como se puede observar en la tabla 3.19, se obtiene un 12,35% frente al 9,6% teórico. El aumento es debido a que la cantidad total de la corriente de residuos “Arena, grava y otros agregados” es considerada como mezcla, como consecuencia el 80% destinado al mezclado pétreo de dicha cantidad es una cantidad elevada que hace subir el porcentaje total final. Algo parecido pasa con la corriente de “Piedras y tierra”, en el cual el porcentaje específico de 30% de mezclado frente al 15%

que se debiera de aplicar, hace que la cantidad consecuente destinada al mezclado pétreo suba también.

Tabla 3.20: Cantidades exactas de los flujos de residuos pertenecientes al mezclado de metales. Fuente: Elaboración propia

Grupo	CER	Descripción	Ton	Total	% Total
Mezclado de metales (17 04 07)	17 04 01	Cobre, Bronce y Latón	0,17	240,59	0,24
	17 04 02	Aluminio	0,17		
	17 04 03	Plomo	5,49		
	17 04 04	Zinc	0,17		
	17 04 05	Hierro y Acero	230,09		
	17 04 06	Estaño	4,33		
	17 04 11	Cables diferentes al 17 04 10	0,17		

Idénticamente a los escenarios anteriores, la tabla 3.20 muestra un porcentaje aproximadamente 10 veces menor al 2,1% que se calculó en primera instancia. La drástica reducción es por tanto consecuencia de la misma causa, la mayoría de las corrientes de residuos no pétreas, las cuales representan los mayores tonelajes, no poseen carácter metálico y por tanto, no pueden ser incorporados al mezclado de metales.

Tabla 3.21: Cantidades exactas de los flujos de residuos pertenecientes al mezclado de los RCD's. Fuente: Elaboración propia

Grupo	CER	Descripción	Ton	Total	% Total
RCD Mezclado (17 09 04)	17 02 01	Madera	600,00	10.969,37	10,97
	17 02 02	Vidrio	75,00		
	17 02 03	Plástico	225,00		
	17 03 02	Material bituminoso	1.500,00		
	17 08 02	Yeso de construcción	30,00		
	17 01 01	Hormigón	288,00		
	17 01 01	Acero	6,26		
		Hormigón reforzado	72,00		
	17 01 02	Ladrillos	1.134,00		
	17 01 03	Azulejos y cerámicos	486,00		
	17 06 04	Material aislante	1.050,00		
	17 04 01	Cobre, Bronce y Latón	0,07		
	17 04 02	Aluminio	0,07		
	17 04 03	Plomo	2,35		
	17 04 04	Zinc	0,07		
	17 04 05	Hierro y Acero	98,61		
	17 04 06	Estaño	1,86		
	17 04 11	Cables diferentes al 17 04 10	0,07		
	Arena, grava y otros agregados		800,00		
	17 05 04	Piedras y tierra	300,00		
15 01 01	Empaques de papel y cartón	300,00			
15 01 06	Embalaje mezclado	4.000,00			

La tabla 3.21 muestra que de la cantidad total de residuos generados aproximadamente un 11% es incorporado al mezclado de los RCD's, frente al 3,3% que nos muestra la tabla 3.5. Precisamente la causa que origina la pronunciada reducción del porcentaje de mezclado de metales, se traduce en el aumento considerable del mezclado de los RCD. Asimismo, el hecho de que las corrientes de residuos "Embalaje mezclado" y los "Empaques de papel y cartón", no puedan ser segregados en la

fuelle y por tanto el 100% de sus cantidades este destinada a este grupo de mezclado, aumentan más todavía este porcentaje. En menor medida, para las corrientes de residuos pétreos, la fracción mezclada de la corriente "Mezcla bituminosa" al no presentar carácter pétreo, solo puede ser incorporada al mezclado de los RCD's.

3.3.4 Escenario 2-B

Finalmente el escenario 2-B se presenta como un escenario donde se establecen políticas de segregado estrictas al igual que el escenario 2-A. Dando lugar a un 85% de segregación sobre la cantidad total de residuos generados en la fuente. Políticas afines a las nuevas normativas europeas de reciclado, que permiten cumplir con los nuevos objetivos fijados y la obtención de productos reciclados de mayor calidad, facilitando la labor de las plantas de reciclaje.

No obstante, en este caso no se fomenta el mezclado de residuos uniforme, donde sólo un 20% del mezclado de los residuos pétreos está destinado al mezclado pétreo y un 30% del mezclado de los residuos no pétreos está destinado al mezclado de metales.

Se define por tanto como un escenario con políticas de alta segregación en fuente, pero sin el incentivo de mezclado de residuos de propiedades similares.

La tabla 3.22 muestra los parámetros del escenario en cuestión, en la que se determinan las cantidades exactas de los diferentes tipos de residuos que formaran las entradas de la planta de reciclaje.

Tabla 3.22: Determinación de las cantidades exactas de los diferentes flujos de residuos para el escenario 2-B. Fuente: Elaboración propia

Grupo	Residuo	Ton	Estado	Ton	Clasificación	Ton	Clasificación	Ton
Pétreo	Hormigón	12.000	Meclado	1.800	Hormigón armado	360	Mezclado Pétreo	72,00
						31,30	RCD Mezclado	6,26
					Hormigón	1.440	Mezclado Pétreo	288,00
						2.040	RCD Mezclado	25,04
					Segregado	10.200	Hormigón armado	177,39
	Hormigón	8.160						
	Piedras	5.000	Mezclado	1.500	Mezclado Pétreo	300		
					RCD Mezclado	1.200		
	Segregado	3.500	Piedras	3.500				
			Ladrillos	37.800	Mezclado	5.670	Mezclado Pétreo	1.134
	RCD Mezclado	4.536						
	Segregado	32.130	Ladrillos	32.130				
			Azulejos y cerámicos	16.200	Mezclado	2.430	Mezclado Pétreo	486
	RCD Mezclado	1.944						
	Segregado	13.770	Azulejos y cerámicos	13.770				
Arena, grava y otros agregados			4.000	Mezclado	4.000	Mezclado Pétreo	800	
	RCD Mezclado	3.200						
Mezcla bituminosa	5.000	Mezclado	1.500	RCD Mezclado	1.500			
				Segregado	3.500	Mezcla bituminosa	3.500	
No pétreo	Cobre, bronce y latón	1,63	Mezclado	0,24	Mezclado de metales	0,07		
					RCD Mezclado	0,17		
	Segregado	1,38	Cobre, bronce y latón	1,38				
			Aluminio	1,63	Mezclado	0,24	Mezclado de metales	0,07
	RCD Mezclado	0,17						
	Segregado	1,38	Aluminio	1,38				
			Plomo	52,25	Mezclado	7,84	Mezclado de metales	2,35
	RCD Mezclado	5,49						
	Segregado	44,41	Plomo	44,41				
			Zinc	1,63	Mezclado	0,24	Mezclado de metales	0,07
	RCD Mezclado	0,17						
	Segregado	1,38	Zinc	1,38				
			Hierro y acero	2.400	Mezclado	328,70	Mezclado de metales	98,61
	RCD Mezclado	230,09						
	Acero (H.A)	208,70	Segregado	1.862,61	Hierro y acero	1.862,61		
					Estaño	41,25	Mezclado	6,19
	RCD Mezclado	4,33						
	Segregado	35,06	Estaño	35,06				
			Cables	1,63	Mezclado	0,24	Mezclado de metales	0,07
	RCD Mezclado	0,17						
	Segregado	1,38	Cables	1,38				
			Madera	4.000	Mezclado	600	RCD Mezclado	600
	Segregado	3.400					Madera	3.400
	Vidrio	500	Mezclado	75	RCD Mezclado	75		
Segregado					425	Vidrio	425	
Plástico	1.500	Mezclado	225	RCD Mezclado	225			
				Segregado	1.275	Plástico	1.275	
Basayo en yeso	200	Mezclado	30	RCD Mezclado	30			
				Segregado	170	Basado en yeso	170	
Material aislante	7.000	Mezclado	1.050	RCD Mezclado	1.050			
				Segregado	5.950	Material aislante	5.950	
Embalaje mezclado	4.000	Mezclado	4.000	RCD Mezclado	4.000			
Empaques de papel y cartón	300	Mezclado	300	RCD Mezclado	300			
Total						100.000		

De la tabla 3.22, desarrollada en la página anterior, se puede determinar las cantidades exactas de cada flujo de residuos, se encuentren en forma segregada o mezclada, y finalmente obtener los porcentajes reales de mezclado y segregado, y de las diferentes agrupaciones de mezclado: mezclado pétreo, mezclado de metales y los RCD's mezclados.

Tabla 3.23: Cantidades exactas de los flujos de residuos segregados. Fuente: Elaboración propia

Grupo	CER	Descripción	Ton	Total	% Total
Segregado	17 01 01	Hormigón	8.160,00	76.445	76,45
	17 01 01	Hormigón reforzado	2.040,00		
		Acero	177,39		
	17 01 02	Ladrillos	32.130,00		
	17 01 03	Azulejos y cerámicos	13.770,00		
	17 02 01	Madera	3.400,00		
	17 02 02	Vidrio	425,00		
	17 02 03	Plástico	1.275,00		
	17 03 02	Mezcla bituminosa diferente a 17 03 01	3.500,00		
	17 04 01	Cobre, Bronce y Latón	1,38		
	17 04 02	Aluminio	1,38		
	17 04 03	Plomo	44,41		
	17 04 04	Zinc	1,38		
	17 04 05	Hierro y Acero	1.862,61		
	17 04 06	Estaño	35,06		
	17 04 11	Cables diferentes al 17 04 10	1,38		
	17 05 04	Piedras y tierra	3.500,00		
	17 08 02	Materiales de construcción basados en yeso	170,00		
17 06 04	Material aislante	5.950,00			

Para la tabla 3.23, las políticas de segregación en fuente son las mismas que en el escenario 2-A, es por ello que resulta el mismo porcentaje de segregado. Como se menciona anteriormente, los porcentajes específicos de segregación de 70% de las corrientes “Materiales bituminosos” y “Piedras Y tierra” hacen que el porcentaje de segregación total final se vea reducido. Adicionalmente, la presencia de corrientes de residuos como el “Embalaje mezclado” o la “Arena, grava y otros agregados” disminuyen el porcentaje total de segregación.

Tabla 3.24: Cantidades exactas de los flujos de residuos pertenecientes al mezclado pétreo. Fuente: Elaboración propia

Grupo	CER	Descripción	Ton	Total	% Total
Mezclado pétreo (17 01 07)	17 01 01	Hormigón	288,00	3.086,26	3,09
	17 01 01	Acero	6,26		
		Hormigón reforzado	72,00		
	17 01 02	Ladrillos	1.134,00		
	17 01 03	Azulejos y cerámicos	486,00		
		Arena, grava y otros agregados	800,00		
17 05 04	Piedras y tierra	300,00			

Analizando la tabla 3.24 se establece un 3,09% de residuos que forman parte del mezclado pétreo. Ahora bien, la ligera diferencia que presenta frente al 2,4% teórico establecido es causa de que la corriente de “Piedras y tierra” presenta un porcentaje específico de 30% de mezclado en vez del 15% establecido para el escenario. Además, la corriente de “Arena, grava y otros agregados” al

considerarse en su totalidad como mezcla, también aumentara la cantidad total del mezclado pétreo. El porcentaje no muestra mucha divergencia debido a que la “Mezcla bituminosa” solo puede ser destinada al mezclado de los RCD's, contrarrestando las anteriores subidas.

Tabla 3.25: Cantidades exactas de los flujos de residuos pertenecientes al mezclado de metales. Fuente: Elaboración propia

Grupo	CER	Descripción	Ton	Total	% Total
Mezclado de metales (17 04 07)	17 04 01	Cobre, Bronce y Latón	0,07	103,11	0,10
	17 04 02	Aluminio	0,07		
	17 04 03	Plomo	2,35		
	17 04 04	Zinc	0,07		
	17 04 05	Hierro y acero	98,61		
	17 04 06	Estaño	1,86		
	17 04 11	Cables diferentes al 17 04 10	0,07		

Al igual que en el resto de los escenarios analizados, en la tabla 3.25 correspondiente al mezclado de metales, se presenta una reducción de entorno a la décima parte del porcentaje teórico de 0,9% que se muestra en la tabla 3.6, como consecuencia de la presencia de residuos de carácter no metálico.

Tabla 3.26: Cantidades exactas de los flujos de residuos pertenecientes al mezclado de los RCD's. Fuente: Elaboración propia

Grupo	CER	Descripción	Ton	Total	% Total
RCD Mezclado (17 09 04)	17 02 01	Madera	600,00	20.365,63	20,37
	17 02 02	Vidrio	75,00		
	17 02 03	Plástico	225,00		
	17 03 02	Material bituminoso	1.500,00		
	17 08 02	Yeso de construcción	30,00		
	17 01 01	Hormigón	1.152,00		
	17 01 01	Acero	25,04		
		Hormigón reforzado	288,00		
	17 01 02	Ladrillos	4.536,00		
	17 01 03	Azulejos y cerámicos	1.944,00		
	17 06 04	Material aislante	1.050,00		
	17 04 01	Cobre, Bronce y Latón	0,17		
	17 04 02	Aluminio	0,17		
	17 04 03	Plomo	5,49		
	17 04 04	Zinc	0,17		
	17 04 05	Hierro y Acero	230,09		
	17 04 06	Estaño	4,33		
	17 04 11	Cables diferentes al 17 04 10	0,17		
		Arena, grava y otros agregados	3.200,00		
	17 05 04	Piedras y tierra	1.200,00		
15 01 01	Empaques de papel y cartón	300,00			
15 01 06	Embalaje mezclado	4.000,00			

Para este caso (tabla 3.26), se determina un porcentaje notoriamente mayor al 11,7% que en teoría se debería de obtener. Las razones son idénticas a las especificadas en los anteriores escenarios. La disminución de los porcentajes de segregado y de mezclado de metales se reflejan en el aumento consecuente del porcentaje del mezclado de los RCD's.

De esta forma, quedan determinadas las entradas a planta para cada uno de los escenarios presentados, teniendo como referencia la generación total de 100.000 toneladas de residuos anuales en la región de Cantabria que establecen los datos recogidos estos últimos años.

3.4 ÁREA BAJO ESTUDIO: SANTANDER Y LIMÍTROFES

Si bien en primera instancia se asumió una producción total anual de cien mil toneladas de los Residuos de Construcción y Demolición anuales para las entradas de las plantas de reciclaje, correspondientes a toda la Comunidad Autónoma de Cantabria, este estudio se centra en las entradas a planta basadas en la generación de residuos de las municipalidades localizadas en el área de mayor generación de Cantabria, Santander y limítrofes, el cual se corresponde con el área 1.

La siguiente tabla 3.27 muestra la generación total de residuos correspondiente a toda la región de Cantabria, dividida por las diversas políticas de segregado y mezclado de los escenarios desarrollados anteriormente, los cuales conforman las entradas de las plantas de reciclaje.

Tabla 3.27: Resumen de las entradas a planta para toda la región de Cantabria. Fuente: Elaboración propia

Grupo	CER	Descripción	Escenario 1		Escenario 2	
			Escenario 1-A (Ton)	Escenario 1-B (Ton)	Escenario 2-A (Ton)	Escenario 2-B (Ton)
Segregado	17 01 01	Hormigón	1.080,00	1.080,00	8.160,00	8.160,00
	17 01 01	Hormigón armado	782,61	782,61	2.217,39	2.217,39
	17 01 02	Ladrillos	5.670,00	5.670,00	32.130,00	32.130,00
	17 01 03	Azulejos y ceramicos	2.430,00	2.430,00	13.770,00	13.770,00
	17 02 01	Madera	600,00	600,00	3.400,00	3.400,00
	17 02 02	Vidrio	75,00	75,00	425,00	425,00
	17 02 03	Plastico	225,00	225,00	1.275,00	1.275,00
	17 03 02	Material bituminoso	3.500,00	3.500,00	3.500,00	3.500,00
	17 04 01	Cobre, bronce, latón	0,24	0,24	1,38	1,38
	17 04 02	Aluminio	0,24	0,24	1,38	1,38
	17 04 03	Plomo	7,84	7,84	44,41	44,41
	17 04 04	Zinc	0,24	0,24	1,38	1,38
	17 04 05	Hierro y acero	297,39	297,39	1.862,61	1.862,61
	17 04 06	Estaño	6,19	6,19	35,06	35,06
	17 04 11	Cables	0,24	0,24	1,38	1,38
	17 05 04	Piedras y tierra	3.500,00	3.500,00	3.500,00	3.500,00
	17 08 02	Materiales de construcción basados en yeso	30,00	30,00	170,00	170,00
	17 06 04	Material aislante	1.050,00	1.050,00	5.950,00	5.950,00
	Mezclado	17 01 07	Mezclado pétreo	49.563,83	12.390,96	12.345,04
17 04 07		Mezclado de metales	1.239,15	531,07	240,59	103,11
17 09 04		RCD mezclado	29.942,02	67.822,98	10.969,37	20.365,63
Total			100.000	100.000	100.000	100.000

Se identificaron cinco áreas potenciales en Cantabria en base a las especificaciones técnicas indicadas en el Plan Sectorial de los RCD's de Cantabria (BOC,2010a) para alcanzar una óptima gestión de residuos. Las cinco áreas en las que Cantabria es dividida son las siguientes: (i) Área I: Santander, envuelve la capital de la provincia y las zonas limítrofes, se trata de un área con una alta densidad de

población y que dispone de todo tipo de infraestructuras;(ii) Área II: Besaya, con un alto nivel de actividad industrial y donde se localiza la segunda ciudad más importante de la provincia; (iii) Área 3: Área del este, un área con un alto nivel de turismo y con una extensión considerable de terrenos de gran valor ambiental; (iv) Área IV: Área del sur, con una baja densidad de población rodeada de altas montañas, y con un clima continental; (v) Área V: Área del oeste, también rodeada de altas montañas y con el nivel más reducido de densidad de población, posee un gran valor paisajístico. Como se puede ver, cada área presenta diferentes características socio-económicas y consiguientemente, diferentes formas de generación de residuos.

La producción de RCD's para el área 1 se estima entorno a la mitad del total generado por la región de Cantabria entera, aproximadamente 50 mil toneladas. Para obtener las entradas a planta de esta área en la que se centra el estudio, se necesitan considerar las municipalidades agrupadas por el área así como la población que habita en ellas y el potencial de generación de residuos de las mismas. La figura 3.1 representada en la página 47 permite identificar el área 1 y las municipalidades involucradas en su interior.

En la tabla 3.28 se recogen las municipalidades agrupadas y el número de habitantes que viven en dichas municipalidades, recogidos por el Instituto Nacional de Estadística en el año 2012, para poder así finalmente estimar la generación de los RCD's del área en cuestión.

Tabla 3.28: Población y generación de residuos de las municipalidades que conforman el Área 1. Fuente: Elaboración propia

Área 1	Numeración	Municipalidades	Hab 2012	% Población	Generación (ton)
Santander y límitrofes	1	Sandander	178.465	30,05	30.051,65
	3	Camargo	31.594	5,32	5.320,10
	5	Pielagos	23.211	3,91	3.908,49
	6	El Astillero	17.938	3,02	3.020,57
	11	Santa Cruz de Bezana	12.154	2,05	2.046,61
	17	Medio Cudeyo	7.571	1,27	1.274,88
	18	Marina de Cudeyo	5.278	0,89	888,76
	20	Ribamontán al mar	4.496	0,76	757,08
	27	Villaescusa	3.755	0,63	632,30
	35	Liérganes	2.441	0,41	411,04
	59	Penagos	1.929	0,32	324,82
Total Área 1			288.832	48,64	48.636,30
Total Cantabria			593.861	100	100.000

Se puede verificar tras analizar la tabla que la generación de residuos del Área 1 alcanza las 48,64 toneladas, alrededor de la mitad de la totalidad de generación de Cantabria. Finalmente para determinar las entradas en planta del Área en la que se centra el estudio, se multiplica la fracción unitaria del porcentaje de población total del Área 1 sobre cada una de las entradas de los diversos escenarios y corrientes de residuos contenidos en la tabla 3.27 dando lugar a la tabla 3.29. Además de las entradas se incluyen las cantidades totales que son destinadas a la planta de reciclaje o al manager de residuos, para los diferentes escenarios.

Tabla 3.29: Resumen de las entradas a planta para el Área 1: Santander y limítrofes. Fuente: Elaboración propia

Grupo	CER	Descripción	Escenario 1		Escenario 2	
			Escenario 1-A (Ton)	Escenario 1-B (Ton)	Escenario 2-A (Ton)	Escenario 2-B (Ton)
Segregado	17 01 01	Hormigón	525,27	525,27	3.968,72	3.968,72
	17 01 01	Hormigón armado	380,63	380,63	1.078,46	1.078,46
	17 01 02	Ladrillos	2.757,68	2.757,68	15.626,84	15.626,84
	17 01 03	Azulejos y cerámicos	1.181,86	1.181,86	6.697,22	6.697,22
	17 02 01	Madera	291,82	291,82	1.653,63	1.653,63
	17 02 02	Vidrio	36,48	36,48	206,70	206,70
	17 02 03	Plástico	109,43	109,43	620,11	620,11
	17 03 02	Material bituminoso	1.702,27	1.702,27	1.702,27	1.702,27
	17 04 01	Cobre, bronce, latón	0,12	0,12	0,67	0,67
	17 04 02	Aluminio	0,12	0,12	0,67	0,67
	17 04 03	Plomo	3,81	3,81	21,60	21,60
	17 04 04	Zinc	0,12	0,12	0,67	0,67
	17 04 05	Hierro y acero	144,64	144,64	905,90	905,90
	17 04 06	Estaño	3,01	3,01	17,05	17,05
	17 04 11	Cables	0,12	0,12	0,67	0,67
	17 05 04	Piedras y tierra	1.702,27	1.702,27	1.702,27	1.702,27
	17 08 02	Materiales de construcción basados en yeso	14,59	14,59	82,68	82,68
	17 06 04	Material aislante	510,68	510,68	2.893,86	2.893,86
Mezclado	17 01 07	Mezclado pétreo	24.106,01	6.026,50	6.004,17	1.501,04
	17 04 07	Mezclado de metales	602,68	258,29	117,01	50,15
	17 09 04	RCD mezclado	14.562,69	32.986,59	5.335,10	9.905,09
Total planta de reciclaje			47.845,21	48.189,60	47.365,34	47.432,20
Total manager de residuos			791,09	446,70	1.270,96	1.204,10
Total			48.636	48.636	48.636	48.636

Se ha incluido un factor de seguridad mínimo del 15%, obteniendo una capacidad total para la plantas ubicadas en esta área de 60,000 ton / año.

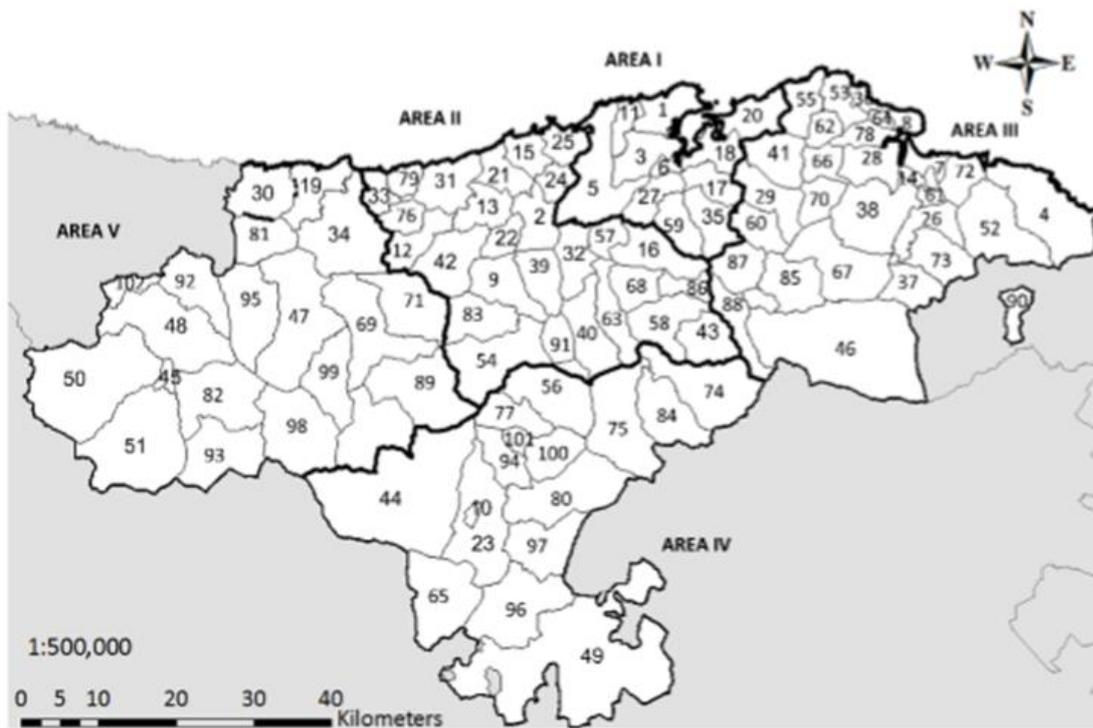


Figura 3.1: Áreas y municipalidades de la provincia de Cantabria. Fuente: Elena Dosal, (2015)

1-Santander	3-Camargo	5-Piélagos	6-El Astillero
11-Santa Cruz de Bezana	17-Medio Cudeyo	18-Marina de Cudeyo	20-Ribamontán al mar
27-Villaescusa	35-Liérganes	59-Penagos	

3.5 MANAGERS DE LOS RCD'S

Como se ha podido ver anteriormente, los RCD's consisten en diferentes corrientes de residuos, y se pueden clasificar en segregados o mezclados. Sin embargo, no todas las corrientes de residuos son destinadas a la planta de reciclaje, muchas de ellas son vendidas directamente a los managers de residuos dependiendo del valor del material y los subsecuentes procesos requeridos. En la tabla 3.30 se puede observar el destino de cada una de las corrientes de residuos analizadas en este estudio (Cedex, 2010).

Tabla 3.30: Destino de las diferentes corrientes de residuos que conforman los RCD. Fuente: Elaboración propia

	CER	Descripción	Destino
Segregado	17 01 01	Hormigón	Planta de reciclaje
	17 01 01	Hormigón armado	Planta de reciclaje
	17 01 02	Ladrillos	Planta de reciclaje
	17 01 03	Azulejos y ceramicos	Planta de reciclaje
	17 02 01	Madera	Planta de reciclaje
	17 02 02	Vidrio	Manager de residuos
	17 02 03	Plastico	Planta de reciclaje
	17 03 02	Material bituminoso	Planta de reciclaje
	17 04 01	Cobre, bronce, latón	Manager de residuos
	17 04 02	Aluminio	Manager de residuos
	17 04 03	Plomo	Manager de residuos
	17 04 04	Zinc	Manager de residuos
	17 04 05	Hierro y acero	Manager de residuos
	17 04 06	Estaño	Manager de residuos
	17 04 11	Cables	Manager de residuos
	17 05 04	Piedras y tierra	Planta de reciclaje
	17 08 02	Materiales de construcción basados en yeso	Planta de reciclaje
17 06 04	Material aislante	Planta de reciclaje	
Mezclado	17 01 07	Mezclado pétreo	Planta de reciclaje
	17 04 07	Mezclado de metales	Manager de residuos
	17 09 04	RCD mezclado	Planta de reciclaje

Básicamente las corrientes de residuos metálicas y de vidrio son vendidas directamente debido a su alto valor y los beneficios económicos asociados en el caso de los metales, y por su puesto por su potencial de reciclamiento. En las plantas de reciclaje de los residuos de construcción y demolición, la mayoría de las corrientes de residuos son destinadas a la producción de productos reciclados, pero otros materiales, como la madera y el plástico, son clasificados por tipos, almacenados y finalmente vendidos a otros managers de residuos para su posterior tratamiento.

3.6 TIPOS DE PLANTA

Una vez se han desarrollado los diferentes escenarios y determinado las diferentes composiciones de los residuos de construcción y demolición, es hora de presentar los diferentes tipos de plantas a analizar en este trabajo. No obstante, antes de adentrarse en el proceso de la planta es necesario hacer hincapié en el tipo de tratamiento de los diferentes residuos, así como en la presentación de la maquinaria existente en este tipo de plantas.

3.6.1 Tipo de tratamiento en planta para las corrientes de los RCD'S

Si bien los diferentes tipos de planta a analizar disponen de procesos de tratamiento y maquinaria diferente, algunas corrientes de residuos recibirán el mismo tipo de tratamiento independientemente del tipo de planta. Se debe tener en cuenta que algunas corrientes de residuos son perjudiciales para la calidad de los productos reciclados que obtenemos a la salida de planta o también pueden dañar la maquinaria de la planta de reciclaje, por lo que habrá que tratarlos de forma manual por separado o almacenarlos directamente.

Estos tratamientos manuales y de directo almacenados solo pueden aplicarse sobre corrientes de residuos que vienen segregadas y son fáciles de identificar. Aquellas corrientes de residuos que forman la entrada a la planta en forma de mezclado de los RCD's o de mezclado pétreo son siempre destinadas al proceso de la planta para su tratamiento.

En la tabla 3.31 se puede ver claramente que las corrientes segregadas son casi siempre almacenadas directamente en contenedores o tratadas manualmente con la excepción del "Hormigón", "Ladrillos" y los "Azulejos y cerámicos", que son tratados en la planta de reciclaje al ser los principales componentes de los productos reciclados. Otros materiales que se obtienen del tratamiento manual, como es el caso del hormigón que se extrae del hormigón armado en el tipo de planta básica, son reintroducidos al proceso de la planta de reciclaje. Entre los que son almacenados directamente, se diferencian aquellos que son destinados a la venta por su valor o los que simplemente son evitados en el proceso porque perjudican la calidad de los productos reciclados finales.

En la tabla 3.31 se describe claramente el tipo de tratamiento que recibirá cada corriente de residuo en función del tipo de planta.

Tabla 3.31: Tipo de tratamiento de los residuos de construcción y demolición en función del tipo de planta. Fuente:

Elaboración propia

Grupo	CER	Descripción	Tipo de planta	Tipo de tratamiento	Descripción del tratamiento
Segregados	17 01 01	Hormigón	Ambas	Proceso	Se tritura hasta obtener un tamaño de partícula adecuado.
	17 01 01	Hormigón reforzado	Básica	Manual	El 30% del hormigón y del acero se recupera manualmente, lo restante forma los bloques de hormigón armado. El acero recuperado se vende directamente, mientras que el hormigón recuperado es triturado hasta obtener un tamaño de partícula adecuado.
			Avanzada	Proceso	Se recupera la totalidad del hormigón y acero, siguiendo un proceso de triturado adecuado.
	17 01 02	Ladrillos	Ambas	Proceso	Se tritura hasta obtener un tamaño de partícula adecuado.
	17 01 03	Azulejos y Ceramicos	Ambas	Proceso	Se tritura hasta obtener un tamaño de partícula adecuado.
	17 02 01	Madera	Ambas	Almacenado	Se almacena directamente para su posterior venta.
	17 02 03	Plástico	Ambas	Manual/Almacenado	El PVC es separado del resto del plástico, para el almacenado y posterior venta. Se considera que el 47% del plástico es PVC.
	17 03 02	Material bituminoso	Ambas	Almacenado	Se almacena directamente para su posterior venta.
	17 05 04	Piedras y tierra	Ambas	Almacenado	Posee una alta cantidad de materia orgánica que otorga malas propiedades al producto reciclado, por lo que es almacenado directamente sin pasar por el proceso.
	17 08 02	Yeso para construcción	Ambas	Manual/Almacenado	Otorga malas propiedades a los productos reciclados por lo que es separado y almacenado sin pasar por el proceso.
17 06 04	Material aislante	Ambas	Almacenado	Posee propiedades perjudiciales para el producto reciclado, por lo que es almacenado directamente sin pasar por el proceso.	
Mezclados	17 01 07	Mezclado Pétreo	Ambas	Proceso	Se tritura hasta obtener un tamaño de partícula adecuado mientras se le van extrayendo los materiales valiosos o los que poseen propiedades perjudiciales para el producto reciclado.
	17 09 04	RCD Mezclado	Ambas	Proceso	Se tritura hasta obtener un tamaño de partícula adecuado mientras se le van extrayendo los materiales valiosos o los que poseen propiedades perjudiciales para el producto reciclado.

3.6.2 Presentación y descripción de la maquinaria de las plantas de reciclaje

La tecnología y la maquinaria empleada en las plantas de reciclaje de los RCD's es un factor determinante a la hora de obtener productos reciclados de calidad. El empleo de una maquinaria inadecuada puede conllevar a obtener productos reciclados no deseados, o dañar y poner en peligro la infraestructura de la planta. Es por ello que las plantas deben poseer un proceso de reciclado, donde los distintos tipos de residuos sean clasificados debidamente y posteriormente tratados con una maquinaria adecuada y específica.

En este trabajo, se analizan dos diferentes tipos de plantas de reciclaje. Por un lado, se analiza el proceso de una planta de reciclaje con altas prestaciones, en la cual se dispone de una maquinaria variada y actualizada, y de un proceso de reciclaje complejo que permite obtener productos reciclados de alta calidad, denominada como la planta avanzada. Y por otro lado, se analizara el proceso de una planta de reciclaje convencional, en la que se hace uso de una maquinaria básica, y se generan productos reciclados de menor calidad, denominada como la planta básica.

En primer lugar, se definirán la maquinaria y el funcionamiento de la misma, para posteriormente elaborar el diagrama del proceso de cada tipo de planta.

La clasificación de los equipos de tratamiento de los residuos de construcción y demolición se puede dividir en tres grupos dependiendo de su principal función:

a) Almacenado: el almacenado de los residuos de construcción juega un papel muy importante en las plantas de reciclaje. Se diferencia el almacenado intermedio, el cual se centra en el almacenado temporal de materiales que siguen el transcurso del proceso y el almacenado permanente, que puede ser tanto para almacenar residuos desechados, materiales valiosos que han sido extraídos o para el almacenado final de los productos reciclados. Para el almacenado intermedio se emplean tolvas y para los permanentes contenedores.

b) Clasificado: en cuanto al clasificado, se distinguen tres tipos de clasificado.

- El clasificado manual, que consiste en la extracción de los materiales largos mediante el empleo de trabajadores en la cabina de clasificado manual o el uso de la grúa de gancho.
- El clasificado por tamizado, que consiste en usar diferentes tipos de cribas para clasificar los materiales por tamaño de partícula.
- Y el clasificado mecánico, cuyo fin principal es la separación de materiales perjudiciales del producto reciclado final, haciéndose uso de las propiedades de los materiales, como las propiedades magnéticas o la densidad.

c) Triturado: consiste en triturar las partículas de los residuos a un tamaño óptimo para obtener productos reciclados con una distribución de tamaño de partícula definida.

En la tabla 3.32, se puede observar la maquinaria empleada en cada planta de reciclaje y su función principal.

Tabla 3.32: Principales equipos utilizados en las distintas plantas de reciclaje. Fuente: Elaboración propia

Función	Función específica	Equipo	Tipo de planta	
Almacenado	Almacenado intermedio	Tolva	Ambas	
	Almacenado permanente	Contenedor	Ambas	
Clasificado	Clasificado manual	Extracción de materiales largos	Cabina de clasificado manual	
			Grúa con gancho	
	Clasificado por tamizado	Clasificado por tamaño	Criba vibratoria	Ambas
			Criba rotativa	Básica
	Clasificado mecánico	Separación por propiedades	Imán sobre cinta transportadora	Ambas
			Corrientes Eddy	Avanzada
Tamiz de flujo de aire			Ambas	
Espiral			Avanzada	
Triturado	Reducción del tamaño de partícula	Sacudidora por humedad	Avanzada	
		Trituradora de mandíbula	Básica	
		Trituradora por impacto	Avanzada	

Como es lógico, muchos de los equipos se utilizan en ambos tipos de planta. A continuación se procede a la explicación del funcionamiento de cada una de las máquinas, y se determinan parámetros a tener en cuenta durante el proceso de reciclaje.

a) La maquinaria de almacenado está constituida por las tolvas y los contenedores, y se emplean en ambos tipos de planta.

a.1.1) Tolva: la función principal de la tolva reside en el almacenaje temporal de los residuos que siguen el transcurso del proceso de la planta de reciclaje. Es un dispositivo similar a un embudo de gran tamaño destinado al depósito y canalización de materiales granulares o pulverizados, entre otros.



Figura 3.2: Tolva. Fuente: Genielift

a.1.2) Contenedor: el contenedor es un recipiente cuadrado donde se almacenan los materiales segregados que no siguen el proceso, materiales no deseados que son extraídos del árido que forma el producto reciclado o para el almacenamiento final del producto reciclado. Pueden estar fabricadas con materiales de distintas propiedades dependiendo del tipo de material que almacenen.



Figura 3.3: Contenedor estándar. Fuente: Tegui contenedores

b.1) El clasificado manual se procede mediante la cabina de clasificado manual y la grúa de gancho:

b.1.1) Cabina de clasificado manual: en la cabina de clasificado manual se separan los materiales largos de la corriente principal mediante la percepción visual de los trabajadores. Principalmente, materiales perjudiciales para la calidad final del producto reciclado o materiales de valor que serán destinados a la venta. Se estima que el 30% de la fracción larga de metales, plásticos, papel, cartón y madera son extraídos de la corriente principal en este proceso (Coelho and De Brito, 2013a). Al depender de la percepción visual de los trabajadores, este porcentaje solo se aplicara sobre la fracción larga de dichos materiales, siendo los materiales con un tamaño de partícula menor imperceptibles para la extracción manual.

b.1.2) Grúa de gancho: la grúa de gancho se emplea en el área de descarga de los RCD para una primera clasificación. Se utiliza para la extracción de materiales largos que deben de ser separados de la corriente principal. Pueden ser escombros de hormigón que tienen que ser destinados a la trituradora directamente, material de valor para la venta o materiales que perjudican la calidad del producto reciclado. Se considera que el 100% de los materiales excesivamente largos son extraídos en este proceso.



Figura 3.4: Grúa de gancho extractor. Fuente: Hengwangjx

b.2) El segundo proceso de clasificado es el tamizado y consiste en la separación por tamaño de partícula, asumiéndose una separación perfecta en este proceso.

b.2.1) Criba vibratoria: la criba vibratoria es una maquina compuesta por diferentes niveles de cintas transportadoras agujereadas y dispuestas en pendiente. Mediante la vibración constante de las cintas se consigue tamizar las partículas más pequeñas de la corriente principal. Al estar las cintas transportadoras perforadas con tamaño distinto, se consiguen tamizar materiales con un tamaño de partícula menor a 4mm, en dos lotes específicos, una fracción fina, con un tamaño de partícula entre 0.063 y 4mm, y otra fracción denominada todas en una, con un tamaño menor a 2mm (Eatherley and Slater, 2009).



Figura 3.5: Criba vibratoria. Fuente: Jiangxi Shicheng

b.2.2) Criba rotativa: la criba rotatoria es una máquina que consta de un tambor agujereado inclinado, el cual combina la fuerza centrífuga generada por la rotación del tambor para tamizar las partículas de tamaño pequeño a través de los agujeros del tambor, con la fuerza de gravedad que desplaza la corriente principal por el interior del tambor. El tambor consta de perforaciones de tamaño distinto en diferentes etapas longitudinales de tal forma que es capaz de separar materiales con un tamaño de partícula menor de 4mm, en dos lotes específicos al igual que la criba vibratoria, la fracción fina y la fracción todas en una (Pinellas County, 2009).



Figura 3.6: Criba rotativa. Fuente: Xinhai Mining

b.3) El último método de clasificación es el clasificado mecánico, y hace uso de las propiedades de ciertos materiales para separarlos de la corriente principal.

b.3.1) Imán sobre cinta transportadora: uno de los métodos más conocidos del clasificado mecánico es la separación magnética. Se lleva a cabo mediante un imán en banda que se coloca transversalmente o longitudinalmente sobre la cinta transportadora a una distancia de trabajo fija. Cuando la corriente principal de residuos se traslada a través de la cinta transportadora, la fuerza de atracción magnética que ejerce el imán es capaz de extraer los materiales férricos, y una vez abandonan el área del campo magnético, caen automáticamente en contenedores específicos. Se considera que el 70% de los materiales férricos son extraídos de la corriente principal mediante este método, debido a que el rendimiento de la máquina no es perfecto y está condicionado por el tamaño de los materiales extraídos así como por la potencia de la misma (Coelho and De Brito, 2013a).



Figura 3.7: Imán sobre cinta transportadora.
Fuente: jakesmagnet

b.3.2) Corrientes de Foucault: otro de los métodos utilizados para separar los metales de la corriente principal utiliza las corrientes de Foucault. Consiste en el uso de un rotor magnético con polaridad alterna, que gira rápidamente dentro de un tambor no metálico accionado por una cinta transportadora. El campo magnético alterno que se origina crea corrientes parásitas en las partículas de metales no férricos repeliéndolos hacia fuera del transportador.

Mientras que la corriente principal sigue el transcurso de la cinta transportadora, los metales no férricos son destinados a una caja separadora para su clasificación. Al igual que el imán sobre cinta transportadora, se considera que este método es capaz de extraer el 70% de los metales no férricos de la corriente principal (Coelho and De Brito, 2013a).



Figura 3.8: Separador por corrientes de Foucault. Fuente: Bunting magnetics Europe

La última propiedad utilizada para clasificar materiales en la clasificación mecánica es la densidad. Tres diferentes tipos de equipos hacen uso de esta propiedad para su separación.

b.3.3) Tamiz de flujo de aire: Los tamices de aire funcionan sólo con residuos cuyo tamaño de partícula es mayor a 4mm y en una atmosfera de secado absoluto. El principio de este equipo reside en el empleo de ventiladores que soplan aire a través del flujo de residuos para extraer materiales de baja densidad como el papel, cartón, plásticos y madera. Se considera un 80% de separación, debido a que las partículas de los materiales mencionados son susceptibles a quedarse atrapados entre otros tipos de residuos (Elena Dosal, 2015).



Figura 3.9: Máquina de tamizado por flujo de aire.
Fuente: scheuch

b.3.4) Espiral: los espirales se emplean en la planta tipo avanzada para el separado húmedo por densidad de los residuos cuyo tamaño de partícula es menor a los 4mm. Su objetivo principal es separar las impurezas de la fracción fina de la corriente principal. La separación se efectúa en un 10% materiales cuya densidad mayor a las 2.000 kg/m^3 , en su mayoría materiales de carácter pétreo, y en un 100% para materiales cuya densidad es igual o menor a las 2.000 kg/m^3 , formando el lodo de salida. La otra salida la conforma la fracción fina del producto reciclado libre de impurezas (Elena Dosal, 2015).



Figura 3.10: Espiral. Fuente: Alibaba

b.3.5) Sacudidora por humedad: esta máquina está destinada al separado por densidad de la fracción gruesa en la planta de reciclaje tipo avanzada. El equipo se utiliza dos veces. En la primera fase se utiliza para separar el hormigón del resto de materiales que forman la mezcla, obteniendo dos corrientes de salida, el hormigón que es reintroducido en la máquina y una corriente de residuos mezclados con alto porcentaje de agregados cerámicos. En la segunda fase, se separa el yeso del hormigón que es reintroducido, se requieren condiciones especiales para llevar a cabo esta separación. Para el separado del hormigón y separado posterior del yeso, se aplican porcentajes específicos de separado en función de la densidad del material. Estos porcentajes se especifican más adelante en los procesos de las plantas.



Figura 3.11: Sacudidora por humedad. Fuente: Snoby separation systems

c) Finalmente, la maquinaria de triturado está compuesta por la trituradora de mandíbula y la trituradora por impacto.

c.1.1) Trituradora de mandíbula: la trituradora de mandíbula se emplea en la planta de reciclaje tipo básica, para la reducción del tamaño de partícula de los residuos de construcción y demolición. Su funcionamiento reside en un motor eléctrico que hace rotar a las poleas que conducen el eje excéntrico, haciendo que la mandíbula móvil se acerque y aleje periódicamente a la mandíbula fija, realizando múltiples trituraciones de extrusión, frotación y enroscamiento. De esta forma el material es triturado y se disminuye el tamaño de partícula, para caer gradualmente, hasta que finalmente es evacuado por la salida. En aplicaciones de los RCD's, las trituradoras de mandíbula son las más utilizadas debido a su fácil operación, bajo mantenimiento y grandes aperturas de entrada.



Figura 3.12: Trituradora de mandíbula.
Fuente: Yifan Machinery

c.1.2) Trituradora por impacto: la trituradora por impacto se utiliza en la planta de reciclaje tipo avanzada, para la reducción del tamaño de partícula de los residuos de construcción y demolición. Consta de un rotor unido a varios martillos que giran conjuntamente a gran velocidad, de tal forma que al introducir los residuos son triturados por el impacto de los martillos y lanzados a la placa de impacto, para ser devueltos otra vez a zona de impacto. El proceso se repite hasta que la descarga de los productos finales corresponde con la granularidad adecuada.



Figura 3.13: Trituradora por impacto. Fuente:
San Juan reciclados y demoliciones

4 RESULTADOS

4.1 PROCESO Y SALIDAS DE LA PLANTA DE RECICLAJE BÁSICA

Una vez determinados los tipos de tratamientos que reciben los Residuos de Construcción y Demolición a la entrada de la planta de reciclaje y presentada la maquinaria de la que disponen ambas plantas de reciclaje, se puede proceder al desarrollo del diagrama de flujo del proceso del tipo de planta básica. En el análisis del proceso, se hace uso de las cantidades de entrada a planta determinadas en el Escenario 1-A, para finalmente llegar al balance de masas de las salidas de la planta. Los balances de masas de los demás escenarios se determinaran junto a las del escenario 1-A, sin el análisis previo del proceso de planta completo, ya que siguen procedimientos idénticos que difieren únicamente en los valores de entrada.

Como se menciona anteriormente, la planta de reciclaje básica es una planta convencional, en la se hace uso de una maquinaria básica y se generan productos reciclados de menor calidad que en la planta avanzada, por lo que dispone de un proceso de reciclaje menos complejo. Está basada en instalaciones reales de plantas de reciclaje que operan en Cantabria y el equipo del que dispone es muy similar al de las plantas móviles.

A continuación, en el gráfico 4.1, se representa el proceso de la planta de reciclaje tipo básica mediante un diagrama de flujo y posteriormente se procede al desarrollo del proceso con las cantidades de entrada del escenario 1-A, un escenario que sigue las políticas de segregación en origen convencionales pero que fomenta el mezclado uniforme de los residuos.

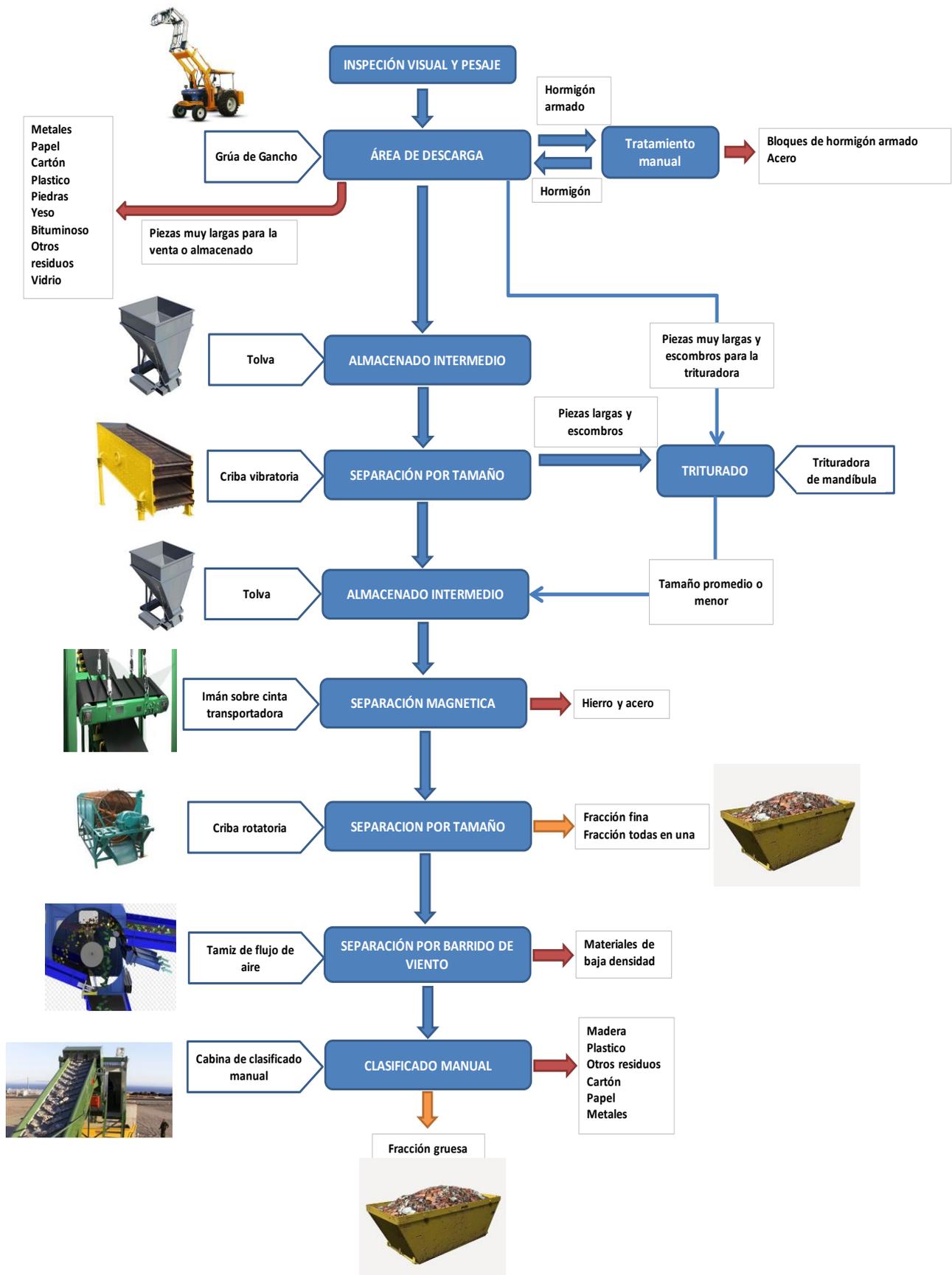


Gráfico 4.1: Diagrama de flujo del proceso de planta tipo básica. Fuente: Elaboración propia

4.1.1 Inspección visual y pesaje

El primer paso antes de iniciar con el proceso de la planta y poner la maquinaria en marcha, consiste en la inspección visual y el pesaje de los RCD's que forman las entradas de la planta.

Como se mencionó anteriormente, el proceso de esta planta se desarrollará con las entradas del escenario 1-A y posteriormente se generalizará para los demás escenarios mediante un balance de masas de las entradas y salidas de la planta.

En las tablas 4.1, 4.2 y 4.3, se muestran las entradas a planta del escenario 1-A junto con sus cantidades exactas, correspondientes a la inspección y al pesaje. Se prescinde de aquellas corrientes de residuos segregadas (metales y vidrio) y del mezclado de metales, que fueron destinadas previamente al manager de residuos para su venta.

Tabla 4.1: Cantidades de los residuos segregados correspondientes a la inspección y al pesaje del escenario 1-A. Fuente: Elaboración propia

Grupo	CER	Descripción	Ton
Segregado	17 01 01	Hormigón	525,27
	17 01 01	Total	380,63
	(Hormigón armado)	Hormigón	350,18
		Acero	30,45
	17 01 02	Ladrillos	2.757,68
	17 01 03	Azulejos y cerámicos	1.181,86
	17 02 01	Madera	291,82
	17 02 03	Plástico	109,43
	17 03 02	Material bituminoso	1.702,27
	17 05 04	Piedras y tierra	1.702,27
	17 08 02	Yeso para construcción	14,59
	17 06 04	Material aislante	510,68
	Total segregado		

Ahora bien, de todas las corrientes de residuos segregadas mostradas en la tabla 4.1, las únicas que se introducen al proceso de la planta son la del "Hormigón", "Hormigón armado", "Ladrillos", y "Azulejos y cerámicos". El resto de corrientes son tratadas manualmente y posteriormente almacenadas o directamente almacenadas, ya sea para su venta o por qué poseen impurezas para el producto reciclado final, como se especificó en la tabla 3.31. Esto quiere decir que de la totalidad de las 9.176,51 toneladas de residuos segregados entrantes en la planta, 4.845,44 toneladas son las que realmente siguen el tratamiento.

En realidad, el hormigón armado tampoco se reintroduce al proceso, si no que se trata manualmente y una vez se separa el hormigón del acero, el hormigón es reintroducido al proceso para su posterior triturado.

Tabla 4.2: Cantidades de los residuos del pétreo mezclado correspondientes a la inspección y al pesaje del escenario 1-A.

Fuente: Elaboración propia

Grupo	CER	Descripción	Ton
Pétreo mezclado	17 01 01	Hormigón	2.381,23
	17 01 01	Total	1.725,53
	(Hormigón armado)	Acero	138,04
		Hormigón	1.587,49
	17 01 02	Ladrillos	12.501,47
	17 01 03	Azulejos y cerámicos	5.357,77
		Arena, grava y otros agregados	1.556,36
	17 05 04	Piedras y tierra	583,64
Total pétreo mezclado			24.106,01

Todas las corrientes de residuos pertenecientes al mezclado pétreo (tabla 4.2) son introducidas al proceso de la planta.

Tabla 4.3: Cantidades de los residuos del mezclado de los RCD correspondientes a la inspección y al pesaje del escenario 1-

A. Fuente: Elaboración propia

Grupo	CER	Descripción	Ton	
RCD Mezclado	17 02 01	Madera	1.653,63	
	17 02 02	Vidrio	206,70	
	17 02 03	Plástico	620,11	
	17 03 02	Materia bituminoso	729,54	
	17 08 02	Yeso de construcción	82,68	
	17 01 01	Hormigón	595,31	
	17 01 01	Total	431,38	
	(Hormigón armado)	Acero	34,51	
		Hormigón	396,87	
	17 01 02	Ladrillos	3.125,37	
	17 01 03	Azulejos y cerámicos	1.339,44	
	17 06 04	Material aislante	2.893,86	
	17 04 01	Cobre, bronce y latón	0,20	
	17 04 02	Aluminio	0,20	
	17 04 03	Plomo	6,48	
	17 04 04	Zinc	0,20	
	17 04 05	Hierro	245,89	
	17 04 06	Estaño	5,12	
	17 04 11	Cables	0,20	
		Arena, grava y otros agregados	389,09	
	17 05 04	Piedras y tierra	145,91	
	15 01 01	Empaques de papel y cartón	145,91	
	15 01 06	Embalaje mezclado	1.945,45	
	Total RCD mezclado			14.562,69

Al igual que las corrientes del mezclado pétreo, en el mezclado de los RCD's (tabla 4.3) todas las corrientes son introducidas al proceso.

Cabe señalar que en este tipo de planta de reciclaje todos los residuos que ingresan al proceso de la planta se tratan conjuntamente a diferencia de en la planta avanzada. Esto quiere decir que tanto

los residuos segregados como los que vienen mezclados se tratan conjuntamente y no en lotes separados. Sumando las cantidades totales de los residuos del mezclado pétreo, el mezclado de los RCD's y las corrientes de residuos segregadas que realmente reciben el tratamiento de planta, 43.514,14 toneladas de residuos son introducidas en el área de descarga.

4.1.2 Área de descarga: extracción por grúa de gancho y tratamiento manual del hormigón armado

En el área de descarga se emplea la grúa de gancho para una primera clasificación. Se utiliza para la extracción de residuos con grandes dimensiones que deben ser separados de la corriente principal. Si bien como se mencionó anteriormente en este tipo de planta todos los residuos se tratan conjuntamente, en este trabajo se separan por los grupos de segregado y mezclado para una mejor comprensión y clasificación.

Antes de comenzar con la extracción de los residuos de grandes dimensiones, el primer paso consiste en el tratamiento manual del hormigón armado. Se considera que en este tratamiento el 30% del hormigón y acero que conforman el hormigón armado es recuperado manualmente. El hormigón recuperado es reintroducido al proceso para su triturado y posterior tratamiento, y el acero recuperado junto con los bloques de hormigón armado resultantes, son almacenados para su posterior venta, como se puede ver en la tabla 4.4.

Tabla 4.4: Cantidades resultantes del tratamiento manual del hormigón armado. Fuente: Elaboración propia

Grupo	CER	Descripción	Ton	Resultante	Ton
Segregado	17 01 01 (Hormigón armado)	Total	380,63	Bloques de HA	266,44
		Hormigón	350,18	Hormigón	105,05
		Acero	30,45	Acero	9,14
Pétreo mezclado	17 01 01 (Hormigón armado)	Total	1.725,53	Bloques de HA	1.207,87
		Hormigón	1.587,49	Hormigón	476,25
		Acero	138,04	Acero	41,41
RCD mezclado	17 01 01 (Hormigón armado)	Total	431,38	Bloques de HA	301,97
		Hormigón	396,87	Hormigón	119,06
		Acero	34,51	Acero	10,35

1.776,28 toneladas de bloques de HA y 60,9 toneladas de acero salen del proceso para su venta.

700,36 toneladas de hormigón se reintroducen al proceso para su triturado.

Una vez el hormigón es reintroducido al proceso, se mezcla con los demás residuos y se da comienzo a la extracción de los escombros de residuos de grandes dimensiones mediante la grúa de gancho.

Hay que tener en cuenta que las distintas corrientes los RCD's poseen una distribución de tamaño de partícula inicial, dependiendo de la tipología del residuo (Elena Dosal, 2015).

- La distribución de tamaño de partícula inicial de los residuos de carácter pétreo viene dada por los escombros, para los residuos cuyo tamaño de partícula es mayor a los 40mm, promedio, para un tamaño de partícula entre los 40mm y los 4mm, y las partículas menores de los 4mm.
- Los materiales bituminosos y los basados en yeso de construcción, poseen una distribución de tamaño de partícula inicial particular de mayor de 20cm para los escombros, un promedio de entre 20cm y 4mm y las menores de 4mm.
- Para el resto de materiales, la distribución viene dada por las piezas largas, con un tamaño de partícula mayor a los 20cm, un promedio de entre los 20cm y 4mm, y las partículas menores de 4mm.

Si bien la distribución de tamaño de partícula inicial de los distintos RCD's varía, también lo hacen los porcentajes que le corresponden a cada clasificado de dicha distribución. Por ejemplo, el hormigón entra a la planta casi en su totalidad en forma de escombros, con un 85% de la cantidad entrante total. No obstante, otras corrientes de residuos de carácter pétreo como la "Arena, grava y otros agregados", no poseen partículas lo suficientemente grandes como para considerarlas escombros, y entran en su totalidad con un 40% de partículas promedio y un 60% de partículas menores a 4mm.

En las tablas 4.5, 4.6 y 4.7 se muestran las distribuciones de tamaño de partícula iniciales junto con los porcentajes específicos de cada material, y los porcentajes correspondientes a la extracción de residuos de grandes dimensiones realizadas por la grúa de gancho. Los porcentajes de extracción siempre se aplican sobre la fracción con tamaño de partícula más grande, es decir, sobre los escombros o sobre las piezas largas, y evidentemente varían dependiendo del tipo de material.

Tabla 4.5: Extracción por grúa de gancho de las corrientes de residuos segregadas. Fuente: Elaboración propia

CER	Descripción	ENTRADA			Extracción por grúa de gancho		Tolva	Trituradora
		Tamaño de partícula	% Inicial	Ton	% Extracción	Ton	Ton	Ton
17 01 01	Hormigón	Escombros > 40 mm	85	446,48	10	44,65	401,83	44,65
		40 mm > Promedio > 4 mm	10	52,53	0	0,00	52,53	0,00
		< 4 mm	5	26,26	0	0,00	26,26	0,00
17 01 01	Hormigón (HA-segregado)	Escombros > 40 mm	85	89,30	10	8,93	80,37	8,93
		40 mm > Promedio > 4 mm	10	10,51	0	0,00	10,51	0,00
		< 4 mm	5	5,25	0	0,00	5,25	0,00
17 01 01	Hormigón (HA-pétreo mezclado)	Escombros > 40 mm	85	404,81	10	40,48	364,33	40,48
		40 mm > Promedio > 4 mm	10	47,62	0	0,00	47,62	0,00
		< 4 mm	5	23,81	0	0,00	23,81	0,00
17 01 01	Hormigón (HA-RCD mezclado)	Escombros > 40 mm	85	101,20	10	10,12	91,08	10,12
		40 mm > Promedio > 4 mm	10	11,91	0	0,00	11,91	0,00
		< 4 mm	5	5,95	0	0,00	5,95	0,00
17 01 02	Ladrillos	Escombros > 40 mm	60	1.654,61	2	33,09	1.621,51	33,09
		40 mm > Promedio > 4 mm	25	689,42	0	0,00	689,42	0,00
		< 4 mm	15	413,65	0	0,00	413,65	0,00
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombros > 40 mm	60	709,12	2	14,18	694,93	14,18
		40 mm > Promedio > 4 mm	25	295,47	0	0,00	295,47	0,00
		< 4 mm	15	177,28	0	0,00	177,28	0,00
TOTAL				5.165,17		151,45	5.013,72	151,45

En la tabla 4.5 se incluye el hormigón recuperado manualmente del hormigón armado del pétreo mezclado y del mezclado genérico de los RCD's. Como se puede ver, los porcentajes correspondientes a la distribución inicial del tamaño de partícula varían dependiendo del material, así como lo hacen los porcentajes de extracción de la grúa de gancho. Por regla general, aquellos materiales que tienden a llegar en su mayoría en forma de escombros o de material largo y son fáciles de identificar, poseen porcentajes de extracción más elevados. En este caso, al ser los materiales extraídos de carácter pétreo, son destinados directamente a la trituradora para una disminución del tamaño de partícula. La cantidad total restante, es destinada a la tolva para su almacenamiento intermedio y la continuación del tratamiento.

Tabla 4.6: Extracción por grúa de gancho de las corrientes de residuos pertenecientes al mezclado pétreo. Fuente: Elaboración propia

CER	Descripción	ENTRADA			Extracción por grúa de gancho		Tolva	Trituradora
		Tamaño de partícula	% Inicial	Ton	% Extracción	Ton	Ton	Ton
17 01 01	Hormigón	Escombros > 40 mm	85	2.024,05	10	202,40	1.821,64	202,40
		40 mm > Promedio > 4 mm	10	238,12	0	0,00	238,12	0,00
		< 4 mm	5	119,06	0	0,00	119,06	0,00
17 01 02	Ladrillos	Escombros > 40 mm	60	7.500,88	2	150,02	7.350,87	150,02
		40 mm > Promedio > 4 mm	25	3.125,37	0	0,00	3.125,37	0,00
		< 4 mm	15	1.875,22	0	0,00	1.875,22	0,00
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombros > 40 mm	60	3.214,66	2	64,29	3.150,37	64,29
		40 mm > Promedio > 4 mm	25	1.339,44	0	0,00	1.339,44	0,00
		< 4 mm	15	803,67	0	0,00	803,67	0,00
Arena, grava y otros agregados		Escombros > 40 mm	0	0,00	0	0,00	0,00	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	40	622,54	0	0,00	622,54	0,00
		< 4 mm	60	933,82	0	0,00	933,82	0,00
17 05 04	Piedras y tierra	Escombros > 40 mm	40	233,45	0	0,00	233,45	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	50	291,82	0	0,00	291,82	0,00
		< 4 mm	10	58,36	0	0,00	58,36	0,00
TOTAL				22.380,48		416,72	21.963,76	416,72

Al igual que en el anterior caso, en tabla 4.6 correspondiente al mezclado pétreo, los escombros de los residuos extraídos por la grúa de gancho son destinados directamente a la trituradora debido a su carácter pétreo, a fin de obtener un tamaño de partícula adecuado.

La tabla 4.7 correspondiente al mezclado de los RCD's se encuentra dividida en tres debido a la gran cantidad de residuos que contiene.

Tabla 4.7: Extracción por grúa de gancho de los residuos pertenecientes al mezclado de los RCD (parte 1). Fuente:

Elaboración propia

CER	Descripción	ENTRADA			Extracción por grúa de gancho		Tolva Ton	Trituradora Ton	Almacenado Ton
		Dist partícula	% Inicial	Ton	% Extacción	Ton			
17 01 01	Hormigón	Escombros > 40 mm	85,00	506,01	10	50,60	455,41	50,60	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	10,00	59,53	0	0,00	59,53	0,00	0,00
		< 4 mm	5,00	29,77	0	0,00	29,77	0,00	0,00
17 01 02	Ladrillos	Escombros > 40 mm	60,00	1.875,22	2	37,50	1.837,72	37,50	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	25,00	781,34	0	0,00	781,34	0,00	0,00
		< 4 mm	15,00	468,81	0	0,00	468,81	0,00	0,00
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombros > 40 mm	60,00	803,67	2	16,07	787,59	16,07	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	25,00	334,86	0	0,00	334,86	0,00	0,00
		< 4 mm	15,00	200,92	0	0,00	200,92	0,00	0,00
Arena, grava y otros agregados		Escombros > 40 mm	0	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	40	155,64	0	0,00	155,64	0,00	0,00
		< 4 mm	60	233,45	0	0,00	233,45	0,00	0,00
17 05 04	Piedras y tierra	Escombros > 40 mm	40,00	58,36	0	0,00	58,36	0,00	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	50,00	72,95	0	0,00	72,95	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	14,59	0	0,00	14,59	0,00	0,00
17 03 02	Mezcla bituminosa	Escombros > 20 cm	70,00	510,68	60	306,41	204,27	0,00	306,41
		20cm > Promedio > 4 mm	20,00	145,91	0	0,00	145,91	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	72,95	0	0,00	72,95	0,00	0,00
17 08 02	Yeso de construcción	Escombros > 20 cm	70,00	57,88	60	34,73	23,15	0,00	34,73
		20cm > Promedio > 4 mm	10,00	8,27	0	0,00	8,27	0,00	0,00
		< 4 mm	20,00	16,54	0	0,00	16,54	0,00	0,00
17 02 01	Madera	Piezas mas largas	80,00	1.322,91	60	793,74	529,16	0,00	793,74
		20cm > Promedio > 4 mm	15,00	248,05	0	0,00	248,05	0,00	0,00
		< 4 mm	5,00	82,68	0	0,00	82,68	0,00	0,00

En la tabla 4.7 se puede ver que de los materiales extraídos por la grúa de gancho, los que poseen propiedades pétreas son destinados a la trituradora de mandíbula, mientras que otros materiales son destinados al almacenado en los contenedores para su posterior venta. Esto es debido a que los materiales pétreos son la base del árido del producto reciclado final. No obstante, materiales como la madera o el yeso de construcción, poseen impurezas que afectan a la calidad del producto reciclado final, por lo que son apartados del proceso para su posterior venta.

Tabla 4.7: Extracción por grúa de gancho de los residuos pertenecientes al mezclado de los RCD (parte 2). Fuente:

Elaboración propia

17 02 02	Vidrio	Piezas largas	50,00	103,35	60	62,01	41,34	0,00	62,01
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	62,01	0	0,00	62,01	0,00	0,00
		< 4 mm	20,00	41,34	0	0,00	41,34	0,00	0,00
17 02 03 (Plástico)	No film, no pvc	Piezas largas	70,00	230,06	60	138,04	92,02	0,00	138,04
		20cm > Promedio > 4 mm	20,00	65,73	0	0,00	65,73	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	32,87	0	0,00	32,87	0,00	0,00
	PVC	Piezas largas	70,00	204,02	60	122,41	81,61	0,00	122,41
		20cm > Promedio > 4 mm	20,00	58,29	0	0,00	58,29	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	29,15	0	0,00	29,15	0,00	0,00
17 06 04	Material aislante	Piezas largas	60,00	1.736,32	60	1.041,79	694,53	0,00	1.041,79
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	868,16	0	0,00	868,16	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	289,39	0	0,00	289,39	0,00	0,00
15 01 01	Empaques de papel y cartón	Piezas largas	60,00	87,55	60	52,53	35,02	0,00	52,53
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	43,77	0	0,00	43,77	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	14,59	0	0,00	14,59	0,00	0,00
15 01 06 (Embalaje mixto)	Tablas de madera	Piezas largas	70,00	798,48	60	479,09	319,39	0,00	479,09
		20cm > Promedio > 4 mm	20,00	228,14	0	0,00	228,14	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	114,07	0	0,00	114,07	0,00	0,00
	Carton	Piezas largas	70,00	335,93	60	201,56	134,37	0,00	201,56
		20cm > Promedio > 4 mm	20,00	95,98	0	0,00	95,98	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	47,99	0	0,00	47,99	0,00	0,00
	Films de polietileno	Piezas largas	70,00	227,40	60	136,44	90,96	0,00	136,44
		20cm > Promedio > 4 mm	20,00	64,97	0	0,00	64,97	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	32,49	0	0,00	32,49	0,00	0,00

En la parte dos de la tabla 4.7 se verifica que aquellos materiales no pétreos extraídos por la grúa de gancho son sacados del proceso para su almacenado y posterior venta. Como se puede ver, materiales como el papel, cartón, plástico, madera y vidrio, poseen porcentajes elevados de extracción de 60%, debido a la necesidad de separarlos de la corriente principal.

Tabla 4.7: Extracción por grúa de gancho de los residuos pertenecientes al mezclado de los RCD (parte 3). Fuente:

Elaboración propia

17 04 01	Cobre, bronce, latón	Piezas largas	60,00	0,12	60	0,07	0,05	0,00	0,07
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	0,06	0	0,00	0,06	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	0,02	0	0,00	0,02	0,00	0,00
17 04 02	Aluminio	Piezas largas	60,00	0,12	60	0,07	0,05	0,00	0,07
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	0,06	0	0,00	0,06	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	0,02	0	0,00	0,02	0,00	0,00
17 04 03	Plomo	Piezas largas	60,00	3,89	60	2,33	1,56	0,00	2,33
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	1,94	0	0,00	1,94	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	0,65	0	0,00	0,65	0,00	0,00
17 04 04	Zinc	Piezas largas	60,00	0,12	60	0,07	0,05	0,00	0,07
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	0,06	0	0,00	0,06	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	0,02	0	0,00	0,02	0,00	0,00
17 04 05	Hierro y Acero	Piezas largas	60,00	147,53	60	88,52	59,01	0,00	88,52
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	73,77	0	0,00	73,77	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	24,59	0	0,00	24,59	0,00	0,00
17 04 06	Estaño	Piezas largas	60,00	3,07	60	1,84	1,23	0,00	1,84
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	1,53	0	0,00	1,53	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	0,51	0	0,00	0,51	0,00	0,00
17 04 11	Cables	Piezas largas	60,00	0,12	60	0,07	0,05	0,00	0,07
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	0,06	0	0,00	0,06	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	0,02	0	0,00	0,02	0,00	0,00
TOTAL				14.131,31		3.565,91	10.565,40	104,18	3.461,73

Siempre se pretende que los materiales metálicos sean separados de la corriente principal de residuos y esto se ve reflejado en la tabla 4.7. Mediante la grúa de gancho se consiguen extraer gran parte de ellos, con un 60% de extracción sobre la fracción de piezas largas. Además de otorgar propiedades perjudiciales al producto reciclado, destacan por su alto valor en el mercado. La totalidad de residuos que no sufre de la acción de la grúa de gancho, es destinada a la tolva intermedia para continuar con el tratamiento.

Llegados a este punto, el balance de masas resulta en que:

- 1.776,28 toneladas de bloques de hormigón armado y 60,90 toneladas de acero abandonan el proceso tras el tratamiento manual del hormigón armado.
- 672,35 toneladas de residuos pétreos de grandes dimensiones son extraídas por la grúa de gancho de la corriente principal, y desplazadas directamente a la trituradora de mandíbula.
- 3.461,73 toneladas de residuos de carácter no pétreo son extraídas por la grúa de gancho de la corriente principal para ser vendidos o desechados.

Lo que resulta en un total de 37.542,88 toneladas de residuos que siguen el proceso de planta por el almacenado intermedio en la tolva.

4.1.3 Separación por tamaño de partícula en la criba vibratoria

En la criba vibratoria se realiza una primera separación por tamaño de las corrientes de residuos que provienen de la tolva, un total de 37.542,88 toneladas de residuos mezclados.

La función de esta primera criba, es destinar las cantidades restantes de las fracciones de escombros y piezas largas que no pudieron ser separadas mediante la grúa de gancho a la trituradora.

Para ello, se hace uso de una cinta transportadora inclinada y agujereada en forma de malla. A medida que la mezcla de residuos es transportada por la malla, una vibración permanente origina que las partículas promedio o menores caigan a través de las rendijas de la cinta, separando la mezcla de residuos en dos lotes. Por un lado se tiene la fracción de escombros y piezas largas que sigue la cinta hasta su fin, para ser destinados a la trituradora de mandíbula, y por otro lado, la fracción de partículas cuyo tamaño de partícula es igual o menor a las promedio, siguen el proceso para ser canalizados a través de la tolva. Se estima que en este proceso se separan el 100% de los escombros y piezas largas. En las tablas 4.8, 4.9 y 4.10 se puede ver el proceso en cuestión con las cantidades resultantes destinadas a la trituradora y a la tolva.

Tabla 4.8: Separación por tamaño en la criba vibratoria de las corrientes de residuos segregadas. Fuente: Elaboración propia

CER	Descripción	Entrada a criba		% Separación	Criba Trituradora		Tolva Ton
		Tamaño de partícula	Ton		Ton	Ton	
17 01 01	Hormigón	Escombros > 40 mm	401,83	100	401,83	0,00	
		40 mm > Promedio > 4 mm	52,53	0	0,00	52,53	
		< 4 mm	26,26	0	0,00	26,26	
17 01 01	Hormigón (HA-segregado)	Escombros > 40 mm	80,37	100	80,37	0,00	
		40 mm > Promedio > 4 mm	10,51	0	0,00	10,51	
		< 4 mm	5,25	0	0,00	5,25	
17 01 01	Hormigón (HA-pétreo mezclado)	Escombros > 40 mm	364,33	100	364,33	0,00	
		40 mm > Promedio > 4 mm	47,62	0	0,00	47,62	
		< 4 mm	23,81	0	0,00	23,81	
17 01 01	Hormigón (HA-RCD mezclado)	Escombros > 40 mm	91,08	100	91,08	0,00	
		40 mm > Promedio > 4 mm	11,91	0	0,00	11,91	
		< 4 mm	5,95	0	0,00	5,95	
17 01 02	Ladrillos	Escombros > 40 mm	1.621,51	100	1.621,51	0,00	
		40 mm > Promedio > 4 mm	689,42	0	0,00	689,42	
		< 4 mm	413,65	0	0,00	413,65	
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombros > 40 mm	694,93	100	694,93	0,00	
		40 mm > Promedio > 4 mm	295,47	0	0,00	295,47	
		< 4 mm	177,28	0	0,00	177,28	
TOTAL			5.013,72		3.254,06	1.759,66	

En la tabla 4.8, donde se incluye el hormigón recuperado del hormigón armado de todos los grupos de mezclado, se puede verificar que el 100% de la cantidad restante de las fracciones de escombros y piezas largas son separadas de la corriente principal. Las partículas de tamaño promedio o menor son destinadas a la tolva. Esto quiere decir, que de la totalidad de corrientes segregadas entrantes a

la criba, un 65% (fracción de escombros) se introduce a la trituradora, mientras que el 35% restante prosigue el proceso por el almacenado intermedio.

Tabla 4.9: Separación por tamaño en la criba vibratoria de las corrientes de residuos pertenecientes al mezclado pétreo. Fuente: Elaboración propia

CER	Descripción	Entrada a criba		Criba % Separación	Trituradora Ton	Tolva Ton
		Tamaño de partícula	Ton			
17 01 01	Hormigón	Escombros > 40 mm	1.821,64	100	1.821,64	0
		40 mm > Promedio > 4 mm	238,12	0	0	238,12
		< 4 mm	119,06	0	0	119,06
17 01 02	Ladrillos	Escombros > 40 mm	7.350,87	100	7.350,87	0
		40 mm > Promedio > 4 mm	3.125,37	0	0	3.125,37
		< 4 mm	1.875,22	0	0	1.875,22
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombros > 40 mm	3.150,37	100	3.150,37	0
		40 mm > Promedio > 4 mm	1.339,44	0	0	1.339,44
		< 4 mm	803,67	0	0	803,67
Arena, grava y otros agregados		Escombros > 40 mm	0,00	100	0	0
		40 mm > Promedio > 4 mm	622,54	0	0	622,54
		< 4 mm	933,82	0	0	933,82
17 05 04	Piedras y tierra	Escombros > 40 mm	233,45	100	233,45	0
		40 mm > Promedio > 4 mm	291,82	0	0	291,82
		< 4 mm	58,36	0	0	58,36
TOTAL			21.963,76		12.556,34	9.407,43

Para el caso de los residuos que en primera instancia pertenecían al mezclado pétreo, tabla 4.9, se puede comprobar que el proceso de separación se repite. Con respecto a este grupo, un 57% (fracción de escombros) de la totalidad de residuos entrantes a la criba es transportada a la trituradora.

Tabla 4.10: Separación por tamaño en la criba vibratoria de las corrientes de residuos pertenecientes al mezclado de los RCD. Fuente: Elaboración propia

CER	Descripción	Entrada a criba		Criba % Separación	Trituradora Ton	Tolva Ton
		Tamaño de partícula	Ton			
17 01 01	Hormigón	Escombros > 40 mm	455,41	100	455,41	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	59,53	0	0,00	59,53
		< 4 mm	29,77	0	0,00	29,77
17 01 02	Ladrillos	Escombros > 40 mm	1837,72	100	1837,72	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	781,34	0	0,00	781,34
		< 4 mm	468,81	0	0,00	468,81
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombros > 40 mm	787,59	100	787,59	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	334,86	0	0,00	334,86
		< 4 mm	200,92	0	0,00	200,92
Arena, grava y otros agregados		Escombros > 40 mm	0,00	100	0,00	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	155,64	0	0,00	155,64
		< 4 mm	233,45	0	0,00	233,45
17 05 04	Piedras y tierra	Escombros > 40 mm	58,36	100	58,36	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	72,95	0	0,00	72,95
		< 4 mm	14,59	0	0,00	14,59
17 03 02	Mezcla bituminosa	Escombros > 20 cm	204,27	100	204,27	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	145,91	0	0,00	145,91
		< 4 mm	72,95	0	0,00	72,95
17 08 02	Yeso de construcción	Escombros > 20 cm	23,15	100	23,15	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	8,27	0	0,00	8,27
		< 4 mm	16,54	0	0,00	16,54
17 02 01	Madera	Piezas mas largas	529,16	100	529,16	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	248,05	0	0,00	248,05
		< 4 mm	82,68	0	0,00	82,68

17 02 02	Vidrio	Piezas largas	41,34	100	41,34	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	62,01	0	0,00	62,01
		< 4 mm	41,34	0	0,00	41,34
17 02 03 (Plástico)	No film,no pvc	Piezas largas	92,02	100	92,02	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	65,73	0	0,00	65,73
		< 4 mm	32,87	0	0,00	32,87
	PVC	Piezas largas	81,61	100	81,61	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	58,29	0	0,00	58,29
		< 4 mm	29,15	0	0,00	29,15
17 06 04	Material aislante	Piezas largas	694,53	100	694,53	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	868,16	0	0,00	868,16
		< 4 mm	289,39	0	0,00	289,39
15 01 01	Empaques de papel y cartón	Piezas largas	35,02	100	35,02	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	43,77	0	0,00	43,77
		< 4 mm	14,59	0	0,00	14,59
15 01 06 (Embalaje mixto)	Tablas de madera	Piezas largas	319,39	100	319,39	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	228,14	0	0,00	228,14
		< 4 mm	114,07	0	0,00	114,07
	Carton	Piezas largas	134,37	100	134,37	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	95,98	0	0,00	95,98
		< 4 mm	47,99	0	0,00	47,99
	Films de polietileno	Piezas largas	90,96	100	90,96	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	64,97	0	0,00	64,97
		< 4 mm	32,49	0	0,00	32,49
17 04 01	Cobre, bronce, latón	Piezas largas	0,05	100	0,05	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,06	0	0,00	0,06
		< 4 mm	0,02	0	0,00	0,02
17 04 02	Aluminio	Piezas largas	0,05	100	0,05	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,06	0	0,00	0,06
		< 4 mm	0,02	0	0,00	0,02
17 04 03	Plomo	Piezas largas	1,56	100	1,56	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	1,94	0	0,00	1,94
		< 4 mm	0,65	0	0,00	0,65
17 04 04	Zinc	Piezas largas	0,05	100	0,05	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,06	0	0,00	0,06
		< 4 mm	0,02	0	0,00	0,02
17 04 05	Hierro y Acero	Piezas largas	59,01	100	59,01	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	73,77	0	0,00	73,77
		< 4 mm	24,59	0	0,00	24,59
17 04 06	Estaño	Piezas largas	1,23	100	1,23	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	1,53	0	0,00	1,53
		< 4 mm	0,51	0	0,00	0,51
17 04 11	Cables	Piezas largas	0,05	100	0,05	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,06	0	0,00	0,06
		< 4 mm	0,02	0	0,00	0,02
TOTAL			10565,40		5446,90	5118,50

Con respecto a los residuos que pertenecían al mezclado genérico de los RCD's (tabla 4.10), el 51,5% (fracción de escombros y piezas largas) son destinados a la trituradora.

Como se puede ver, todos los materiales pertenecientes a la mezcla de residuos sufren el mismo proceso de separación, la totalidad de las fracciones de escombros y piezas largas son desplazadas a la trituradora.

El balance de masas de la criba vibratoria resulta en:

- Total residuos a la trituradora = $3.254,06 + 12.556,34 + 5446,90 = 21.257,30 \text{ ton}$
- Total residuos a la tolva = $1.759,66 + 9.407,43 + 5118,50 = 16.285,58 \text{ ton}$

Es decir, de la totalidad de las 37.542,88 toneladas de la mezcla de residuos entrantes a la criba vibratoria un 56,6 % es destinado a la trituradora mientras que el 43,4 % restante es canalizado a través de tolva de almacenado intermedio.

4.1.4 Reducción del tamaño de partícula mediante la trituradora de mandíbula

La trituradora de mandíbula se emplea en la planta de reciclaje básica, con el fin de reducir el tamaño de partícula de los RCD's. En aplicaciones de los RCD's, las trituradoras de mandíbula son las más utilizadas debido a su fácil operación, bajo mantenimiento y grandes aperturas de entrada.

Esta clase de trituradora característica de la planta básica, sólo se emplea para la trituración de residuos con un tamaño de partícula considerable, es decir, escombros o piezas largas. Aquellos materiales con un tamaño de partícula de valor promedio o menor no se tratan en esta maquinaria.

Los escombros y las piezas largas son triturados por el movimiento constante entre la mandíbula fija y móvil, hasta que alcanzan un tamaño de partícula de valor promedio o menor. Los porcentajes de salida de la trituradora varían dependiendo del tipo de material, y vienen fijados por la cantidad de material que sale con tamaño de partícula determinado. Se considera que la fracción de escombros y piezas largas es triturada completamente, y por tanto no existirán residuos con este tamaño de partícula a la salida. Las entradas a la trituradora las conforman las fracciones de escombros y piezas largas provenientes de la criba vibratoria y aquellas que fueron extraídas anteriormente en el área de descarga por la grúa de gancho, sumando un total de 21.929,65 toneladas.

Tabla 4.11: Reducción del tamaño de partícula por trituradora de mandíbula de las corrientes de residuos segregadas. Fuente: Elaboración propia

CER	Descripción	Entrada a trituradora		Trituradora	Tolva
		Tamaño de partícula	Ton	% Salida	Ton
17 01 01	Hormigón	Escombros > 40 mm	446,48	0	0
		40 mm > Promedio > 4 mm	0,00	38,82	173,34
		< 4 mm	0,00	61,18	273,14
17 01 01	Hormigón (HA-segregado)	Escombros > 40 mm	89,30	0	0
		40 mm > Promedio > 4 mm	0,00	38,82	34,67
		< 4 mm	0,00	61,18	54,63
17 01 01	Hormigón (HA-pétreo mezclado)	Escombros > 40 mm	404,81	0	0
		40 mm > Promedio > 4 mm	0,00	38,82	157,16
		< 4 mm	0,00	61,18	247,65
17 01 01	Hormigón (HA-RCD mezclado)	Escombros > 40 mm	101,20	0	0
		40 mm > Promedio > 4 mm	0,00	38,82	39,29
		< 4 mm	0,00	61,18	61,91
17 01 02	Ladrillos	Escombros > 40 mm	1.654,61	0	0
		40 mm > Promedio > 4 mm	0,00	30	496,38
		< 4 mm	0,00	70	1158,22
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombros > 40 mm	709,12	0	0
		40 mm > Promedio > 4 mm	0,00	30	212,74
		< 4 mm	0,00	70	496,38
TOTAL			3.405,51		3.405,51

En la tabla 4.11 se verifica que los porcentajes de salida de la trituradora correspondiente a las fracciones promedio o menor de 4 mm, varían dependiendo del material. En este caso, al tratarse de residuos pétreos y cerámicos con propiedades de dureza y fragilidad similares, los porcentajes de salida apenas varían entre los distintos materiales. Se caracterizan por poseer unos porcentajes elevados, de entorno al 65%, de salida de la fracción de partículas menores a los 4mm. Lo que significa, que este tipo de materiales son triturados con facilidad como consecuencia de los bajos valores de resistencia que presentan ante la rotura.

Tabla 4.12: Reducción del tamaño de partícula por trituradora de mandíbula de las corrientes de residuos pertenecientes al mezclado pétreo. Fuente: Elaboración propia

CER	Descripción	Entrada a trituradora		Trituradora	Tolva
		Tamaño de partícula	Ton	% Salida	Ton
17 01 01	Hormigón	Escombro > 40 mm	2.024,05	0	0
		40 mm > Promedio > 4 mm	0,00	38,82	785,81
		< 4 mm	0,00	61,18	1.238,24
17 01 02	Ladrillos	Escombro > 40 mm	7.500,88	0	0
		40 mm > Promedio > 4 mm	0,00	30	2.250,27
		< 4 mm	0,00	70	5.250,62
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombro > 40 mm	3.214,66	0	0
		40 mm > Promedio > 4 mm	0,00	30	964,40
		< 4 mm	0,00	70	2.250,27
Arena, grava y otros agregados		Escombro > 40 mm	0,00	0	0
		40 mm > Promedio > 4 mm	0,00	0	0
		< 4 mm	0,00	0	0
17 05 04	Piedras y tierra	Escombro > 40 mm	233,45	0	0
		40 mm > Promedio > 4 mm	0,00	62,5	145,91
		< 4 mm	0,00	37,5	87,55
TOTAL			12.973,05		12.973,05

En la tabla 4.12 destacan las corrientes de residuos de “Arena, grava y otros agregados”, la cual como se ha visto durante el proceso, no posee fracción de escombros por lo que no se trata en la trituradora, y la de “Piedras y tierra”, con un alto valor en el porcentaje de salida de la fracción promedio, debido a la tenacidad del material que impide que sea triturado en partículas pequeñas.

Para la tabla 4.13, correspondiente al mezclado genérico de los RCD's, destacan los residuos plásticos y metálicos con valores elevados en los porcentajes de salida de la fracción promedia de entorno al 70%. Esto se debe a que son materiales con gran ductilidad y por tanto es difícil de definir un tamaño de partícula pequeño. Lo mismo pasa con la madera.

Tabla 4.13: Reducción del tamaño de partícula por trituradora de mandíbula de las corrientes de residuos pertenecientes al mezclado genérico de RCD's. Fuente: Elaboración propia

CER	Descripción	Entrada a trituradora		Trituradora % Salida	Tolva Ton
		Tamaño de partícula	Ton		
17 01 01	Hormigón	Escombros > 40 mm	506,01	0	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	0,00	38,82	196,45
		< 4 mm	0,00	61,18	309,56
17 01 02	Ladrillos	Escombros > 40 mm	1.875,22	0	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	0,00	30,00	562,57
		< 4 mm	0,00	70,00	1.312,65
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombros > 40 mm	803,67	0	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	0,00	30,00	241,10
		< 4 mm	0,00	70,00	562,57
Arena, grava y otros agregados		Escombros > 40 mm	0,00	0	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	0,00	0	0,00
		< 4 mm	0,00	0	0,00
17 05 04	Piedras y tierra	Escombros > 40 mm	58,36	0	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	0,00	62,50	36,48
		< 4 mm	0,00	37,50	21,89
17 03 02	Mezcla bituminosa	Escombros > 20 cm	204,27	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	71,11	145,26
		< 4 mm	0,00	28,89	59,01
17 08 02	Yeso de construcción	Escombros > 20 cm	23,15	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	54,29	12,57
		< 4 mm	0,00	45,71	10,58
17 02 01	Madera	Piezas mas largas	529,16	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	75,94	401,84
		< 4 mm	0,00	24,06	127,32
17 02 02	Vidrio	Piezas largas	41,34	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	65,71	27,17
		< 4 mm	0,00	34,29	14,17
17 02 03 (Plástico)	No film, no pvc	Piezas largas	92,02	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	69,47	63,93
		< 4 mm	0,00	30,53	28,09
	PVC	Piezas largas	81,61	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	69,47	56,70
		< 4 mm	0,00	30,53	24,91
17 06 04	Material aislante	Piezas largas	694,53	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	76,48	531,17
		< 4 mm	0,00	23,52	163,36
15 01 01	Empaques de papel y cartón	Piezas largas	35,02	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	73,70	25,81
		< 4 mm	0,00	26,30	9,21
15 01 06 (Embalaje mixto)	Tablas de madera	Piezas largas	319,39	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	69,47	221,89
		< 4 mm	0,00	30,53	97,50
	Carton	Piezas largas	134,37	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	69,47	93,35
		< 4 mm	0,00	30,53	41,02
Films de polietileno	Piezas largas	90,96	0	0,00	
	20cm > Promedio > 4 mm	0,00	69,47	63,19	
	< 4 mm	0,00	30,53	27,77	
17 04 01	Cobre, bronce, latón	Piezas largas	0,05	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	73,70	0,04
		< 4 mm	0,00	26,30	0,01
17 04 02	Aluminio	Piezas largas	0,05	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	73,70	0,04
		< 4 mm	0,00	26,30	0,01
17 04 03	Plomo	Piezas largas	1,56	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	73,70	1,15
		< 4 mm	0,00	26,30	0,41
17 04 04	Zinc	Piezas largas	0,05	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	73,70	0,04
		< 4 mm	0,00	26,30	0,01
17 04 05	Hierro y Acero	Piezas largas	59,01	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	73,70	43,49
		< 4 mm	0,00	26,30	15,52
17 04 06	Estaño	Piezas largas	1,23	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	73,70	0,90
		< 4 mm	0,00	26,30	0,32
17 04 11	Cables	Piezas largas	0,05	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	73,70	0,04
		< 4 mm	0,00	26,30	0,01
TOTAL			5551,08		5551,08

Las 21.929,65 toneladas de residuos entrantes a la trituradora en forma de escombros y piezas largas, abandonan la trituradora con un tamaño de partícula de valor promedio o menor para ser reintroducidas en la tolva. De esta forma, se vuelven a mezclar con aquellos residuos de tamaño de partícula similar que no tuvieron que ser tratados en la trituradora.

En la figura 4.1 se puede observar claramente el proceso y balance de masas al que se hace referencia. Un total de 38.215,23 toneladas de residuos con un tamaño de partícula óptimo abandonaran la tolva tras el almacenamiento temporal para proseguir con el proceso.

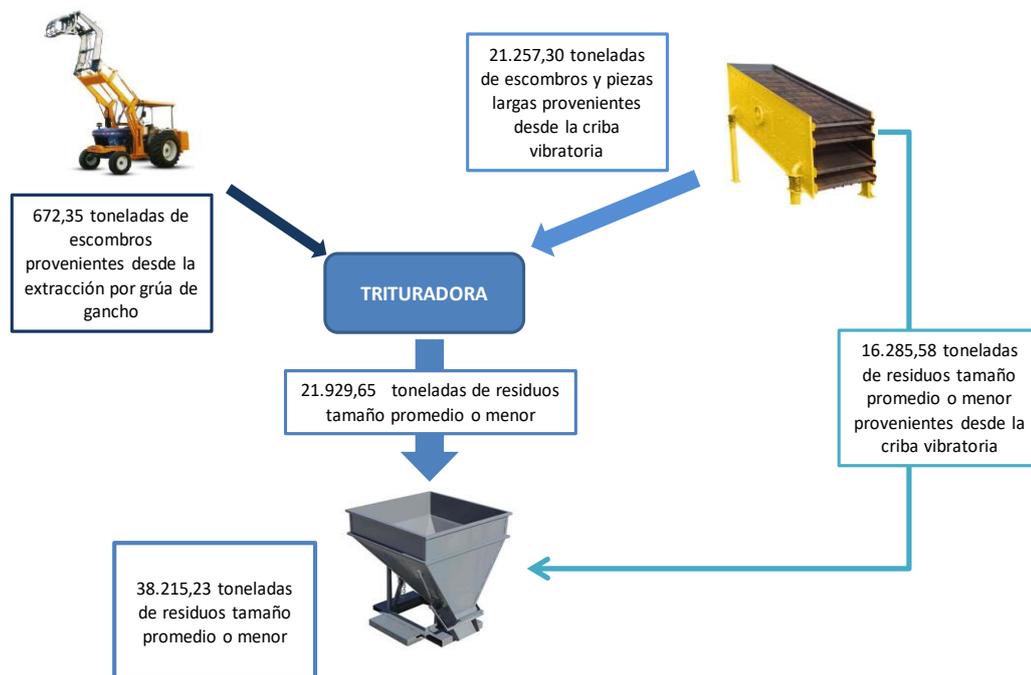


Figura 4.1: Balance de masas sobre la trituradora. Fuente: Elaboración propia

4.1.5 Separación magnética mediante el imán en banda sobre cinta transportadora

Las 38.215,23 toneladas de mezcla de residuos canalizados a través de la tolva son transportadas mediante una cinta transportadora para seguir con el proceso. A medida que la mezcla de residuos es desplazada hacia la criba rotatoria para su separación final, se coloca un imán en banda transversalmente o longitudinalmente sobre la cinta a una distancia de trabajo fija.

Cuando la mezcla de residuos se traslada a través de la cinta transportadora, la fuerza de atracción magnética que ejerce el imán es capaz de extraer gran parte de los materiales férreos, para que una vez abandonan el campo magnético, sean depositados en contenedores específicos. La única corriente de residuos férrea en la mezcla de residuos es la de "hierro y acero", por lo que el campo magnético solo tiene efecto sobre ella. De la cantidad total de esta corriente, se considera que un 70% es extraído por este método, dado que existirán trozos con una masa considerable y muchos de ellos se encontraran atascados entre otros tipos de residuos.

El proceso de la separación magnética se muestra en la figura 4.2, junto con las cantidades exactas extraídas y las que siguen el proceso.

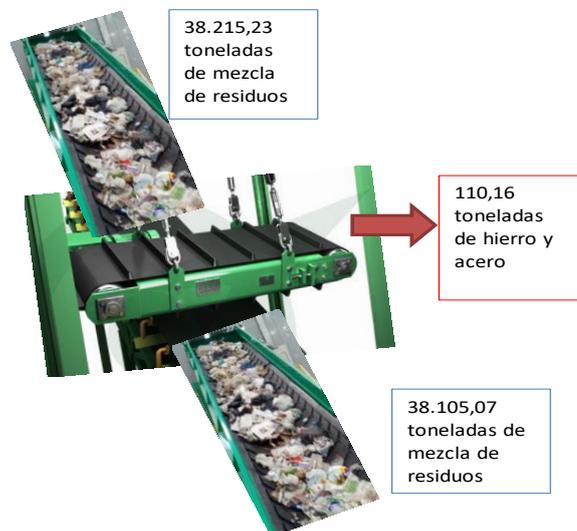


Figura 4.2: Balance de masas sobre el imán magnético. Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en la figura 4.2, aproximadamente 110 toneladas de hierro y acero son extraídas por este método, mientras que 38.105,07 toneladas de residuos mezclados siguen con el proceso hacia la criba rotatoria.

4.1.6 Separación por tamaño de partícula en la criba rotatoria

La mezcla de los RCD's proveniente de la cinta transportadora, se introduce en la criba rotatoria para realizar una última separación por tamaño. El objetivo principal de la criba rotatoria es separar las partículas gruesas de las finas estableciendo una nueva clasificación de tamaño:

- **Gruoso:** todas aquellas partículas de residuos con un tamaño mayor a los 4mm.
- **Fino:** partículas con tamaño comprendido entre los 4mm y los 0,063mm.
- **Todos en una:** todas aquellas partículas con un tamaño menor a los 2mm.

Cabe mencionar que la fracción gruesa es la que tiene más valor para este tipo de planta. Esto se debe a que las partículas gruesas de un determinado material a la salida de planta son más puras que las partículas finas, como consecuencia de un tratamiento más longevo y especializado. La cuestión reside en que los procesos de separación y depuración resultan más eficaces sobre las partículas gruesas. Es por ello que la fracción fina y todas en una, forman la salida de planta como una mezcla de residuos que se emplea en la elaboración de productos reciclados de menor calidad.

El proceso de la criba rotativa consiste en dos etapas de separación. A medida que la mezcla de residuos avanza por la malla del tambor, en la primera etapa, se emplea la fuerza centrífuga de la criba para tamizar las partículas menores a los 2mm a través de las rendijas de la malla, formando la fracción todas en una. La corriente principal que sigue por el interior del tambor, se introduce en una segunda etapa donde la malla consta de perforaciones de un tamaño mayor, tamizando esta vez las partículas menores a los 4mm de la mezcla de residuos y formando la fracción fina. Hay que tener en cuenta que la separación realizada en la primera etapa no es perfecta, por lo que en la fracción fina se pueden encontrar partículas menores a los 2mm. No obstante, la separación en la segunda etapa se considera perfecta, por lo que la mezcla de residuos que abandona el tambor por la boca inferior, solo puede estar compuesta por partículas mayores a los 4mm.

En las tablas 4.14, 4.15 y 4.16 se muestra el proceso de separación realizado en la criba rotatoria junto con los porcentajes y cantidades de salida correspondientes a cada una de las fracciones. Lógicamente los porcentajes de salida varían dependiendo del material.

Tabla 4.14: Separación por tamaño en la rotatoria vibratoria de las corrientes de residuos segregadas. Fuente: Elaboración propia

CER	Descripción	Entrada a criba		Salida criba		
		Tamaño de partícula	Ton	Tamaño de partícula	% Separación	Ton
17 01 01	Hormigón	Escombros > 40 mm	0,00	Grueso > 4mm	43	225,87
		40 mm > Promedio > 4 mm	225,87	4mm > Fino > 0,063	34,2	179,64
		< 4 mm	299,41	2mm > Todas en una	22,8	119,76
17 01 01	Hormigón (HA-segregado)	Escombros > 40 mm	0,00	Grueso > 4mm	43	45,17
		40 mm > Promedio > 4 mm	45,17	4mm > Fino > 0,063	34,2	35,93
		< 4 mm	59,88	2mm > Todas en una	22,8	23,95
17 01 01	Hormigón (HA-pétreo mezclado)	Escombros > 40 mm	0,00	Grueso > 4mm	43	204,79
		40 mm > Promedio > 4 mm	204,79	4mm > Fino > 0,063	34,2	162,88
		< 4 mm	271,46	2mm > Todas en una	22,8	108,58
17 01 01	Hormigón (HA-RCD mezclado)	Escombros > 40 mm	0,00	Grueso > 4mm	43	51,20
		40 mm > Promedio > 4 mm	51,20	4mm > Fino > 0,063	34,2	40,72
		< 4 mm	67,87	2mm > Todas en una	22,8	27,15
17 01 02	Ladrillos	Escombros > 40 mm	0,00	Grueso > 4mm	43	1.185,80
		40 mm > Promedio > 4 mm	1.185,80	4mm > Fino > 0,063	34,2	943,13
		< 4 mm	1.571,88	2mm > Todas en una	22,8	628,75
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombros > 40 mm	0,00	Grueso > 4mm	43	508,20
		40 mm > Promedio > 4 mm	508,20	4mm > Fino > 0,063	34,2	404,20
		< 4 mm	673,66	2mm > Todas en una	22,8	269,46
TOTAL			5.165,17			5.165,17

En la tabla 4.14 correspondiente a la separación por tamaño de los residuos segregados, resultan los mismos porcentajes de salida en la criba rotativa para todas las corrientes. En este caso, los porcentajes no varían porque el “Hormigón”, “Ladrillos” y “Azulejos y cerámicos” presentan un comportamiento muy similar ante la rotura ejercida previamente en la trituradora. Consiguientemente, la separación realizada en la criba resulta en unos porcentajes de distribución de tamaño de partícula prácticamente idénticos que en este trabajo se consideran iguales.

Tabla 4.15: Separación por tamaño en la criba rotatoria de las corrientes de residuos pertenecientes al mezclado pétreo.

Fuente: Elaboración propia

CER	Descripción	Entrada a criba		Salida criba		
		Tamaño de partícula	Ton	Tamaño de partícula	% Separación	Ton
17 01 01	Hormigón	Escombros > 40 mm	0,00	Grueso > 4mm	43	1.023,93
		40 mm > Promedio > 4 mm	1.023,93	4mm > Fino > 0,063	34,2	814,38
		< 4 mm	1.357,30	2mm > Todas en una	22,8	542,92
17 01 02	Ladrillos	Escombros > 40 mm	0,00	Grueso > 4mm	43	5.375,63
		40 mm > Promedio > 4 mm	5.375,63	4mm > Fino > 0,063	34,2	4.275,50
		< 4 mm	7.125,84	2mm > Todas en una	22,8	2.850,34
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombros > 40 mm	0,00	Grueso > 4mm	43	2.303,84
		40 mm > Promedio > 4 mm	2.303,84	4mm > Fino > 0,063	34,2	1.832,36
		< 4 mm	3.053,93	2mm > Todas en una	22,8	1.221,57
Arena, grava y otros agregados		Escombros > 40 mm	0,00	Grueso > 4mm	40	622,54
		40 mm > Promedio > 4 mm	622,54	4mm > Fino > 0,063	20	311,27
		< 4 mm	933,82	2mm > Todas en una	40	622,54
17 05 04	Piedras y tierra	Escombros > 40 mm	0,00	Grueso > 4mm	75	437,73
		40 mm > Promedio > 4 mm	437,73	4mm > Fino > 0,063	20	116,73
		< 4 mm	145,91	2mm > Todas en una	5	29,18
TOTAL			22.380,48			22.380,48

Para la tabla 4.15 ya se pueden observar como estos porcentajes de separación varían entre los distintos materiales. La corriente “Arena, grava y otros agregados” por ejemplo, posee unos

porcentajes de salida muy elevados de las fracciones finas y todas en una porque se trata de una corriente que por definición está compuesta por partículas muy pequeñas, y como se ha podido ver anteriormente, no recibe tratamiento en la trituradora de mandíbula. No obstante, se obtiene un porcentaje de separación muy elevado en la fracción gruesa de la corriente “Piedras y tierra”, porque se trata de una corriente compuesta mayoritariamente por partículas grandes, y presenta una gran tenacidad ante la rotura del proceso de triturado.

Existe por tanto una gran correlación entre los porcentajes de salida de la trituradora y la criba rotatoria.

Tabla 4.16: Separación por tamaño en la criba rotatoria de las corrientes de residuos pertenecientes al mezclado de los RCD (parte 1). Fuente: Elaboración propia

CER	Descripción	Entrada a criba		Salida criba		
		Tamaño de partícula	Ton	Tamaño de partícula	% Separación	Ton
17 01 01	Hormigón	Escombros > 40 mm	0,00	Grueso > 4mm	43	255,98
		40 mm > Promedio > 4 mm	255,98	4mm > Fino > 0,063	34,2	203,60
		< 4 mm	339,33	2mm > Todas en una	22,8	135,73
17 01 02	Ladrillos	Escombros > 40 mm	0,00	Grueso > 4mm	43	1.343,91
		40 mm > Promedio > 4 mm	1.343,91	4mm > Fino > 0,063	34,2	1.068,88
		< 4 mm	1.781,46	2mm > Todas en una	22,8	712,58
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombros > 40 mm	0,00	Grueso > 4mm	43	575,96
		40 mm > Promedio > 4 mm	575,96	4mm > Fino > 0,063	34,2	458,09
		< 4 mm	763,48	2mm > Todas en una	22,8	305,39
Arena, grava y otros agregados		Escombros > 40 mm	0,00	Grueso > 4mm	40	155,64
		40 mm > Promedio > 4 mm	155,64	4mm > Fino > 0,063	20	77,82
		< 4 mm	233,45	2mm > Todas en una	40	155,64
17 05 04	Piedras y tierra	Escombros > 40 mm	0,00	Grueso > 4mm	75	109,43
		40 mm > Promedio > 4 mm	109,43	4mm > Fino > 0,063	20	29,18
		< 4 mm	36,48	2mm > Todas en una	5	7,30
17 03 02	Mezcla bituminosa	Escombros > 20 cm	0,00	Grueso > 4mm	68,8	291,17
		20cm > Promedio > 4 mm	291,17	4mm > Fino > 0,063	27,2	115,05
		< 4 mm	131,97	2mm > Todas en una	4,0	16,92
17 08 02	Yeso de construcción	Escombros > 20 cm	0,00	Grueso > 4mm	43,4	20,84
		20cm > Promedio > 4 mm	20,84	4mm > Fino > 0,063	47,7	22,88
		< 4 mm	27,12	2mm > Todas en una	8,8	4,24
17 02 01	Madera	Piezas mas largas	0,00	Grueso > 4mm	75,6	649,89
		20cm > Promedio > 4 mm	649,89	4mm > Fino > 0,063	21,8	187,85
		< 4 mm	210,00	2mm > Todas en una	2,6	22,15

En la parte 1, 2, 3 de la tabla 4.16, se puede comprobar como aquellos materiales que son difíciles de triturar presentan porcentajes elevados de salida de la fracción gruesa. En la parte 1 destacan las corrientes de “Madera”, “Mezcla bituminosa” y “Piedras y tierra” con porcentajes altos de salida de la fracción gruesa.

En la parte dos de la misma tabla, compuesta mayoritariamente por materiales plásticos, las corrientes también presentan porcentajes altos de salida en la fracción gruesa como consecuencia de la ductilidad que presentan este tipo de materiales.

Tabla 4.16: Separación por tamaño en la criba rotatoria de las corrientes de residuos pertenecientes al mezclado de los RCD (parte 2). Fuente: Elaboración propia

17 02 02	Vidrio	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	61,6	89,18
		20cm > Promedio > 4 mm	89,18	4mm > Fino > 0,063	32,0	46,26
		< 4 mm	55,51	2mm > Todas en una	6,4	9,25
17 02 03 (Plástico)	No film, no pvc	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	68,0	129,66
		20cm > Promedio > 4 mm	129,66	4mm > Fino > 0,063	27,4	52,20
		< 4 mm	60,96	2mm > Todas en una	4,6	8,76
	PVC	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	68,0	114,99
		20cm > Promedio > 4 mm	114,99	4mm > Fino > 0,063	27,4	46,29
		< 4 mm	54,06	2mm > Todas en una	4,6	7,77
17 06 04	Material aislante	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	75,6	1.399,32
		20cm > Promedio > 4 mm	1.399,32	4mm > Fino > 0,063	20,8	384,97
		< 4 mm	452,75	2mm > Todas en una	3,7	67,78
15 01 01	Empaques de papel y cartón	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	74,5	69,58
		20cm > Promedio > 4 mm	69,58	4mm > Fino > 0,063	21,7	20,24
		< 4 mm	23,80	2mm > Todas en una	3,8	3,56
15 01 06 (Embalaje mixto)	Tablas de madera	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	68,0	450,03
		20cm > Promedio > 4 mm	450,03	4mm > Fino > 0,063	27,4	181,17
		< 4 mm	211,57	2mm > Todas en una	4,6	30,40
	Cartón	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	68,0	189,33
		20cm > Promedio > 4 mm	189,33	4mm > Fino > 0,063	27,4	76,22
		< 4 mm	89,01	2mm > Todas en una	4,6	12,79
Films de polietileno	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	68,0	128,16	
	20cm > Promedio > 4 mm	128,16	4mm > Fino > 0,063	27,4	51,60	
	< 4 mm	60,25	2mm > Todas en una	4,6	8,66	

De la misma forma, como la parte 3 de la tabla está formada por materiales metálicos que poseen una gran ductilidad, los porcentajes de salida de la fracción gruesa son muy elevados.

Tabla 4.16: Separación por tamaño en la criba rotatoria de las corrientes de residuos pertenecientes al mezclado de los RCD (parte 3). Fuente: Elaboración propia

17 04 01	Cobre, bronce, latón	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	74,5	0,10
		20cm > Promedio > 4 mm	0,10	4mm > Fino > 0,063	21,7	0,03
		< 4 mm	0,03	2mm > Todas en una	3,8	0,00
17 04 02	Aluminio	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	74,5	0,10
		20cm > Promedio > 4 mm	0,10	4mm > Fino > 0,063	21,7	0,03
		< 4 mm	0,03	2mm > Todas en una	3,8	0,00
17 04 03	Plomo	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	74,5	3,09
		20cm > Promedio > 4 mm	3,09	4mm > Fino > 0,063	21,7	0,90
		< 4 mm	1,06	2mm > Todas en una	3,8	0,16
17 04 04	Zinc	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	74,5	0,10
		20cm > Promedio > 4 mm	0,10	4mm > Fino > 0,063	21,7	0,03
		< 4 mm	0,03	2mm > Todas en una	3,8	0,00
17 04 05	Hierro y Acero	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	74,5	35,18
		20cm > Promedio > 4 mm	35,18	4mm > Fino > 0,063	21,7	10,23
		< 4 mm	12,03	2mm > Todas en una	3,8	1,80
17 04 06	Estaño	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	74,5	2,44
		20cm > Promedio > 4 mm	2,44	4mm > Fino > 0,063	21,7	0,71
		< 4 mm	0,83	2mm > Todas en una	3,8	0,12
17 04 11	Cables	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	74,5	0,10
		20cm > Promedio > 4 mm	0,10	4mm > Fino > 0,063	21,7	0,03
		< 4 mm	0,03	2mm > Todas en una	3,8	0,00
TOTAL			10.559,42			10.559,42

Una vez realizada la separación en la criba rotativa, las cantidades correspondientes a la fracción gruesa prosiguen el proceso para un tratamiento de separación más elaborado, mientras que las cantidades correspondientes a la fracción fina y todas en una abandonan finalmente el proceso. En la figura 4.3 se puede ver el balance de masas resultante de la criba rotatoria.



Figura 4.3: Balance de masas sobre la criba rotatoria. Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en la figura, aproximadamente 20 mil toneladas de residuos mezclados de la fracción fina y todas en una abandonan el proceso para la elaboración de áridos reciclados cerámicos mixtos de baja calidad. En torno a 18 toneladas de residuos gruesos son destinados al tamizado por flujo de aire.

4.1.7 Separación por densidad en el tamiz por flujo de aire

La mezcla de los RCD's gruesos provenientes de la criba rotativa es introducida en el tamiz de flujo de aire para separar los materiales de baja densidad de la corriente principal. Esta maquinaria se emplea con la fracción gruesa de la mezcla de residuos porque solo rinde en condiciones de absoluto secado y para partículas mayores a los 4mm.

El principio de este equipo reside en el empleo de ventiladores que soplan aire a través del flujo de residuos para extraer materiales de baja densidad como el papel, cartón, plásticos y madera. Se considera un 80% de separación, ya que las partículas de los materiales mencionados son susceptibles a quedarse atrapados entre otros tipos de residuos. Las corrientes afectadas en este proceso se muestran en la tabla 4.17 junto con los porcentajes y las cantidades resultantes de la separación.

Tabla 4.17: Separación por barrido de viento de las corrientes de residuos de baja densidad. Fuente: Elaboración propia

CER	Descripción	Tamizado por flujo de aire			
		Tamaño de partícula	Ton	% Separación	Ton
17 02 01	Madera	Grueso > 4mm	649,89	80	519,91
17 02 03 (Plástico)	No film, no pvc	Grueso > 4mm	129,66	80	103,73
	PVC	Grueso > 4mm	114,99	80	91,99
17 06 04	Material aislante	Grueso > 4mm	1.399,32	80	1.119,46
15 01 01	Empaques de papel y cartón	Grueso > 4mm	69,58	80	55,67
15 01 06 (Embalaje mixto)	Tablas de madera	Grueso > 4mm	450,03	80	360,03
	Cartón	Grueso > 4mm	189,33	80	151,47
	Films de polietileno	Grueso > 4mm	128,16	80	102,53
TOTAL			3.130,97		2.504,78

Lo que quiere decir que de las 18.000 toneladas de mezcla de residuos gruesos provenientes de la criba rotatoria, aproximadamente 2.505 toneladas son extraídas en este proceso de separación. Las 15.494,09 toneladas resultantes son destinadas a la cabina de clasificado manual para una última extracción.

4.1.8 Separación final en la cabina de clasificado manual

La mezcla de residuos gruesa proveniente del tamizador por flujo de aire llega finalmente a la cabina de clasificado manual para un último proceso de extracción. En esta etapa final del proceso de la planta básica, se emplea la percepción visual de los trabajadores de la planta para extraer aquellos residuos que no han podido ser separados previamente en la planta y poseen propiedades perjudiciales para el producto reciclado final. Se estima que el 30% de los metales, plásticos, papel, cartón y fragmentos de madera son separados de la corriente principal en este proceso. Las corrientes afectadas en este proceso se muestran en la tabla 4.18 junto con los porcentajes y las cantidades resultantes de la separación.

Como se puede ver en la tabla, aproximadamente 200 toneladas de residuos son extraídas de la corriente principal. Esto resulta en una salida de planta de la fracción gruesa formada mayoritariamente por residuos pétreos, dando lugar a una mezcla de residuos limpia que nos permite elaborar áridos reciclados de mayor calidad.

Tabla 4.18: Extracción manual en la cabina de clasificado. Fuente: Elaboración propia

CER	Descripción	Tamaño de partícula	Extracción manual en la cabina de clasificado		
			Ton	% Separación	Ton
17 02 01	Madera	Grueso > 4mm	129,98	30	38,99
17 02 03 (Plástico)	No film,no pvc	Grueso > 4mm	25,93	30	7,78
	PVC	Grueso > 4mm	23,00	30	6,90
17 06 04	Material aislante	Grueso > 4mm	279,86	30	83,96
15 01 01	Empaques de papel y cartón	Grueso > 4mm	13,92	30	4,17
15 01 06 (Embalaje mixto)	Tablas de madera	Grueso > 4mm	90,01	30	27,00
	Cartón	Grueso > 4mm	37,87	30	11,36
	Films de polietileno	Grueso > 4mm	25,63	30	7,69
17 04 01	Cobre, bronce, latón	Grueso > 4mm	0,10	30	0,03
17 04 02	Aluminio	Grueso > 4mm	0,10	30	0,03
17 04 03	Plomo	Grueso > 4mm	3,09	30	0,93
17 04 04	Zinc	Grueso > 4mm	0,10	30	0,03
17 04 05	Hierro y Acero	Grueso > 4mm	35,18	30	10,55
17 04 06	Estaño	Grueso > 4mm	2,44	30	0,73
17 04 11	Cables	Grueso > 4mm	0,10	30	0,03
TOTAL			667,29		200,19

En la figura 4.4, se puede observar el balance de masas de esta etapa final, donde se incluyen las cantidades de residuos extraídas sobre la corriente principal y de la fracción gruesa resultante.



Figura 4.4: Balance de masas resultante en la cabina de clasificado. Fuente: Elaboración propia

En torno a 15.294 toneladas forman la salida final de planta como una mezcla de residuos gruesos formada mayoritariamente por residuos pétreos que se destina a la elaboración de áridos cerámicos mixtos.

4.1.9 Globalización de los resultados

En este último apartado, se resume todo el proceso de planta descrito anteriormente mediante un diagrama de flujos que recoge todas las etapas del proceso, junto con las salidas determinadas y la proporción cuantitativa del grupo de RCD's que le corresponde. Con el fin de resumir y clarificar aún más el proceso de la planta, al diagrama de flujo le sigue una tabla resumen donde se especifican las cantidades exactas de salida, la corriente de residuos original de la que provienen y las cantidades exactas del grupo de mezclado por la que están compuestas. Para concluir, se ilustra de forma gráfica mediante un diagrama Shankey, las cantidades de las corrientes de entrada convergiendo en las salidas resultantes de manera proporcional.

Este sistema de resumen, se inicia con el escenario en cuestión (1-A), mediante el cual se ha redactado todo el proceso de planta completo, y a continuación se generaliza para el resto de los escenarios que también son caso de estudio. Como se especificó anteriormente, se ha decidido no redactar el proceso de planta completo junto con las tablas de cálculo correspondientes para el resto de escenarios, debido a que los procesos de planta siguen procedimientos idénticos que difieren únicamente en los valores de entrada y los valores de salida resultantes.

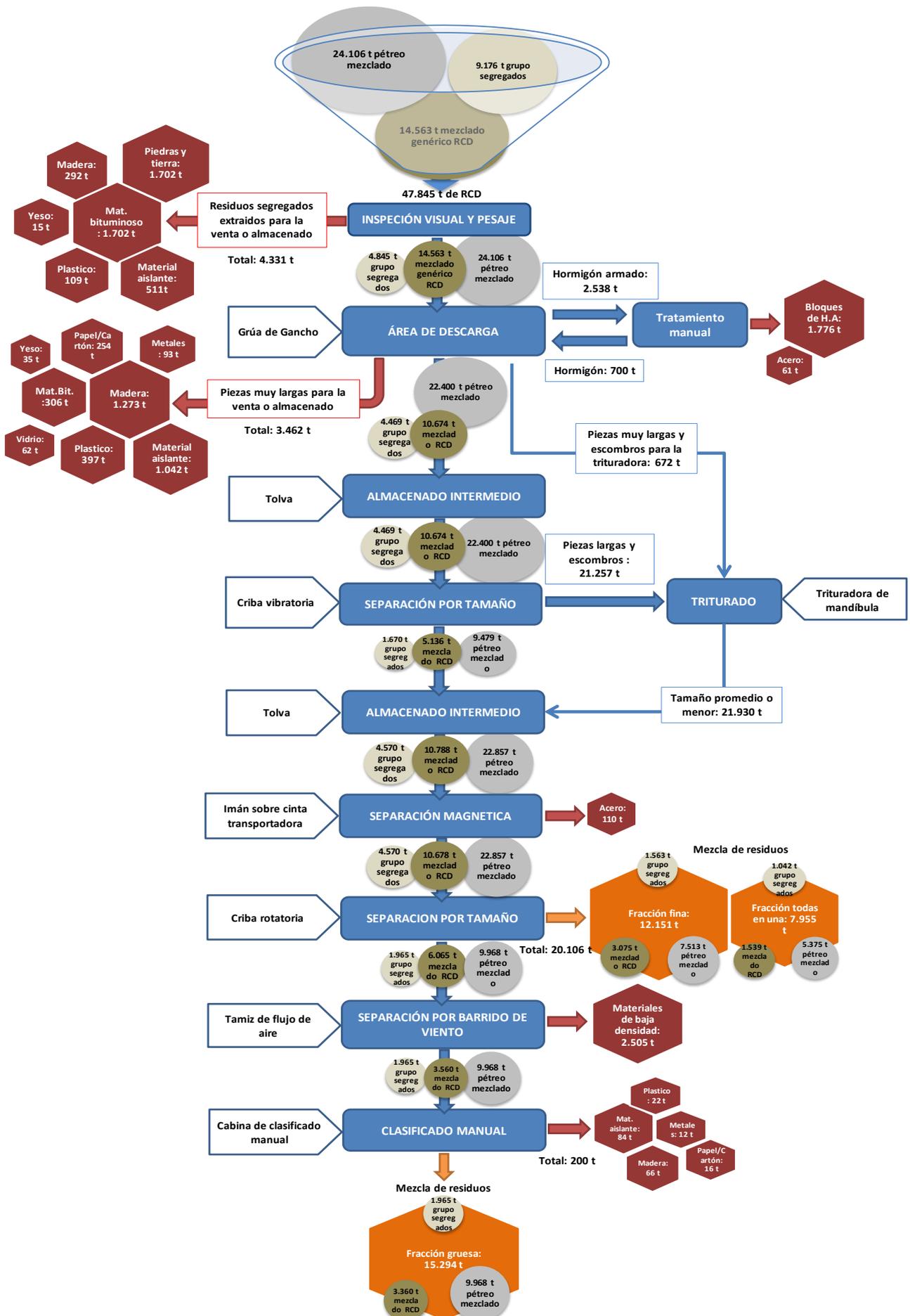


Gráfico 4.2: Diagrama de flujo Escenario 1-A / Planta tipo básica. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.19: Tabla resumen de las corrientes de salida del Escenario 1-A / Planta tipo básica. Fuente: Elaboración propia.

ENTRADA		SALIDA						
Grupo	Ton	Material	Ton	Composición	Ton	Segregado	Contenido (Ton)	
							Pétreo mezclado	RCD mezclado
Segregado	9.176,51	Bloques de H.A	1.776,28	Bloques de H.A	1.776,28	266,44	1.207,87	301,97
		Basado en yeso	49,32	Basado en yeso	49,32	14,59	0	34,73
		Madera	1.630,65	Madera	1.124,56	291,82	0	832,74
				Tablas de madera	506,09	0	0	506,09
		Plástico	528,69	Otro plástico	203,82	58,00	0	145,82
				Plástico PVC	180,74	51,43	0	129,31
				Films de polietileno	144,13	0	0	144,13
Pétreo mezclado	24.106,01	Papel/cartón	269,62	Cartón	212,92	0	0	212,92
				Empaques de papel y cartón	56,70	0	0	56,70
		Árido cerámico mixto	35.400,11	Grueso	15.293,91	1965,04	9.968,46	3.360,40
				Fino	12.150,97	1562,89	7.513,12	3.074,96
				Todas en una	7.955,23	1041,93	5.375,14	1.538,16
		Metales	276,37	Cobre, bronce, latón	0,10	0	0	0,10
				Aluminio	0,10	0	0	0,10
Plomo	3,26			0	0	3,26		
Zinc	0,10			0	0	0,10		
Mezclado genérico de RCD's	14.562,69	Hierro y acero	270,13	9,14	41,41	219,58		
		Estaño	2,57	0	0	2,57		
		Cables	0,10	0	0	0,10		
		Piedras y tierra	1.702,27	1.702,27	1.702,27	0	0	
		Material bituminoso	2.008,68	2.008,68	1.702,27	0	306,41	
		Vidrio	62,01	62,01	0	0	62,01	
		Materiales baja densidad	2.504,78	2.504,78	0	0	2.504,78	
Otros residuos	1.636,43	Material aislante	1.636,43	510,68	0	1.125,75		
Total	47.845,21		47.845,21		47.845,21	9.176,51	24.106,01	14.562,69

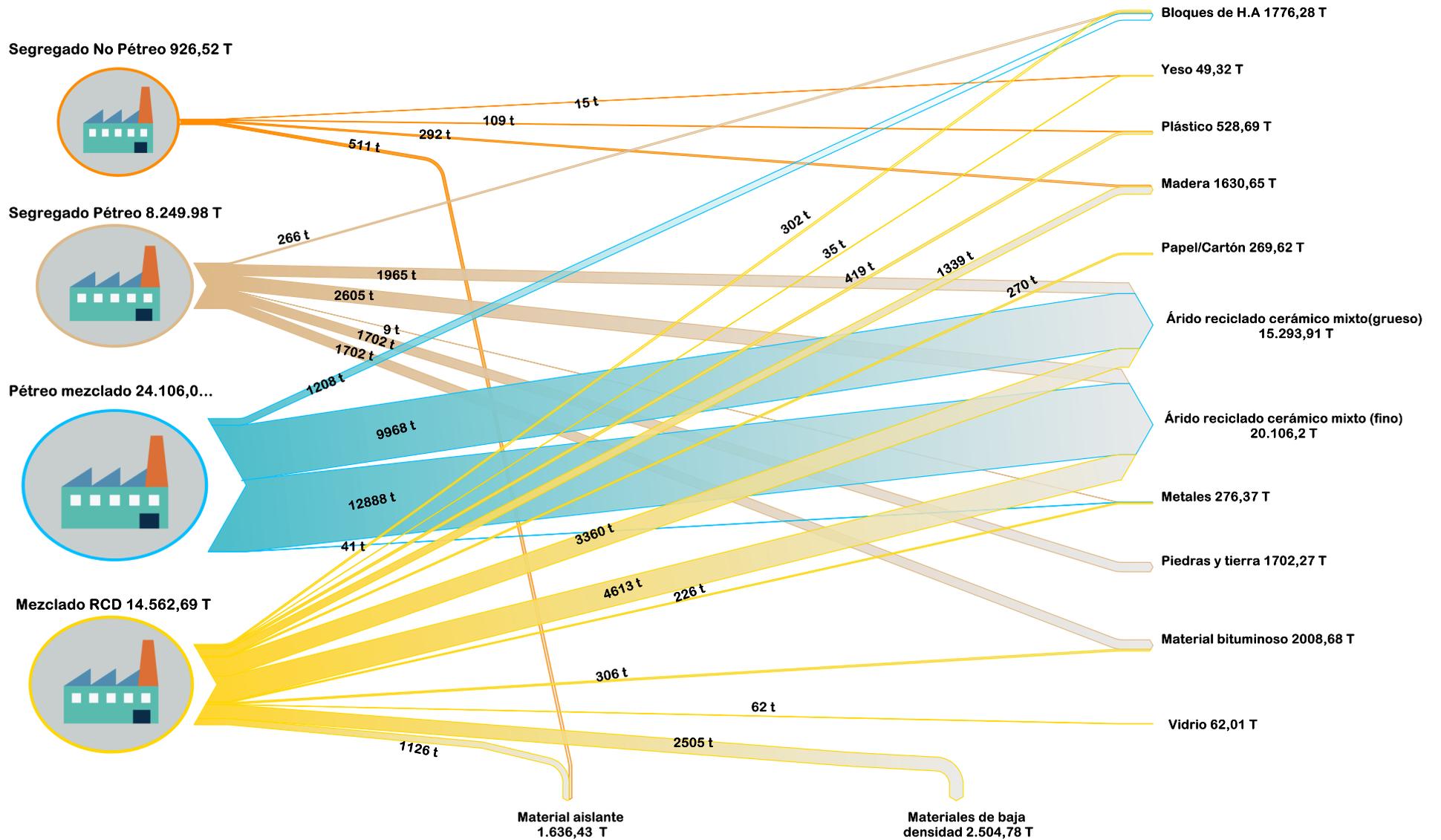


Gráfico 4.3: Diagrama Shankey de las corrientes de entrada y salida del Escenario 1-A / Planta tipo básica. Fuente: Elaboración propia.

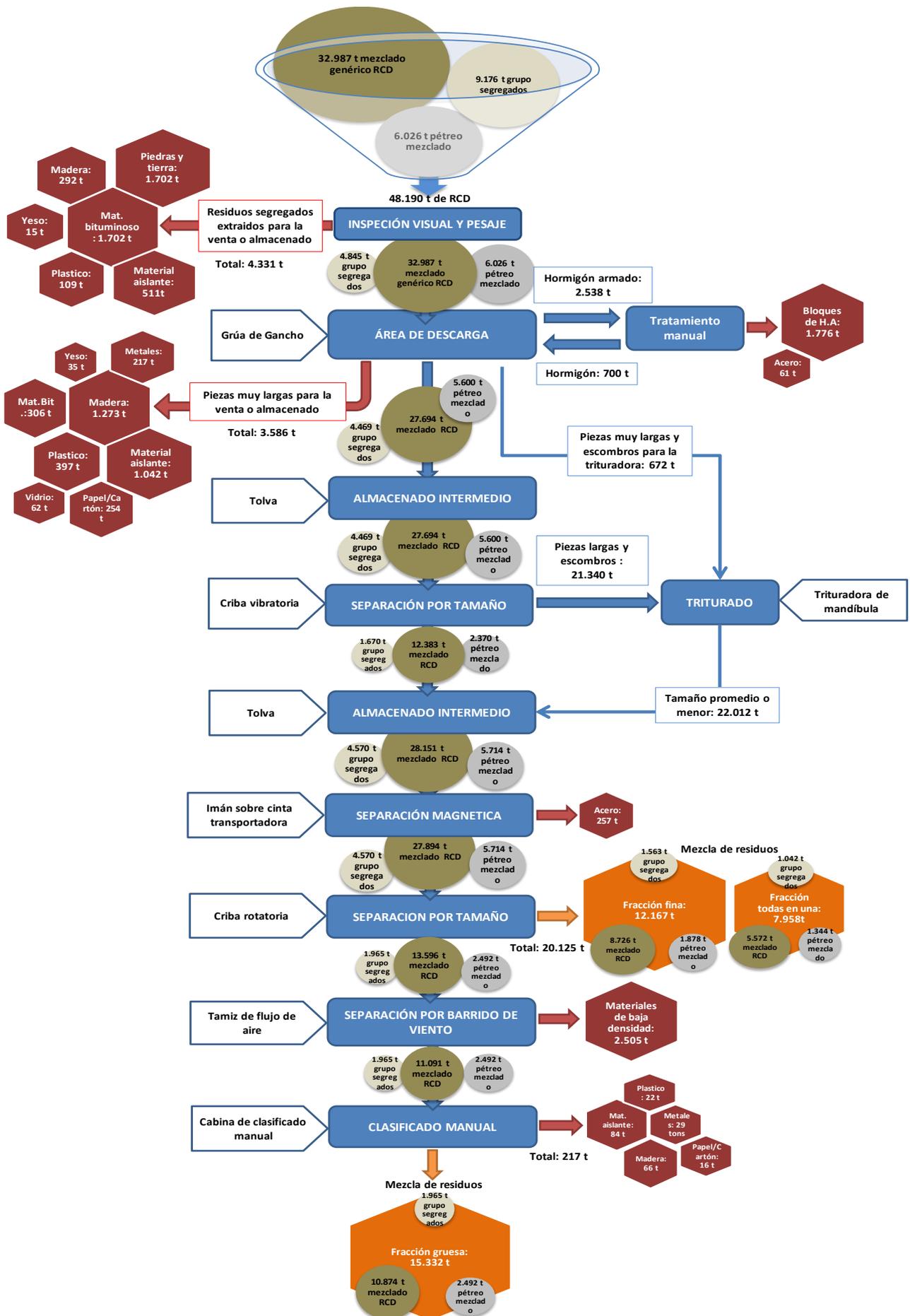


Gráfico 4.4: Diagrama de flujo Escenario 1-B / Planta tipo básica. Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.20: Tabla resumen de las corrientes de salida del Escenario 1-B / Planta tipo básica. Fuente: Elaboración propia.

ENTRADA		SALIDA						
Grupo	Ton	Material	Ton	Composición	Ton	Segregado	Contenido (Ton)	
							Pétreo mezclado	RCD mezclado
Segregado	9.176,51	Bloques de H.A	1.776,28	Bloques de H.A	1.776,28	266,44	301,97	1.207,87
		Basado en yeso	49,32	Basado en yeso	49,32	14,59	0	34,73
		Madera	1.630,65	Madera	1.124,56	291,82	0	832,74
				Tablas de madera	506,09	0	0	506,09
		Plástico	528,69	Otro plástico	203,82	58,00	0	145,82
				Plástico pvc	180,74	51,43	0	129,31
				Films de polietileno	144,13	0	0	144,13
Papel/cartón	269,62	Cartón	212,92	0	0	212,92		
		Empaques de papel y cartón	56,70	0	0	56,70		
Pétreo mezclado	6.026,50	Árido cerámico mixto	35.457,20	Grueso	15.332,26	1965,04	2.492,12	10.875,10
				Fino	12.166,91	1562,89	1.878,28	8.725,73
				Todas en una	7.958,03	1041,93	1.343,79	5.572,32
		Metales	563,66	Cobre, bronce, latón	0,24	0	0	0,24
				Aluminio	0,24	0	0	0,24
				Plomo	7,61	0	0	7,61
				Zinc	0,24	0	0	0,24
Mezclado genérico de RCD's	32.986,59	Hierro y acero	549,11	9,14	10,35	529,62		
		Estaño	6,01	0	0	6,01		
		Cables	0,24	0	0	0,24		
		Piedras y tierra	1.702,27	1.702,27	0	0		
		Material bituminoso	2.008,68	2.008,68	1.702,27	0	306,41	
		Vidrio	62,01	62,01	0	0	62,01	
		Materiales de baja densidad	2.504,78	2.504,78	0	0	2.504,78	
Otros residuos	1.636,43	Material aislante	1.636,43	510,68	0	1.125,75		
Total	48.189,59		48.189,59		48.189,59	9.176,51	6.026,50	32.986,59

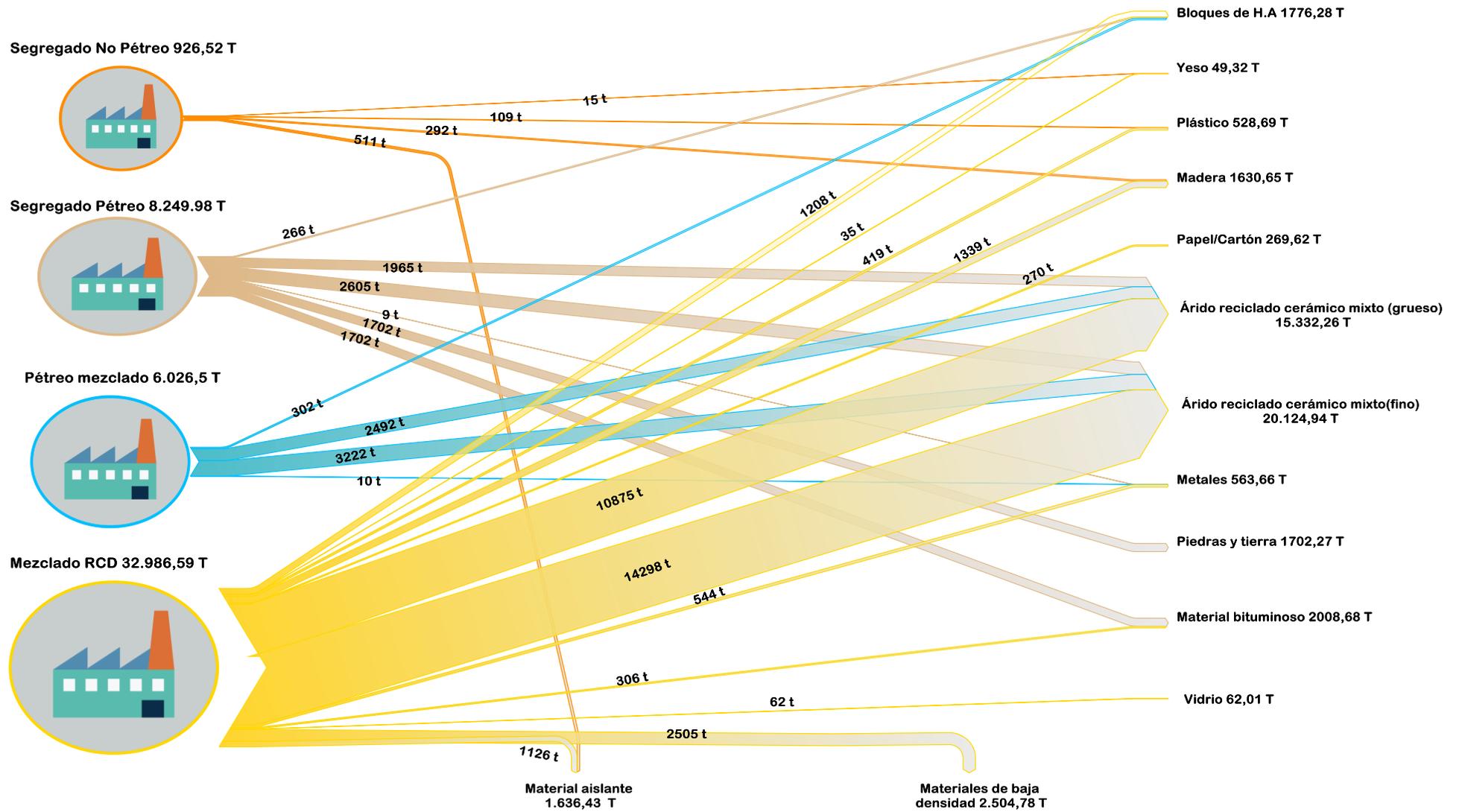


Gráfico 4.5: Diagrama Shankey de las corrientes de entrada y salida del Escenario 1-B / Planta tipo básica. Fuente: Elaboración propia.

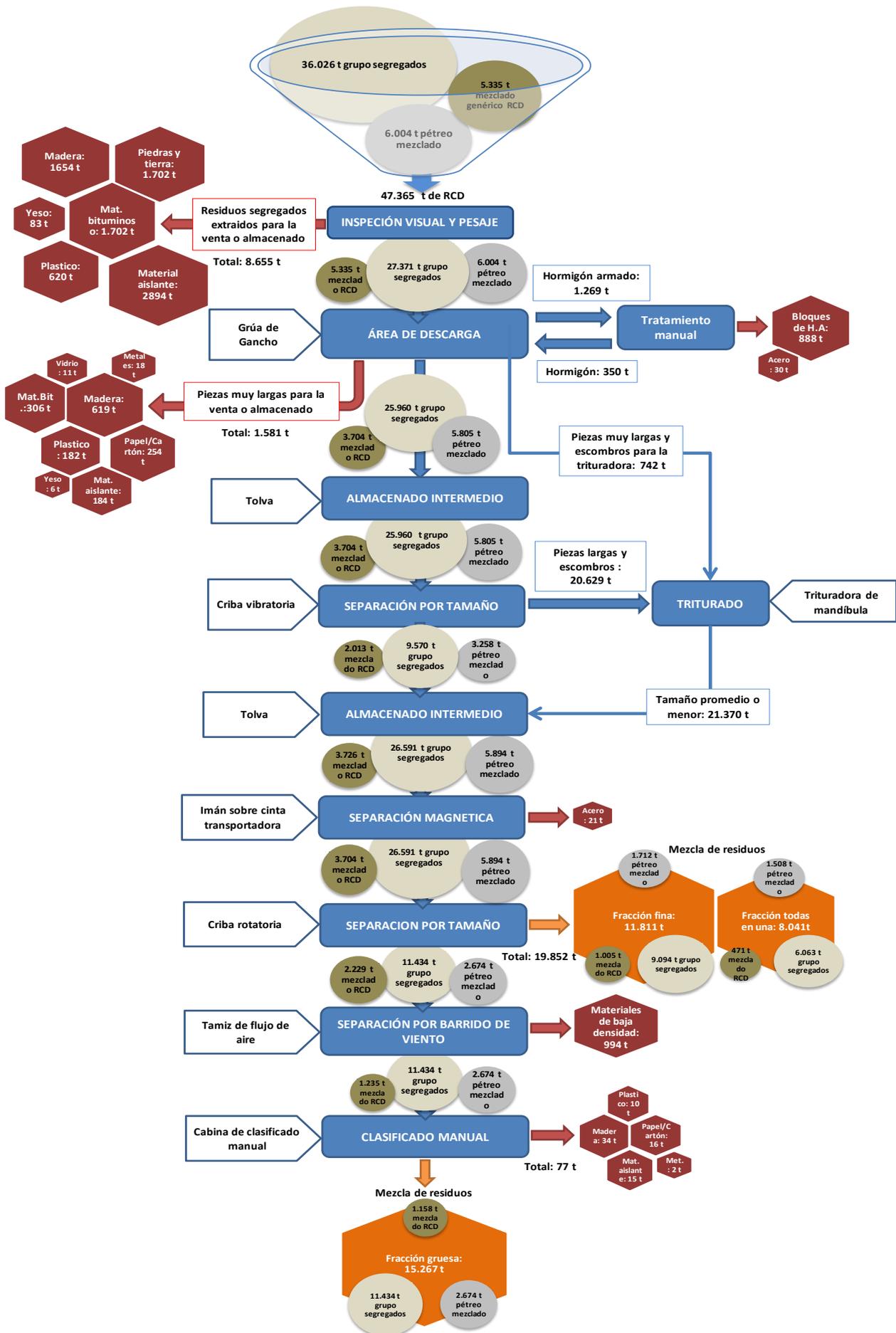


Gráfico 4.6: Diagrama de flujo Escenario 2-A / Planta tipo básica. Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.21: Tabla resumen de las corrientes de salida del Escenario 2-A / Planta tipo básica. Fuente: Elaboración propia.

ENTRADA		SALIDA						
Grupo	Ton	Material	Ton	Composición	Ton	Segregado	Contenido (Ton)	
							Pétreo mezclado	RCD mezclado
Segregado	36.026,07	Bloques de H.A	888,14	Bloques de H.A	888,14	754,92	106,58	26,64
		Basado en yeso	88,81	Basado en yeso	88,81	82,68	0	6,13
		Madera	2.306,68	Madera	1.800,59	1.653,63	0	146,95
				Tablas de madera	506,09	0	0	506,09
		Plástico	812,79	Otro plástico	354,39	328,66	0	25,73
				Plástico pvc	314,27	291,45	0	22,82
				Films de polietileno	144,13	0	0	144,13
Papel/cartón	269,62	Cartón	212,92	0	0	212,92		
		Empaques de papel y cartón	56,70	0	0	56,70		
Pétreo mezclado	6.004,17	Árido cerámico mixto	35.118,98	Grueso	15.266,96	11433,89	2.674,47	1.158,60
				Fino	11.810,98	9093,93	1.711,85	1.005,20
				Todas en una	8.041,05	6062,62	1.507,63	470,80
		Metales	72,36	Cobre, bronce, latón	0,02	0	0	0,02
				Aluminio	0,02	0	0	0,02
				Plomo	0,58	0	0	0,58
				Zinc	0,02	0	0	0,02
Mezclado genérico de RCD's	5.335,10	Hierro y acero	71,26	25,88	3,65	41,72		
		Estaño	0,45	0	0	0,45		
		Cables	0,02	0	0	0,02		
		Piedras y tierra	1.702,27	Piedras y tierra	1.702,27	1.702,27	0	0
		Material bituminoso	2.008,68	Material bituminoso	2.008,68	1.702,27	0	306,41
		Vidrio	10,94	Vidrio	10,94	0	0	10,94
		Materiales de baja densidad	993,53	Materiales de baja densidad	993,53	0	0	993,53
Otros residuos	3.092,52	Material aislante	3.092,52	2.893,86	0	198,66		
Total	47.365,34		47.365,34		47.365,34	36.026,07	6.004,17	5.335,10

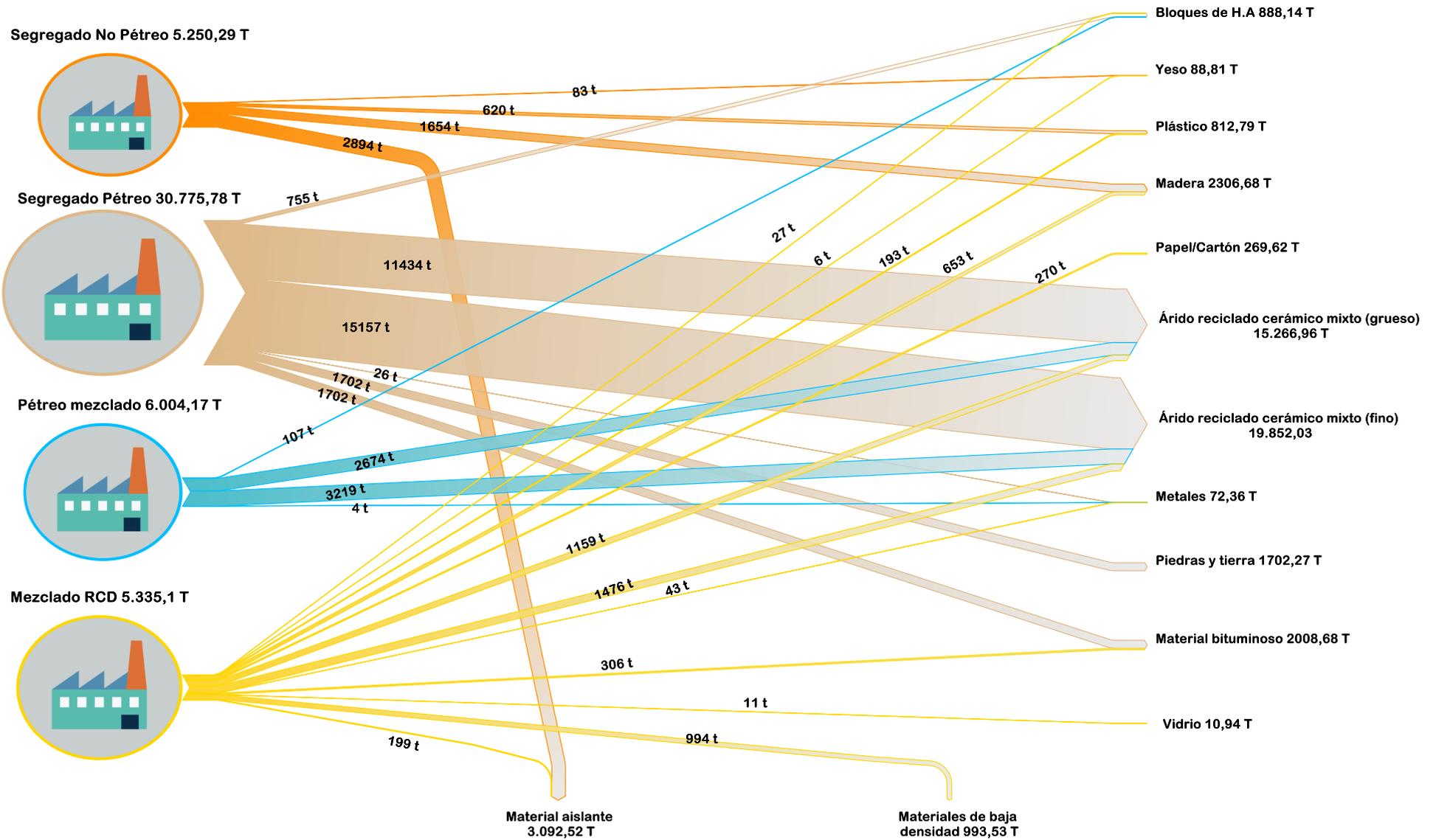


Gráfico 4.7: Diagrama Shankey de las corrientes de entrada y salida del Escenario 2-A / Planta tipo básica. Fuente: Elaboración propia

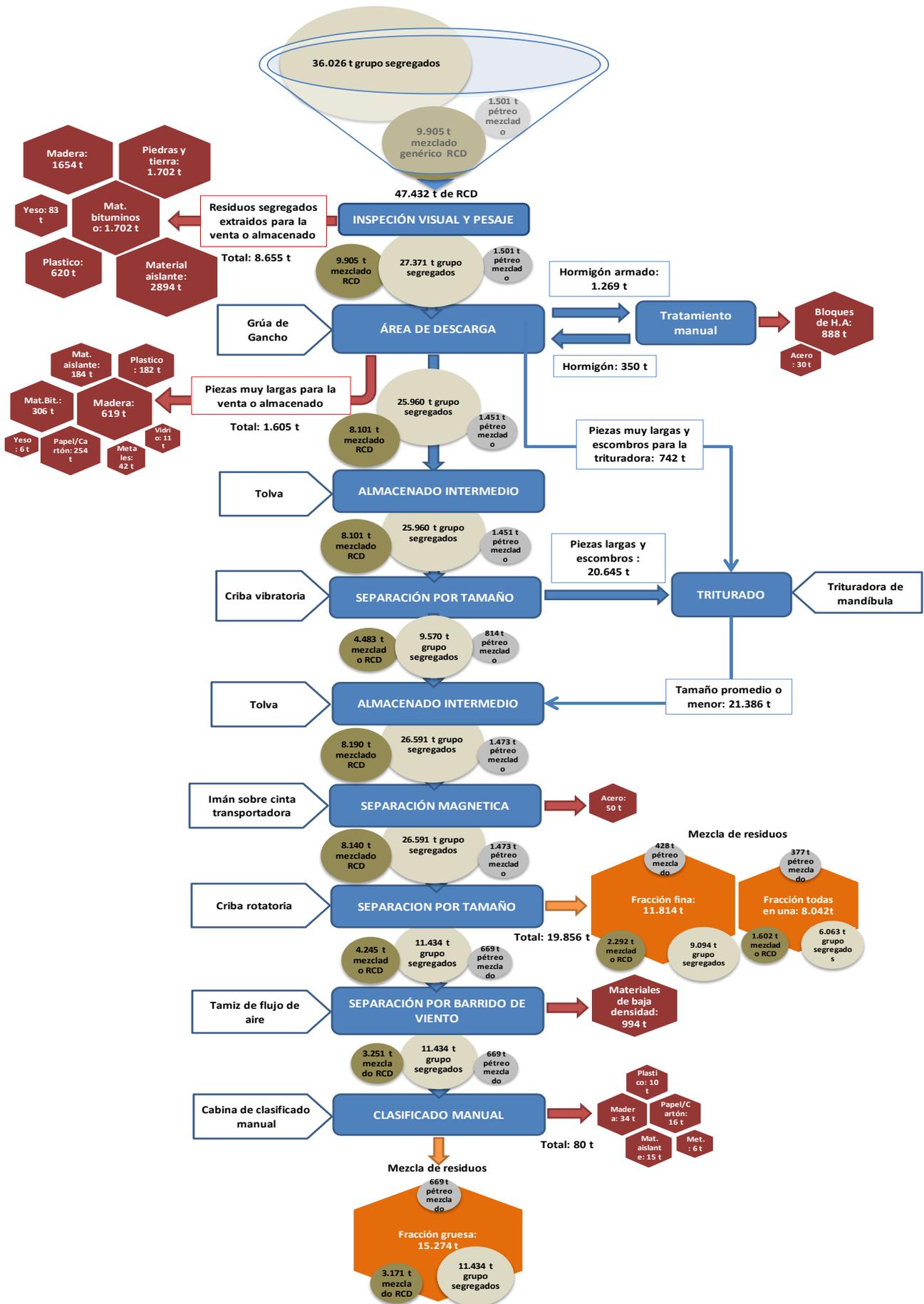


Gráfico 4.8: Diagrama de flujo Escenario 2-B / Planta tipo básica. Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.22: Tabla resumen de las corrientes de salida del Escenario 2-B / Planta tipo básica. Fuente: Elaboración propia.

ENTRADA		SALIDA						
Grupo	Ton	Material	Ton	Composición	Ton	Segregado	Contenido (Ton)	
							Pétreo mezclado	RCD mezclado
Segregado	36.026,07	Bloques de H.A	888,14	Bloques de H.A	888,14	754,92	26,64	106,58
		Basado en yeso	88,81	Basado en yeso	88,81	82,68	0	6,13
		Madera	2.306,68	Madera	1.800,59	1.653,63	0	146,95
				Tablas de madera	506,09	0	0	506,09
		Plástico	812,79	Otro plástico	354,39	328,66	0	25,73
				Plástico pvc	314,27	291,45	0	22,82
				Films de polietileno	144,13	0	0	144,13
		Papel/cartón	269,62	Cartón	212,92	0	0	212,92
				Empaques de papel y cartón	56,70	0	0	56,70
		Pétreo mezclado	1.501,04	Árido cerámico mixto	35.129,97	Grueso	15.274,33	11433,89
Fino	11.814,04					9093,93	427,96	2.292,15
Todas en una	8.041,59					6062,62	376,91	1.602,06
Metales	128,24			Cobre, bronce, latón	0,04	0	0	0,04
				Aluminio	0,04	0	0	0,04
				Plomo	1,34	0	0	1,34
				Zinc	0,04	0	0	0,04
Mezclado genérico de RCD's	9.905,09	Hierro y acero	125,67	25,88	0,91	98,88		
		Estaño	1,06	0	0	1,06		
		Cables	0,04	0	0	0,04		
		Piedras y tierra	1.702,27	1.702,27	1.702,27	0	0	
		Material bituminoso	2.008,68	Material bituminoso	2.008,68	1.702,27	0	306,41
		Vidrio	10,94	Vidrio	10,94	0	0	10,94
		Materiales de baja densidad	993,53	Materiales de baja densidad	993,53	0	0	993,53
		Otros residuos	3.092,52	Material aislante	3.092,52	2.893,86	0	198,66
Total	47.432,20		47.432,20	47.432,20	36.026,07	1.501,04	9.905,09	

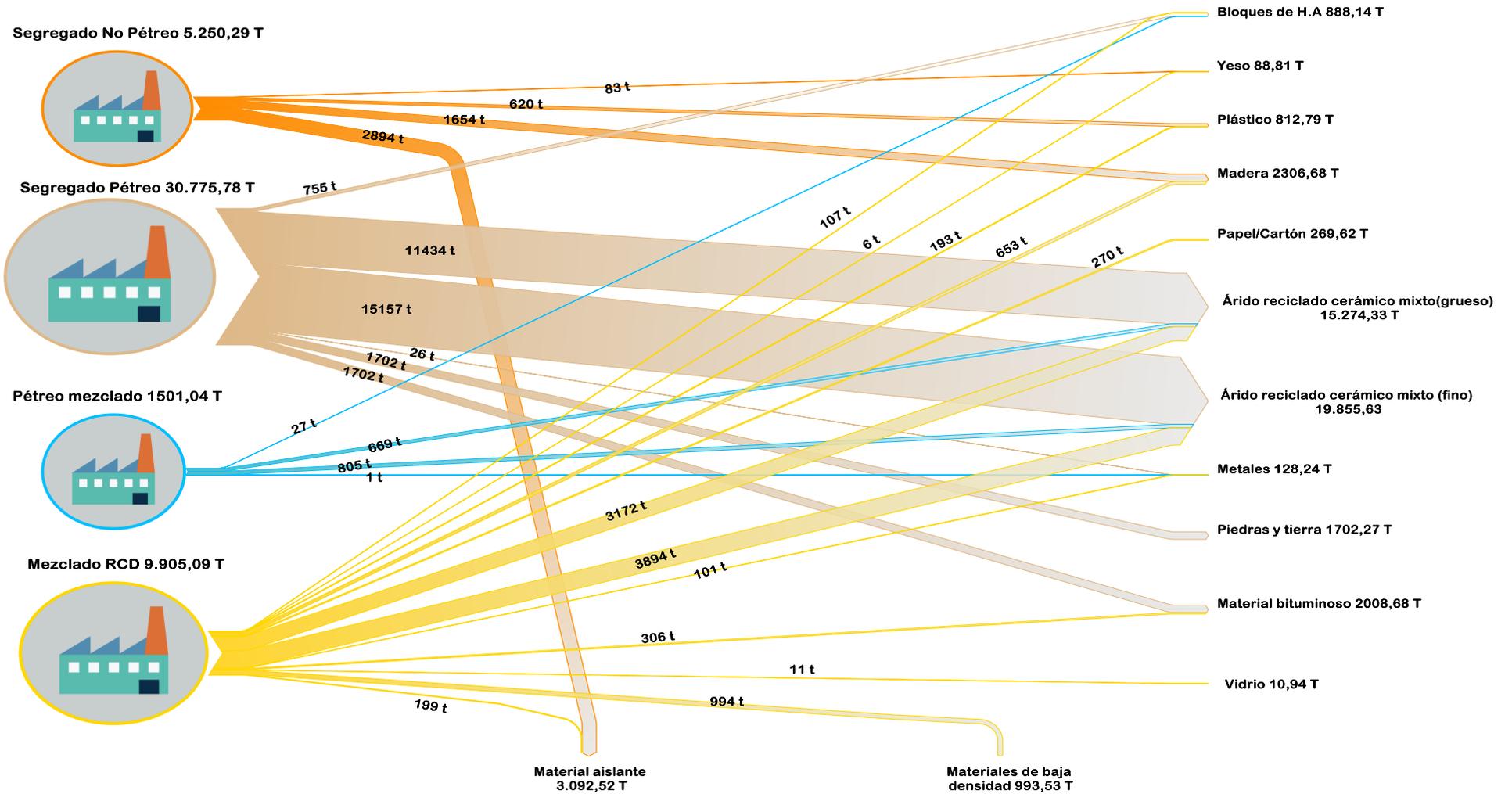


Gráfico 4.9: Diagrama Shankey de las corrientes de entrada y salida del Escenario 2-B / Planta tipo básica. Fuente: Elaboración propia

4.2 PROCESO Y SALIDAS DE LA PLANTA DE RECICLAJE AVANZADA

Una vez desarrollado el proceso completo y determinadas las cantidades de salida de los RCD's de la planta básica con respecto a cada uno de los escenarios, se procede al desarrollo del diagrama de flujo del proceso del tipo de planta avanzada. Para el análisis del proceso, al igual que en la planta básica, se hace uso de las cantidades de entradas a planta determinadas en el escenario 1-A, para finalmente llegar al balance de masas de las salidas de la planta. Los balances de masas de los demás escenarios se determinaran junto a las del escenario 1-A, sin el análisis previo del proceso de planta completo, ya que siguen procedimientos idénticos que divergen únicamente en los valores de entrada.

Como se menciona anteriormente, la planta de reciclaje avanzada se corresponde con una planta de reciclaje moderna de altas prestaciones, en la se hace uso de una maquinaria especializada y avanzada, y se generan productos reciclados de mayor calidad que en la planta básica, por lo que dispone de un proceso de reciclaje más complejo y especializado. Está basada en instalaciones reales de las plantas de reciclaje actuales modernas. Cabe señalar que en este tipo de planta de reciclaje, los RCD's que ingresan al proceso de planta ya no se tratan conjuntamente si no en lotes separados. Los lotes los conforman precisamente los grupos de residuos segregados, el mezclado pétreo y el mezclado genérico de los RCD's, siendo tratados mediante líneas de tratamiento diferentes y en tandas separadas.

A continuación, en el gráfico 4.10, se representa el proceso de la planta de reciclaje avanzada mediante un diagrama de flujo y posteriormente se procede a su desarrollo con las cantidades de entrada del escenario 1-A, un escenario que sigue las políticas de segregación en origen convencionales pero que fomenta el mezclado uniforme de los RCD's.

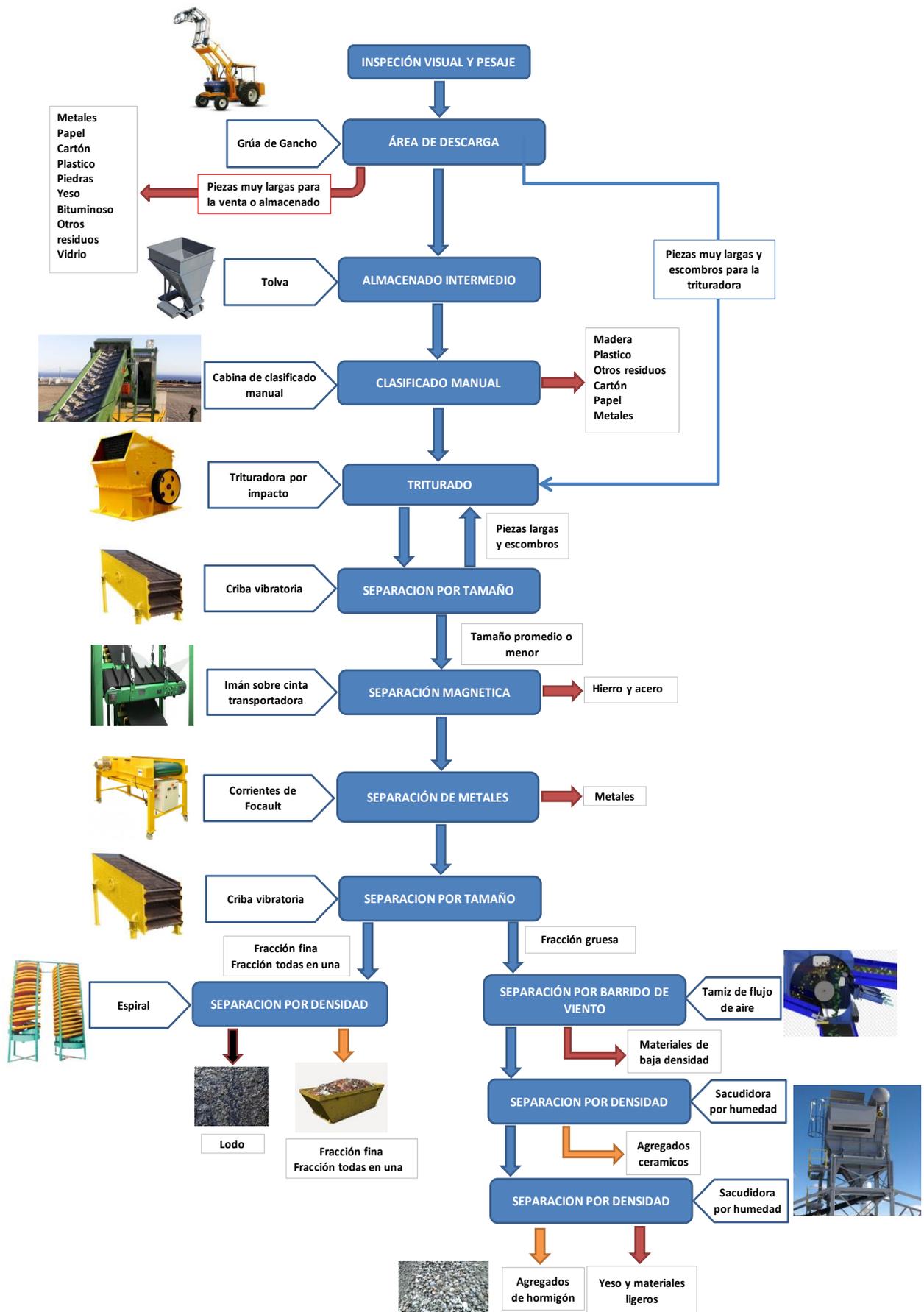


Gráfico 4.10: Diagrama de flujo del proceso de planta tipo avanzada. Fuente: Elaboración propia

4.2.1 Inspección visual y pesaje

De la misma forma que en la planta de reciclaje básica, el primer paso antes de iniciar con el proceso de la planta y poner la maquinaria en marcha, consiste en la inspección visual y el pesaje de los RCD's que forman las entradas de la planta.

Como se menciona previamente, el proceso de planta se desarrollará con las entradas del escenario 1-A y posteriormente se generalizará para los demás escenarios mediante un balance de masas de las entradas y salidas de planta finales.

En las tablas 4.23, 4.24 y 4.25, se muestran las entradas a planta del escenario en cuestión junto con sus cantidades exactas, correspondientes a la inspección y al pesaje. Se prescinde de aquellas corrientes de residuos segregadas (metales y vidrio) y del mezclado de metales, que fueron destinadas previamente al manager de residuos para su venta.

Tabla 4.23: Cantidades de los residuos segregados correspondientes a la inspección y al pesaje del escenario 1-A. Fuente: Elaboración propia

Grupo	CER	Descripción	Ton
Segregado	17 01 01	Hormigón	525,27
	17 01 01	Total	380,63
	(Hormigón armado)	Hormigón	350,18
		Acero	30,45
	17 01 02	Ladrillos	2.757,68
	17 01 03	Azulejos y cerámicos	1.181,86
	17 02 01	Madera	291,82
	17 02 03	Plástico	109,43
	17 03 02	Material bituminoso	1.702,27
	17 05 04	Piedras y tierra	1.702,27
	17 08 02	Yeso para construcción	14,59
	17 06 04	Material aislante	510,68
	Total segregado		

Ahora bien, de todas las corrientes de residuos segregadas mostradas en la tabla 4.23, las únicas que se introducen al proceso de la planta son la del "Hormigón", "Hormigón armado", "Ladrillos", y "Azulejos y cerámicos". El resto de corrientes son tratadas manualmente y posteriormente almacenadas o directamente almacenadas, ya sea para su venta o por qué poseen propiedades perjudiciales para el producto reciclado final, como se especificó en la tabla 3.31. Esto quiere decir que de la totalidad de las 9.176,51 toneladas de residuos segregados entrantes en la planta, 4.845,44 toneladas son las que realmente siguen el tratamiento.

A diferencia que en la planta básica, en la planta avanzada no se requiere del tratamiento manual previo del hormigón armado. Al disponer de una maquinaria más especializada, el hormigón armado se introduce directamente al proceso.

Tabla 4.24: Cantidades de los residuos del pétreo mezclado correspondientes a la inspección y al pesaje del escenario 1-A.

Fuente: Elaboración propia

Grupo	CER	Descripción	Ton
Pétreo mezclado	17 01 01	Hormigón	2.381,23
	17 01 01	Total	1.725,53
	(Hormigón armado)	Acero	138,04
		Hormigón	1.587,49
	17 01 02	Ladrillos	12.501,47
	17 01 03	Azulejos y cerámicos	5.357,77
		Arena, grava y otros agregados	1.556,36
	17 05 04	Piedras y tierra	583,64
Total pétreo mezclado			24.106,01

Todas las corrientes de residuos pertenecientes al mezclado pétreo son introducidas al proceso de la planta.

Tabla 4.25: Cantidades de los residuos del mezclado de los RCD correspondientes a la inspección y al pesaje del escenario

1-A. Fuente: Elaboración propia

Grupo	CER	Descripción	Ton
RCD Mezclado	17 02 01	Madera	1.653,63
	17 02 02	Vidrio	206,70
	17 02 03	Plástico	620,11
	17 03 02	Materia bituminoso	729,54
	17 08 02	Yeso de construcción	82,68
	17 01 01	Hormigón	595,31
	17 01 01	Total	431,38
	(Hormigón armado)	Acero	34,51
		Hormigón	396,87
	17 01 02	Ladrillos	3.125,37
	17 01 03	Azulejos y cerámicos	1.339,44
	17 06 04	Material aislante	2.893,86
	17 04 01	Cobre, bronce y latón	0,20
	17 04 02	Aluminio	0,20
	17 04 03	Plomo	6,48
	17 04 04	Zinc	0,20
	17 04 05	Hierro	245,89
	17 04 06	Estaño	5,12
	17 04 11	Cables	0,20
		Arena, grava y otros agregados	389,09
	17 05 04	Piedras y tierra	145,91
	15 01 01	Empaques de papel y cartón	145,91
	15 01 06	Embalaje mezclado	1.945,45
Total RCD mezclado			14.562,69

De la misma forma que en el mezclado pétreo, todas las corrientes de residuos pertenecientes al mezclado de los RCD's son introducidas al proceso.

No obstante, cabe recordar que en el proceso de esta planta los residuos se tratan en lotes separados y no conjuntamente. Los lotes de residuos los conforman los grupos de corrientes segregadas, el mezclado pétreo y el mezclado genérico de los RCD's. Restando las corrientes segregadas que son desviadas del proceso, un total de 43.514,14 toneladas serán introducidas en el área de descarga.

4.2.2 Área de descarga: extracción por grúa de gancho

Al igual que en la planta básica, en el área de descarga se emplea la grúa de gancho para una primera clasificación. Se utiliza para la extracción de residuos con grandes dimensiones que deben ser separados de la corriente principal.

Si bien en este caso no se requiere del tratamiento manual del hormigón armado, se considera que el 20% del total del hormigón armado viene ya separado debido a las continuas roturas sufridas durante la demolición.

Como es lógico, tanto las distribuciones de tamaño de partícula iniciales como los porcentajes que le corresponden a cada clasificado de dicha distribución, que varían dependiendo del tipo de residuo, se corresponden con las establecidas para la planta básica.

En las tablas 4.26, 4.27 y 4.28 se muestran las distribuciones de tamaño de partícula iniciales junto con los porcentajes correspondientes de cada material, y los porcentajes correspondientes a la extracción de materiales de grandes dimensiones realizadas por la grúa de gancho.

Tabla 4.26: Extracción por grúa de gancho de las corrientes de residuos segregadas. Fuente: Elaboración propia

CER	Descripción	Entrada		Extracción por grúa de gancho		Tolva	Trituradora	Almacenado	
		Tamaño de partícula	% Inicial	Ton	% Extracción	Ton	Ton	Ton	Ton
17 01 01	Hormigón	Escombros > 40 mm	85	446,48	10	44,65	401,83	44,65	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	10	52,53	0	0,00	52,53	0,00	0,00
		< 4 mm	5	26,26	0	0,00	26,26	0,00	0,00
17 01 01	Hormigón armado	Escombros > 40 mm	100	304,51	10	30,45	274,05	30,45	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	0	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
		< 4 mm	0	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
17 01 01	Hormigón (roto)	Escombros > 40 mm	0	0,00	10	0,00	0,00	0,00	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	75	52,53	0	0,00	52,53	0,00	0,00
		< 4 mm	25	17,51	0	0,00	17,51	0,00	0,00
17 01 01	Hierro y acero(roto)	Piezas largas	60	3,65	60	2,19	1,46	0,00	2,19
		20cm > Promedio > 4 mm	30	1,83	20	0,37	1,46	0,00	0,37
		< 4 mm	10	0,61	0	0,00	0,61	0,00	0,00
17 01 02	Ladrillos	Escombros > 40 mm	60	1.654,61	2	33,09	1.621,51	33,09	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	25	689,42	0	0,00	689,42	0,00	0,00
		< 4 mm	15	413,65	0	0,00	413,65	0,00	0,00
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombros > 40 mm	60	709,12	2	14,18	694,93	14,18	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	25	295,47	0	0,00	295,47	0,00	0,00
		< 4 mm	15	177,28	0	0,00	177,28	0,00	0,00
TOTAL				4.845,44		124,93	4.720,51	122,37	2,56

Las corrientes de “Hormigón (roto)” y “Hierro y acero (roto)” se corresponden con el 20 % del hormigón armado que entra en la planta de forma fracturada. En la tabla 4.26, de la cantidad total extraída por la grúa de gancho aproximadamente 122 toneladas se envían directamente a la trituradora debido a sus grandes dimensiones y 2,5 toneladas de acero son almacenadas para su posterior venta.

Tabla 4.27: Extracción por grúa de gancho de las corrientes de residuos pertenecientes al mezclado pétreo. Fuente: Elaboración propia

CER	Descripción	ENTRADA			Extracción por grúa de gancho		Tolva Ton	Trituradora Ton	Almacenado Ton
		Tamaño de partícula	% Inicial	Ton	% Extracción	Ton			
17 01 01	Hormigón	Escombros > 40 mm	85	2.024,05	10	202,40	1.821,64	202,40	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	10	238,12	0	0,00	238,12	0,00	0,00
		< 4 mm	5	119,06	0	0,00	119,06	0,00	0,00
17 01 01	Hormigón armado	Escombros > 40 mm	100	1.380,42	10	138,04	1.242,38	138,04	0,00
17 01 01	Hormigón(roto)	Escombros > 40 mm	0	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	75	238,12	0	0,00	238,12	0,00	0,00
		< 4 mm	25	79,37	0	0,00	79,37	0,00	0,00
17 01 01	Hierro y acero(roto)	Piezas largas	60	16,57	60	9,94	6,63	0,00	9,94
		20 cm > Promedio > 4 mm	30	8,28	20	1,66	6,63	0,00	1,66
		< 4 mm	10	2,76	0	0,00	2,76	0,00	0,00
17 01 02	Ladrillos	Escombros > 40 mm	60	7.500,88	2	150,02	7.350,87	150,02	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	25	3.125,37	0	0,00	3.125,37	0,00	0,00
		< 4 mm	15	1.875,22	0	0,00	1.875,22	0,00	0,00
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombros > 40 mm	60	3.214,66	2	64,29	3.150,37	64,29	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	25	1.339,44	0	0,00	1.339,44	0,00	0,00
		< 4 mm	15	803,67	0	0,00	803,67	0,00	0,00
Arena, grava y otros agregados		Escombros > 40 mm	0	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	40	622,54	0	0,00	622,54	0,00	0,00
		< 4 mm	60	933,82	0	0,00	933,82	0,00	0,00
17 05 04	Piedras y tierra	Escombros > 40 mm	40	233,45	0	0,00	233,45	0,00	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	50	291,82	0	0,00	291,82	0,00	0,00
		< 4 mm	10	58,36	0	0,00	58,36	0,00	0,00
TOTAL				24.106,01		566,35	23.539,66	554,76	11,60

En el mezclado pétreo, aumenta la cantidad de residuos destinada a la trituradora en 555 toneladas, como consecuencia de la alta proporción de residuos pétreos contenida en la mezcla. 11,5 toneladas de hierro y acero son recuperadas del hormigón armado roto para su venta.

En la tabla 4.28, se puede observar que la tendencia se invierte, apenas 139 toneladas de residuos son desplazados directamente a la trituradora y 3.672 toneladas son almacenadas para la venta o ser desechadas. Esto se debe a que en el mezclado genérico de los RCD's está formado en su mayoría por plásticos, madera, papel, cartón y metales, y las corrientes de residuos de carácter pétreo son minoritarias. Cabe destacar, que la extracción realizada por la grúa de gancho sobre los materiales que son apartados del proceso es más rigurosa que la realizada en la planta básica. Como se puede ver, los porcentajes de extracción ya no sólo se aplican sobre la fracción correspondiente al tamaño de partícula más grande, sino que también se aplican sobre la fracción promedia. Evidentemente, estos últimos serán de valor menor que los anteriores.

Tabla 4.28: Extracción por grúa de gancho de las corrientes de residuos pertenecientes al mezclado de los RCD. Fuente:

Elaboración propia

CER	Descripción	ENTRADA			Extracción por grúa de gancho		Tolva	Trituradora	Almacenado
		Dist partícula	% Inicial	Ton	% Extacción	Ton	Ton	Ton	Ton
17 01 01	Hormigón	Escombros > 40 mm	85,00	506,01	10	50,60	455,41	50,60	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	10,00	59,53	0	0,00	59,53	0,00	0,00
		< 4 mm	5,00	29,77	0	0,00	29,77	0,00	0,00
17 01 01	Hormigón armado	Escombros > 40 mm	100	345,11	10	34,51	310,60	34,51	0,00
17 01 01	Hormigón(roto)	Escombros > 40 mm	0	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	75	59,53	0	0,00	59,53	0,00	0,00
		< 4 mm	25	19,84	0	0,00	19,84	0,00	0,00
17 01 01	Hierro y acero(roto)	Piezas largas	60	4,14	60	2,48	1,66	0,00	2,48
		20cm > Promedio > 4 mm	30	2,07	20	0,41	1,66	0,00	0,41
		< 4 mm	10	0,69	0	0,00	0,69	0,00	0,00
17 01 02	Ladrillos	Escombros > 40 mm	60,00	1.875,22	2	37,50	1.837,72	37,50	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	25,00	781,34	0	0,00	781,34	0,00	0,00
		< 4 mm	15,00	468,81	0	0,00	468,81	0,00	0,00
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombros > 40 mm	60,00	803,67	2	16,07	787,59	16,07	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	25,00	334,86	0	0,00	334,86	0,00	0,00
		< 4 mm	15,00	200,92	0	0,00	200,92	0,00	0,00
Arena, grava y otros agregados		Escombros > 40 mm	0	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	40	155,64	0	0,00	155,64	0,00	0,00
		< 4 mm	60	233,45	0	0,00	233,45	0,00	0,00
17 05 04	Piedras y tierra	Escombros > 40 mm	40,00	58,36	0	0,00	58,36	0,00	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	50,00	72,95	0	0,00	72,95	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	14,59	0	0,00	14,59	0,00	0,00
17 03 02	Mezcla bituminosa	Escombros > 20 cm	70,00	510,68	60	306,41	204,27	0,00	306,41
		20cm > Promedio > 4 mm	20,00	145,91	20	29,18	116,73	0,00	29,18
		< 4 mm	10,00	72,95	0	0,00	72,95	0,00	0,00
17 08 02	Yeso de construcción	Escombros > 20 cm	70,00	57,88	60	34,73	23,15	0,00	34,73
		20cm > Promedio > 4 mm	10,00	8,27	20	1,65	6,61	0,00	1,65
		< 4 mm	20,00	16,54	0	0,00	16,54	0,00	0,00
17 02 01	Madera	Piezas mas largas	80,00	1.322,91	60	793,74	529,16	0,00	793,74
		20cm > Promedio > 4 mm	15,00	248,05	20	49,61	198,44	0,00	49,61
		< 4 mm	5,00	82,68	0	0,00	82,68	0,00	0,00
17 02 02	Vidrio	Piezas largas	50,00	103,35	60	62,01	41,34	0,00	62,01
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	62,01	0	0,00	62,01	0,00	0,00
		< 4 mm	20,00	41,34	0	0,00	41,34	0,00	0,00
17 02 03 (Plástico)	No film, no pvc	Piezas largas	70,00	230,06	60	138,04	92,02	0,00	138,04
		20cm > Promedio > 4 mm	20,00	65,73	20	13,15	52,59	0,00	13,15
		< 4 mm	10,00	32,87	0	0,00	32,87	0,00	0,00
	PVC	Piezas largas	70,00	204,02	60	122,41	81,61	0,00	122,41
		20cm > Promedio > 4 mm	20,00	58,29	20	11,66	46,63	0,00	11,66
		< 4 mm	10,00	29,15	0	0,00	29,15	0,00	0,00
17 06 04	Material aislante	Piezas largas	60,00	1.736,32	60	1.041,79	694,53	0,00	1.041,79
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	868,16	0	0,00	868,16	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	289,39	0	0,00	289,39	0,00	0,00
15 01 01	Empaques de papel y cartón	Piezas largas	60,00	87,55	60	52,53	35,02	0,00	52,53
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	43,77	20	8,75	35,02	0,00	8,75
		< 4 mm	10,00	14,59	0	0,00	14,59	0,00	0,00
15 01 06 (Embalaje mixto)	Tablas de madera	Piezas largas	70,00	798,48	60	479,09	319,39	0,00	479,09
		20cm > Promedio > 4 mm	20,00	228,14	20	45,63	182,51	0,00	45,63
		< 4 mm	10,00	114,07	0	0,00	114,07	0,00	0,00
	Carton	Piezas largas	70,00	335,93	60	201,56	134,37	0,00	201,56
		20cm > Promedio > 4 mm	20,00	95,98	20	19,20	76,78	0,00	19,20
		< 4 mm	10,00	47,99	0	0,00	47,99	0,00	0,00
Films de polietileno	Piezas largas	70,00	227,40	60	136,44	90,96	0,00	136,44	
	20cm > Promedio > 4 mm	20,00	64,97	20	12,99	51,98	0,00	12,99	
	< 4 mm	10,00	32,49	0	0,00	32,49	0,00	0,00	
17 04 01	Cobre, bronce, latón	Piezas largas	60,00	0,12	60	0,07	0,05	0,00	0,07
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	0,06	20	0,01	0,05	0,00	0,01
		< 4 mm	10,00	0,02	0	0,00	0,02	0,00	0,00
17 04 02	Aluminio	Piezas largas	60,00	0,12	60	0,07	0,05	0,00	0,07
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	0,06	20	0,01	0,05	0,00	0,01
		< 4 mm	10,00	0,02	0	0,00	0,02	0,00	0,00
17 04 03	Plomo	Piezas largas	60,00	3,89	60	2,33	1,56	0,00	2,33
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	1,94	20	0,39	1,56	0,00	0,39
		< 4 mm	10,00	0,65	0	0,00	0,65	0,00	0,00
17 04 04	Zinc	Piezas largas	60,00	0,12	60	0,07	0,05	0,00	0,07
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	0,06	20	0,01	0,05	0,00	0,01
		< 4 mm	10,00	0,02	0	0,00	0,02	0,00	0,00
17 04 05	Hierro y Acero	Piezas largas	60,00	147,53	60	88,52	59,01	0,00	88,52
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	73,77	20	14,75	59,01	0,00	14,75
		< 4 mm	10,00	24,59	0	0,00	24,59	0,00	0,00
17 04 06	Estaño	Piezas largas	60,00	3,07	60	1,84	1,23	0,00	1,84
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	1,53	20	0,31	1,23	0,00	0,31
		< 4 mm	10,00	0,51	0	0,00	0,51	0,00	0,00
17 04 11	Cables	Piezas largas	60,00	0,12	60	0,07	0,05	0,00	0,07
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	0,06	20	0,01	0,05	0,00	0,01
		< 4 mm	10,00	0,02	0	0,00	0,02	0,00	0,00
TOTAL				14.562,69		3.810,64	10.752,05	138,69	3.671,95

Llegados a este punto, el balance de masas resulta en que:

- 815,82 toneladas de residuos pétreos de grandes dimensiones son extraídas por la grúa de gancho de la cantidad total que conforman los 3 lotes, y desplazadas directamente a la trituradora de impacto.
- 3.686,1 toneladas de residuos de carácter no pétreo son extraídas por la grúa de gancho para ser vendidos o desechados.

Lo que resulta en un total de 39.012,22 toneladas de residuos que siguen el proceso de planta por el almacenado intermedio en la tolva:

- 4.720,5 toneladas del lote de residuos segregados.
- 23.540 toneladas para el lote del mezclado pétreo.
- 10.752 toneladas correspondientes al mezclado genérico.

4.2.3 Cabina de clasificado manual: separación manual

Los grupos de residuos segregados, pétreo mezclado y mezclado genérico de los RCD's provenientes de la tolva, son depositados en lotes separados en la cinta transportadora de la cabina de clasificado manual para una segunda extracción. Mediante el empleo de la percepción visual de los trabajadores de la cabina, se extraen aquellos residuos que no han podido ser extraídos por la grúa de gancho y poseen impurezas que afectan a la calidad del producto reciclado final o un alto valor de mercado.

Se estima que el 30% de la fracción de piezas largas de metales, plásticos, papel, cartón y fragmentos de madera son separados de la corriente principal en este proceso. Las corrientes afectadas en este proceso se muestran en la tabla 4.29 junto con los porcentajes y las cantidades resultantes de la separación. La tabla incorpora todos los residuos afectados independientemente del lote de tratamiento al que pertenezcan.



Figura 4.5: Representación de la Extracción manual en la cabina de clasificado. Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.29: Extracción manual en la cabina de clasificado sobre las corrientes afectadas. Fuente: Elaboración propia

CER	Descripción	Extracción manual en la cabina de clasificado			
		Tamaño de partícula	Ton	% Separación	Ton
17 01 01	Hierro y acero(roto)	Piezas largas	1,46	30	0,44
17 01 01	Hierro y acero(roto)	Piezas largas	6,63	30	1,99
17 01 01	Hierro y acero (roto)	Piezas largas	1,66	30	0,50
17 02 01	Madera	Piezas largas	529,16	30	158,75
17 02 03	No film,no pvc	Piezas largas	92,02	30	27,61
(Plástico)	PVC	Piezas largas	81,61	30	24,48
17 06 04	Material aislante	Piezas largas	694,53	30	208,36
15 01 01	Empaques de papel y cartón	Piezas largas	35,02	30	10,51
15 01 06	Tablas de madera	Piezas largas	319,39	30	95,82
(Embalaje mixto)	Cartón	Piezas largas	134,37	30	40,31
	Films de polietileno	Piezas largas	90,96	30	27,29
17 04 01	Cobre, bronce, latón	Piezas largas	0,05	30	0,01
17 04 02	Aluminio	Piezas largas	0,05	30	0,01
17 04 03	Plomo	Piezas largas	1,56	30	0,47
17 04 04	Zinc	Piezas largas	0,05	30	0,01
17 04 05	Hierro y Acero	Piezas largas	59,01	30	17,70
17 04 06	Estaño	Piezas largas	1,23	30	0,37
17 04 11	Cables	Piezas largas	0,05	30	0,01
TOTAL			2.048,80		614,64

En los lotes de residuos segregados y mezclado pétreo la única corriente afectada resulta la del hierro y acero, siendo 0,5 toneladas extraídas en el primer lote y 2 toneladas en el segundo. Por su parte, en el lote correspondiente al mezclado genérico de los RCD's, debido a la variedad de residuos contenidos, un total de 612 toneladas son extraídas.

4.2.4 Reducción del tamaño de partícula en la trituradora por impacto y distribución por tamaño en la criba vibratoria

A diferencia que en la planta básica, donde sólo se introducían las fracciones de escombros o piezas largas en la trituradora, en la planta tipo avanzada todos los residuos independientemente de su tamaño son introducidos a la trituradora por impacto. En este caso, la trituradora trabaja conjuntamente con la criba vibratoria. De tal forma que si después del triturado existen partículas que no pueden ser tamizadas por la criba porque tienen un tamaño mayor al promedio, son reintroducidas a la trituradora. De esta forma se asegura una trituración perfecta de la fracción de escombros y piezas largas. En la figura 4.6 se puede ver una imagen ilustrativa del proceso en cuestión.

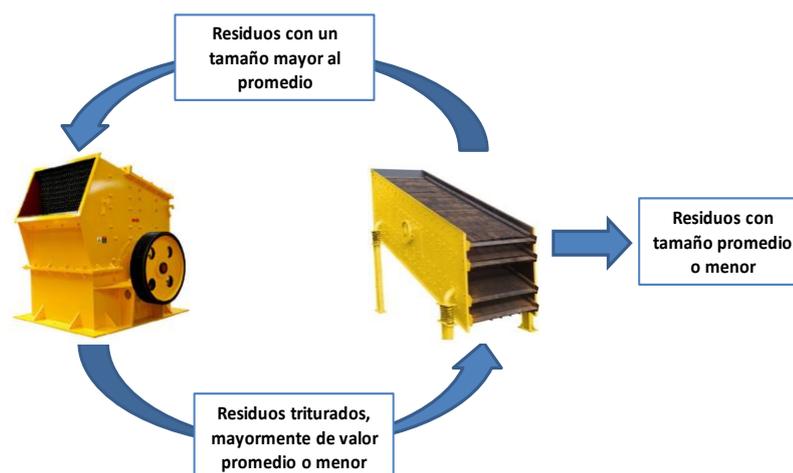


Figura 4.6: Trabajo en conjunto de la trituradora por impacto y la criba vibratoria. Fuente: Elaboración propia

De la misma forma que en la planta básica, los porcentajes de salida de la trituradora varían dependiendo del tipo de material, y vienen fijados por la cantidad de material que sale con tamaño de partícula determinado. Las entradas a la trituradora las conforman las cantidades totales de residuos provenientes de almacenado intermedio en la tolva y las cantidades extraídas anteriormente en el área de descarga por la grúa de gancho.

En la tabla 4.30 se presentan las corrientes del lote de residuos segregados afectados en este proceso, donde se incluyen los porcentajes de salida de la trituradora y de la criba vibratoria junto con las cantidades de salida resultantes.

Tabla 4.30: Trabajo en conjunto de la trituradora por impacto y la criba vibratoria sobre las corrientes de residuos segregadas. Fuente: Elaboración propia

CER	Descripción	Entrada a trituradora		Salida trituradora*		Salida criba		
		Tamaño de partícula	Ton	%	Ton	Tamaño de partícula	%	Ton
17 01 01	Hormigón	Escombros > 40 mm	446,48	0	0,00	Grueso > 4mm	43	225,87
		40 mm > Promedio > 4 mm	52,53	43	225,87	4mm > Fino > 0,063	34,2	179,64
		< 4 mm	26,26	57	299,41	2mm > Todas en una	22,8	119,76
17 01 01	Hormigón armado	Escombros > 40 mm	304,51	—	0,00	Grueso > 4mm	—	0,00
		Hormigón	280,15	—	0,00	4mm > Fino > 0,063	—	0,00
		Acero	24,36	—	0,00	2mm > Todas en una	—	0,00
17 01 01	Hormigón (roto)	Escombros > 40 mm	0,00	0	0,00	Grueso > 4mm	43	150,58
		40 mm > Promedio > 4 mm	52,53	43	150,58	4mm > Fino > 0,063	34,2	119,76
		< 4 mm	17,51	57	199,60	2mm > Todas en una	22,8	79,84
17 01 01	Hierro y acero(roto)	Piezas largas	1,02	0	0,00	Grueso > 4mm	77,52	21,28
		20cm > Promedio > 4 mm	1,46	77,52	21,28	4mm > Fino > 0,063	20,27	5,56
		< 4 mm	0,61	22,48	6,17	2mm > Todas en una	2,22	0,61
17 01 02	Ladrillos	Escombros > 40 mm	1.654,61	0	0,00	Grueso > 4mm	43	1.185,80
		40 mm > Promedio > 4 mm	689,42	43	1.185,80	4mm > Fino > 0,063	34,2	943,13
		< 4 mm	413,65	57	1.571,88	2mm > Todas en una	22,8	628,75
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombros > 40 mm	709,12	0	0,00	Grueso > 4mm	43	508,20
		40 mm > Promedio > 4 mm	295,47	43	508,20	4mm > Fino > 0,063	34,2	404,20
		< 4 mm	177,28	57	673,66	2mm > Todas en una	22,8	269,46
TOTAL			4.842,45		4.842,45			4.842,45

Las cantidades remarcadas en color naranja del “Hormigón armado”, se corresponden con el acero y hormigón contenidos en esta corriente. En este tipo de planta, la trituradora está capacitada para

el tratamiento del hormigón armado, triturando tanto el hormigón como el acero hasta la eliminación total de la fracción de escombros. Las cantidades de salida resultantes del hormigón armado se suman a sus corrientes originales de "Hormigón (roto)" y "Acero (roto)".

En cuanto a la salida de la trituradora, se considera que se ha alcanzado la fase final en la que ya no existen fragmentos restantes de la fracción de escombros o piezas largas. Finalmente, se representa la fase final de la criba vibratoria donde se establece la nueva distribución de tamaño de los residuos.

El proceso en cuestión sobre el lote de la mezcla pétreo se muestra en la tabla 4.31.

Tabla 4.31: Trabajo en conjunto de la trituradora por impacto y la criba vibratoria sobre el lote del mezclado pétreo.
Fuente: Elaboración propia

CER	Descripción	Entrada a trituradora		Salida trituradora*		Salida criba		
		Tamaño de partícula	Ton	%	Ton	Tamaño de partícula	%	Ton
17 01 01	Hormigón	Escombros > 40 mm	2.024,05	0	0,00	Grueso > 4mm	43	1.023,93
		40 mm > Promedio > 4 mm	238,12	43	1.023,93	4mm > Fino > 0,063	34,2	814,38
		< 4 mm	119,06	57	1.357,30	2mm > Todas en una	22,8	542,92
17 01 01	Hormigón armado	Escombros > 40 mm	1.380,42	—	0,00	—	0,00	
17 01 01	Hormigón(roto)	Escombros > 40 mm	0,00	0	0,00	Grueso > 4mm	43	682,62
		40 mm > Promedio > 4 mm	238,12	43	682,62	4mm > Fino > 0,063	34,2	542,92
		< 4 mm	79,37	57	904,87	2mm > Todas en una	22,8	361,95
17 01 01	Hierro y acero(roto)	Piezas largas	4,64	0	0,00	Grueso > 4mm	77,52	96,48
		20cm > Promedio > 4 mm	6,63	77,52	96,48	4mm > Fino > 0,063	20,27	25,22
		< 4 mm	2,76	22,48	27,98	2mm > Todas en una	2,22	2,76
17 01 02	Ladrillos	Escombros > 40 mm	7.500,88	0	0,00	Grueso > 4mm	43	5.375,63
		40 mm > Promedio > 4 mm	3.125,37	43	5.375,63	4mm > Fino > 0,063	34,2	4.275,50
		< 4 mm	1.875,22	57	7.125,84	2mm > Todas en una	22,8	2.850,34
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombros > 40 mm	3.214,66	0	0,00	Grueso > 4mm	43	2.303,84
		40 mm > Promedio > 4 mm	1.339,44	43	2.303,84	4mm > Fino > 0,063	34,2	1.832,36
		< 4 mm	803,67	57	3.053,93	2mm > Todas en una	22,8	1.221,57
Arena, grava y otros agregados		Escombros > 40 mm	0,00	0	0,00	Grueso > 4mm	40	622,54
		40 mm > Promedio > 4 mm	622,54	40	622,54	4mm > Fino > 0,063	20	311,27
		< 4 mm	933,82	60	933,82	2mm > Todas en una	40	622,54
17 05 04	Piedras y tierra	Escombros > 40 mm	233,45	0	0,00	Grueso > 4mm	75	437,73
		40 mm > Promedio > 4 mm	291,82	75	437,73	4mm > Fino > 0,063	20	116,73
		< 4 mm	58,36	25	145,91	2mm > Todas en una	5	29,18
TOTAL			24.092,43		24.092,43			24.092,43

De la misma forma que en el lote anterior, aunque no aparezcan las cantidades de hormigón y acero contenidas en el hormigón armado, sus respectivas cantidades de salida han sido sumadas a sus corrientes originales de "Hormigón (roto)" y "Acero (roto)". Al tratarse de un proceso de trituración y posterior clasificación, las cantidades totales de entrada y salida del proceso coinciden.

En la tabla 4.32 se muestran las corrientes afectadas del lote correspondiente al mezclado genérico de los RCD's. Se repite el proceso teniendo en cuenta las consideraciones mencionadas para los anteriores lotes.

Tabla 4.32: Trabajo en conjunto de la trituradora por impacto y la criba vibratoria sobre el lote del mezclado genérico de los RCD. Fuente: Elaboración propia

CER	Descripción	Entrada a trituradora		Salida trituradora*		Salida criba		
		Tamaño de partícula	Ton	%	Ton	Tamaño de partícula	%	Ton
17 01 01	Hormigón	Escombro > 40 mm	506,01	0	0,00	Grueso > 4mm	43	255,98
		40 mm > Promedio > 4 mm	59,53	43	255,98	4mm > Fino > 0,063	34,2	203,60
		< 4 mm	29,77	57,0	339,33	2mm > Todas en una	22,8	135,73
17 01 01	Hormigón armado	Escombro > 40 mm	345,11	0	0,00			0,00
		Escombro > 40 mm	0,00	0	0,00	Grueso > 4mm	43	170,66
17 01 01	Hormigón(roto)	40 mm > Promedio > 4 mm	59,53	43	170,66	4mm > Fino > 0,063	34,2	135,73
		< 4 mm	19,84	57,0	226,22	2mm > Todas en una	22,8	90,49
17 01 01	Hierro y acero(roto)	Piezas largas	1,16	0	0,00	Grueso > 4mm	77,52	24,12
		20cm > Promedio > 4 mm	1,66	77,52	24,12	4mm > Fino > 0,063	20,27	6,31
		< 4 mm	0,69	22,5	7,00	2mm > Todas en una	2,22	0,69
17 01 02	Ladrillos	Escombro > 40 mm	1.875,22	0	0,00	Grueso > 4mm	43	1.343,91
		40 mm > Promedio > 4 mm	781,34	43	1.343,91	4mm > Fino > 0,063	34,2	1.068,88
		< 4 mm	468,81	57,0	1.781,46	2mm > Todas en una	22,8	712,58
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombro > 40 mm	803,67	0	0,00	Grueso > 4mm	43	575,96
		40 mm > Promedio > 4 mm	334,86	43	575,96	4mm > Fino > 0,063	34,2	458,09
		< 4 mm	200,92	57,0	763,48	2mm > Todas en una	22,8	305,39
Arena, grava y otros agregados		Escombro > 40 mm	0,00	0	0,00	Grueso > 4mm	40	155,64
		40 mm > Promedio > 4 mm	155,64	40	155,64	4mm > Fino > 0,063	20	77,82
		< 4 mm	233,45	60,0	233,45	2mm > Todas en una	40	155,64
17 05 04	Piedras y tierra	Escombro > 40 mm	58,36	0	0,00	Grueso > 4mm	75	109,43
		40 mm > Promedio > 4 mm	72,95	75	109,43	4mm > Fino > 0,063	20	29,18
		< 4 mm	14,59	25,0	36,48	2mm > Todas en una	5	7,30
17 03 02	Mezcla bituminosa	Escombro > 20 cm	204,27	0	0,00	Grueso > 4mm	71,11	280,15
		20cm > Promedio > 4 mm	116,73	71,11	280,15	4mm > Fino > 0,063	25,19	99,22
		< 4 mm	72,95	28,9	113,81	2mm > Todas en una	3,7	14,59
17 08 02	Yeso de construcción	Escombro > 20 cm	23,15	0	0,00	Grueso > 4mm	54,29	25,14
		20cm > Promedio > 4 mm	6,61	54,29	25,14	4mm > Fino > 0,063	38,57	17,86
		< 4 mm	16,54	45,7	21,17	2mm > Todas en una	7,14	3,31
17 02 01	Madera	Piezas mas largas	370,41	0	0,00	Grueso > 4mm	75,94	494,77
		20cm > Promedio > 4 mm	198,44	75,94	494,77	4mm > Fino > 0,063	21,52	140,23
		< 4 mm	82,68	24,06	156,76	2mm > Todas en una	2,54	16,54
17 02 02	Vidrio	Piezas largas	41,34	0	0,00	Grueso > 4mm	65,71	95,08
		20cm > Promedio > 4 mm	62,01	65,71	95,08	4mm > Fino > 0,063	28,57	41,34
		< 4 mm	41,34	34,29	49,61	2mm > Todas en una	5,71	8,27
17 02 03 (Plástico)	No film, no pvc	Piezas largas	64,42	0	0,00	Grueso > 4mm	69,47	104,12
		20cm > Promedio > 4 mm	52,59	69,47	104,12	4mm > Fino > 0,063	26,14	39,18
		< 4 mm	32,87	30,53	45,75	2mm > Todas en una	4,39	6,57
	PVC	Piezas largas	57,12	0	0,00	Grueso > 4mm	69,47	92,33
		20cm > Promedio > 4 mm	46,63	69,47	92,33	4mm > Fino > 0,063	26,14	34,74
		< 4 mm	29,15	30,53	40,57	2mm > Todas en una	4,39	5,83
17 06 04	Material aislante	Piezas largas	486,17	0	0,00	Grueso > 4mm	76,48	1.257,09
		20cm > Promedio > 4 mm	868,16	76,48	1.257,09	4mm > Fino > 0,063	20	328,74
		< 4 mm	289,39	23,52	386,62	2mm > Todas en una	3,52	57,88
15 01 01	Empaques de papel y cartón	Piezas largas	24,51	0	0,00	Grueso > 4mm	73,70	54,63
		20cm > Promedio > 4 mm	35,02	73,70	54,63	4mm > Fino > 0,063	22,36	16,58
		< 4 mm	14,59	26,30	19,49	2mm > Todas en una	3,94	2,92
15 01 06 (Embalaje mixto)	Tablas de madera	Piezas largas	223,58	0	0,00	Grueso > 4mm	69,47	361,37
		20cm > Promedio > 4 mm	182,51	69,47	361,37	4mm > Fino > 0,063	26,14	135,97
		< 4 mm	114,07	30,53	158,78	2mm > Todas en una	4,39	22,81
	Carton	Piezas largas	94,06	0	0,00	Grueso > 4mm	69,47	152,03
		20cm > Promedio > 4 mm	76,78	69,47	152,03	4mm > Fino > 0,063	26,14	57,20
		< 4 mm	47,99	30,53	66,80	2mm > Todas en una	4,39	9,60
Films de polietileno	Piezas largas	63,67	0	0,00	Grueso > 4mm	69,47	102,91	
	20cm > Promedio > 4 mm	51,98	69,47	102,91	4mm > Fino > 0,063	26,14	38,72	
	< 4 mm	32,49	30,53	45,22	2mm > Todas en una	4,39	6,50	
17 04 01	Cobre, bronce, latón	Piezas largas	0,03	0	0	Grueso > 4mm	73,7	0,08
		20cm > Promedio > 4 mm	0,05	73,7	0,08	4mm > Fino > 0,063	22,36	0,02
		< 4 mm	0,02	26,3	0,03	2mm > Todas en una	3,94	0,00
17 04 02	Aluminio	Piezas largas	0,03	0	0	Grueso > 4mm	73,7	0,08
		20cm > Promedio > 4 mm	0,05	73,7	0,08	4mm > Fino > 0,063	22,36	0,02
		< 4 mm	0,02	26,3	0,03	2mm > Todas en una	3,94	0,00
17 04 03	Plomo	Piezas largas	1,09	0	0	Grueso > 4mm	73,7	2,43
		20cm > Promedio > 4 mm	1,56	73,7	2,43	4mm > Fino > 0,063	22,36	0,74
		< 4 mm	0,65	26,3	0,87	2mm > Todas en una	3,94	0,13
17 04 04	Zinc	Piezas largas	0,03	0	0	Grueso > 4mm	73,7	0,08
		20cm > Promedio > 4 mm	0,05	73,7	0,08	4mm > Fino > 0,063	22,36	0,02
		< 4 mm	0,02	26,3	0,03	2mm > Todas en una	3,94	0,00
17 04 05	Hierro y Acero	Piezas largas	41,31	0	0	Grueso > 4mm	73,7	92,06
		20cm > Promedio > 4 mm	59,01	73,7	92,06	4mm > Fino > 0,063	22,36	27,93
		< 4 mm	24,59	26,3	32,85	2mm > Todas en una	3,94	4,92
17 04 06	Estaño	Piezas largas	0,86	0	0	Grueso > 4mm	73,7	1,92
		20cm > Promedio > 4 mm	1,23	73,7	1,92	4mm > Fino > 0,063	22,36	0,58
		< 4 mm	0,51	26,3	0,68	2mm > Todas en una	3,94	0,10
17 04 11	Cables	Piezas largas	0,03	0	0	Grueso > 4mm	73,7	0,08
		20cm > Promedio > 4 mm	0,05	73,7	0,08	4mm > Fino > 0,063	22,36	0,02
		< 4 mm	0,02	26,3	0,03	2mm > Todas en una	3,94	0,00
TOTAL			10.278,53		10.278,53			10.278,53

Si se comparan los porcentajes de salida de la trituradora por impacto y los de la criba vibratoria, con los respectivos porcentajes de salida de la trituradora de mandíbula y la criba rotatoria de la planta básica, para las mismas corrientes de residuos, se puede verificar que en muchos casos son idénticos y en otros prácticamente iguales. Aunque en un principio se pueda deducir que los diferentes tipos de maquinarias establecen porcentajes de salida diferentes, las plantas de reciclaje establecen las mismas distribuciones de tamaño de salida de los materiales que conforman el producto reciclado final, por lo que es lógico que estos porcentajes de salida sean idénticos. Por consiguiente, la diferencia entre las maquinarias viene dada por el tiempo de residencia de los residuos y la potencia requerida para el mismo tipo de tratamiento.

En esta etapa del proceso, el balance de masas resulta en que 39.213,4 toneladas de residuos siguen el proceso de planta con destino a la separación magnética.

- 4.842,45 toneladas del lote de residuos segregados.
- 24.092,4 toneladas para el lote del mezclado pétreo.
- 10.278,5 toneladas correspondientes al mezclado genérico.

4.2.5 Separación magnética mediante el imán en banda sobre cinta transportadora

Las 39.213,4 toneladas de residuos separados en los lotes de residuos segregados, mezclado pétreo y mezclado genérico de los RCD's provenientes del proceso de triturado y posterior separado, son transportados mediante una cinta transportadora en tres etapas para seguir con el proceso. A medida que cada uno de los lotes es desplazado por la cinta, se coloca un imán en banda transversalmente o longitudinalmente sobre la cinta a una distancia de trabajo fija.

Cuando un determinado lote es trasladado a través de la cinta transportadora, la fuerza de atracción magnética que ejerce el imán es capaz de extraer gran parte de los materiales férreos, para que una vez abandonan el campo magnético, sean depositados en contenedores específicos. Las únicas corrientes de residuos férreos son la del "Hierro y acero" y "Acero roto", por lo que el campo magnético solo tendrá efecto sobre ellas. De la cantidad total de esta corriente, se considera que un 70% es extraído por este método, dado que existirán trozos con una masa considerable y muchos de ellos se encontraran atascados entre otros tipos de residuos.

El proceso de la separación magnética se muestra en la figura 4.7, junto con las cantidades exactas extraídas y las que siguen el proceso.

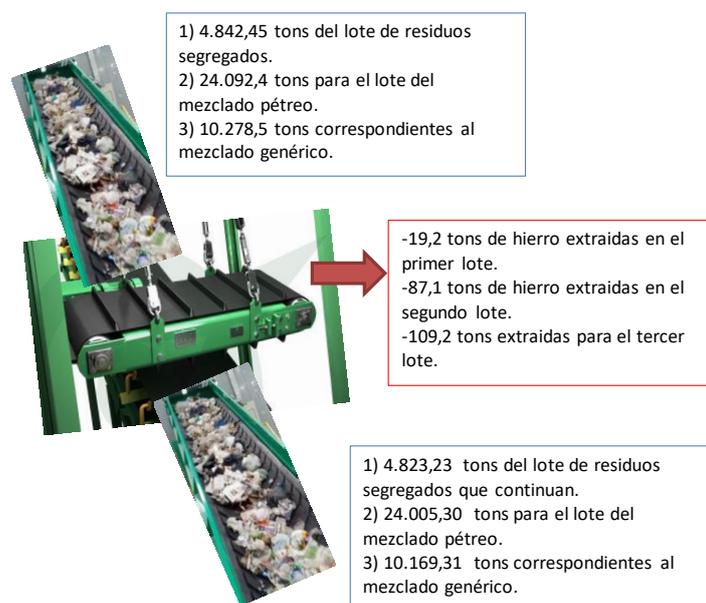


Figura 4.7: Balance de masas sobre el imán magnético. Fuente: Elaboración propia

4.2.6 Separación metálica mediante las corrientes Foucault

El método de separación metálica es muy parecido al de la separación magnética en cuanto al principio de funcionamiento. En este caso, se hace uso de las propiedades metálicas de los materiales para ejercer la separación.

Para ello, se emplea un rotor magnético con polaridad alterna, que gira rápidamente dentro de un tambor no metálico accionado por la cinta transportadora. El campo magnético alterno que se origina crea corrientes parasitas en las partículas de metales no férreos repeliéndolos hacia fuera del transportador. Mientras que la corriente principal sigue el transcurso de la cinta transportadora, los metales no férreos se destinan a una caja separadora para su clasificado.

Las únicas corrientes de residuos metálicas son la del “Cobre, bronce y latón” y “Aluminio”, ambas contenidas en el lote del mezclado genérico de los RCD's. De la cantidad total de estas corrientes, se considera que un 70% es extraído por este método.

Si se observa la tabla 4.32, se verifica que la suma de las cantidades de salida de las corrientes citadas es de 0,2 toneladas, por lo que aproximadamente 0,14 toneladas de metales son extraídas durante este proceso. Reduciendo a 10.169,17 toneladas de residuos el lote del mezclado genérico de los RCD's.

4.2.7 Separación de las fracciones de residuos en la criba vibratoria

Una vez ejercida la separación magnética, los lotes de residuos son introducidos de nuevo en la criba vibratoria para una última separación de las fracciones que componen la distribución de tamaño de las partículas.

Conocido el método de funcionamiento de este equipo, los residuos son separados por tamaño mediante las mallas vibratorias de la criba. De esta forma, las partículas de residuos con un tamaño menor a los 4 mm (fracción fina y todas en una) son tamizadas para ser destinadas a la Espiral, donde se les ejerce una última separación por densidad. Por otro lado, las partículas que no son tamizadas a través de la malla y que tienen un tamaño de partícula mayor a los 4mm (fracción gruesa), siguen con el proceso recibiendo un tratamiento más duradero y específico.

Como se menciona anteriormente, la fracción gruesa de los materiales pétreos son los que se emplean para la elaboración de los productos reciclados de mayor calidad. Es por ello que la fracción gruesa sigue un tratamiento de depuración más especializado. No obstante, en este tipo de planta las fracciones finas y todas en una reciben en la espiral un último proceso de depuración, obteniéndose áridos reciclados de mayor calidad que en la planta básica. Además, hay que tener en cuenta el hecho de que se traten los residuos en lotes separados y no como una gran mezcla de residuos, permite que reciban un tratamiento más especializado y consiguientemente la calidad del producto reciclado resulta mayor.

Conociendo las cantidades de los lotes de residuos entrantes en la criba y la distribución de tamaño establecida en primera fase de empleo de la criba vibratoria, podemos determinar las cantidades de las fracciones de residuos resultantes de esta fase de separación. En las tablas 4.33, 4.34 y 4.35 se refleja el proceso de separación que sufre cada uno de los lotes.

Tabla 4.33: Separación de fracciones en criba vibratoria sobre las corrientes de residuos segregadas. Fuente: Elaboración propia

CER	Descripción	Entrada criba vibratoria		% Separación	Salida criba	
		Tamaño de partícula	Ton		Ton	Ton
17 01 01	Hormigón	Grueso > 4mm	225,87	100	225,87	0,00
		4mm > Fino > 0,063	179,64	100	0,00	179,64
		2mm > Todas en una	119,76	100	0,00	119,76
17 01 01	Hormigón (roto)	Grueso > 4mm	150,58	100	150,58	0,00
		4mm > Fino > 0,063	119,76	100	0,00	119,76
		2mm > Todas en una	79,84	100	0,00	79,84
17 01 01	Hierro y acero(roto)	Grueso > 4mm	6,38	100	6,38	0,00
		4mm > Fino > 0,063	1,67	100	0,00	1,67
		2mm > Todas en una	0,18	100	0,00	0,18
17 01 02	Ladrillos	Grueso > 4mm	1.185,80	100	1.185,80	0,00
		4mm > Fino > 0,063	943,13	100	0,00	943,13
		2mm > Todas en una	628,75	100	0,00	628,75
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Grueso > 4mm	508,20	100	508,20	0,00
		4mm > Fino > 0,063	404,20	100	0,00	404,20
		2mm > Todas en una	269,46	100	0,00	269,46
TOTAL			4.823,23		2.076,83	2.746,40

Como se puede ver en la tabla 4.33, la fracción gruesa es totalmente separada de las fracciones fina y todas en una. En torno al 43% de la totalidad de residuos (fracción gruesa) del lote de segregados entrante a la criba es destinado al barrido de viento, mientras que el 53% restante (fracción fina y todas en una) es desplazado hacia la espiral.

Una vez finalizado el proceso de separación del lote de residuos segregados, se introduce el lote correspondiente al mezclado pétreo repitiendo el proceso de separación que se refleja en tabla 4.34.

Tabla 4.34: Separación de fracciones en criba vibratoria sobre las corrientes pertenecientes al mezclado pétreo. Fuente: Elaboración propia

CER	Descripción	Entrada criba vibratoria		% Separación	Salida criba	
		Tamaño de partícula	Ton		Ton	Ton
17 01 01	Hormigón	Grueso > 4mm	1.023,93	100	1.023,93	0,00
		4mm > Fino > 0,063	814,38	100	0,00	814,38
		2mm > Todas en una	542,92	100	0,00	542,92
17 01 01	Hormigón(roto)	Grueso > 4mm	682,62	100	682,62	0,00
		4mm > Fino > 0,063	542,92	100	0,00	542,92
		2mm > Todas en una	361,95	100	0,00	361,95
17 01 01	Hierro y acero(roto)	Grueso > 4mm	28,94	100	28,94	0,00
		4mm > Fino > 0,063	7,57	100	0,00	7,57
		2mm > Todas en una	0,83	100	0,00	0,83
17 01 02	Ladrillos	Grueso > 4mm	5.375,63	100	5.375,63	0,00
		4mm > Fino > 0,063	4.275,50	100	0,00	4.275,50
		2mm > Todas en una	2.850,34	100	0,00	2.850,34
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Grueso > 4mm	2.303,84	100	2.303,84	0,00
		4mm > Fino > 0,063	1.832,36	100	0,00	1.832,36
		2mm > Todas en una	1.221,57	100	0,00	1.221,57
Arena, grava y otros agregados		Grueso > 4mm	622,54	100	622,54	0,00
		4mm > Fino > 0,063	311,27	100	0,00	311,27
		2mm > Todas en una	622,54	100	0,00	622,54
17 05 04	Piedras y tierra	Grueso > 4mm	437,73	100	437,73	0,00
		4mm > Fino > 0,063	116,73	100	0,00	116,73
		2mm > Todas en una	29,18	100	0,00	29,18
TOTAL			24.005,30		10.475,24	13.530,06

Para la tabla 4.34, correspondiente al mezclado pétreo, el proceso resulta en unos porcentajes de separación casi idénticos a los del lote de corrientes segregadas, con un 44% de la totalidad de la entrada (fracción gruesa) destinada al barrido de viento y un 56% (fracción fina y todas en una) que se desplaza a la espiral. Esto se debe a que ambos lotes se componen por corrientes de residuos pétreos con un comportamiento similar ante la rotura ejercida por los impactos en la trituradora, obteniendo una distribución de tamaño de partícula similar.

Tabla 4.35: Separación de fracciones en criba vibratoria sobre las corrientes pertenecientes al mezclado genérico de los RCD's. Fuente: Elaboración propia

CER	Descripción	Entrada criba vibratoria			Salida criba	
		Tamaño de partícula	Ton	% Separación	Ton	Ton
17 01 01	Hormigón	Grueso > 4mm	255,98	100	255,98	0,00
		4mm > Fino > 0,063	203,60	100	0,00	203,60
		2mm > Todas en una	135,73	100	0,00	135,73
17 01 01	Hormigón(roto)	Grueso > 4mm	170,66	100	170,66	0,00
		4mm > Fino > 0,063	135,73	100	0,00	135,73
		2mm > Todas en una	90,49	100	0,00	90,49
17 01 01	Hierro y acero(roto)	Grueso > 4mm	7,24	100	7,24	0,00
		4mm > Fino > 0,063	1,89	100	0,00	1,89
		2mm > Todas en una	0,21	100	0,00	0,21
17 01 02	Ladrillos	Grueso > 4mm	1.343,91	100	1.343,91	0,00
		4mm > Fino > 0,063	1.068,88	100	0,00	1.068,88
		2mm > Todas en una	712,58	100	0,00	712,58
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Grueso > 4mm	575,96	100	575,96	0,00
		4mm > Fino > 0,063	458,09	100	0,00	458,09
		2mm > Todas en una	305,39	100	0,00	305,39
Arena, grava y otros agregados		Grueso > 4mm	155,64	100	155,64	0,00
		4mm > Fino > 0,063	77,82	100	0,00	77,82
		2mm > Todas en una	155,64	100	0,00	155,64
17 05 04	Piedras y tierra	Grueso > 4mm	109,43	100	109,43	0,00
		4mm > Fino > 0,063	29,18	100	0,00	29,18
		2mm > Todas en una	7,30	100	0,00	7,30
17 03 02	Mezcla bituminosa	Grueso > 4mm	280,15	100	280,15	0,00
		4mm > Fino > 0,063	99,22	100	0,00	99,22
		2mm > Todas en una	14,59	100	0,00	14,59
17 08 02	Yeso de construcción	Grueso > 4mm	25,14	100	25,14	0,00
		4mm > Fino > 0,063	17,86	100	0,00	17,86
		2mm > Todas en una	3,31	100	0,00	3,31
17 02 01	Madera	Grueso > 4mm	494,77	100	494,77	0,00
		4mm > Fino > 0,063	140,23	100	0,00	140,23
		2mm > Todas en una	16,54	100	0,00	16,54
17 02 02	Vidrio	Grueso > 4mm	95,08	100	95,08	0,00
		4mm > Fino > 0,063	41,34	100	0,00	41,34
		2mm > Todas en una	8,27	100	0,00	8,27
17 02 03 (Plástico)	No film,no pvc	Grueso > 4mm	104,12	100	104,12	0,00
		4mm > Fino > 0,063	39,18	100	0,00	39,18
		2mm > Todas en una	6,57	100	0,00	6,57
	PVC	Grueso > 4mm	92,33	100	92,33	0,00
		4mm > Fino > 0,063	34,74	100	0,00	34,74
		2mm > Todas en una	5,83	100	0,00	5,83
17 06 04	Material aislante	Grueso > 4mm	1.257,09	100	1.257,09	0,00
		4mm > Fino > 0,063	328,74	100	0,00	328,74
		2mm > Todas en una	57,88	100	0,00	57,88
15 01 01	Empaques de papel y cartón	Grueso > 4mm	54,63	100	54,63	0,00
		4mm > Fino > 0,063	16,58	100	0,00	16,58
		2mm > Todas en una	2,92	100	0,00	2,92
15 01 06 (Embalaje mixto)	Tablas de madera	Grueso > 4mm	361,37	100	361,37	0,00
		4mm > Fino > 0,063	135,97	100	0,00	135,97
		2mm > Todas en una	22,81	100	0,00	22,81
	Cartón	Grueso > 4mm	152,03	100	152,03	0,00
		4mm > Fino > 0,063	57,20	100	0,00	57,20
		2mm > Todas en una	9,60	100	0,00	9,60
	Films de polietileno	Grueso > 4mm	102,91	100	102,91	0,00
		4mm > Fino > 0,063	38,72	100	0,00	38,72
		2mm > Todas en una	6,50	100	0,00	6,50
17 04 01	Cobre, bronce, latón	Grueso > 4mm	0,02	100	0,02	0,00
		4mm > Fino > 0,063	0,01	100	0,00	0,01
		2mm > Todas en una	0,00	100	0,00	0,00
17 04 02	Aluminio	Grueso > 4mm	0,02	100	0,02	0,00
		4mm > Fino > 0,063	0,01	100	0,00	0,01
		2mm > Todas en una	0,00	100	0,00	0,00
17 04 03	Plomo	Grueso > 4mm	2,43	100	2,43	0,00
		4mm > Fino > 0,063	0,74	100	0,00	0,74
		2mm > Todas en una	0,13	100	0,00	0,13
17 04 04	Zinc	Grueso > 4mm	0,08	100	0,08	0,00
		4mm > Fino > 0,063	0,02	100	0,00	0,02
		2mm > Todas en una	0,00	100	0,00	0,00
17 04 05	Hierro y Acero	Grueso > 4mm	27,62	100	27,62	0,00
		4mm > Fino > 0,063	8,38	100	0,00	8,38
		2mm > Todas en una	1,48	100	0,00	1,48
17 04 06	Estaño	Grueso > 4mm	1,92	100	1,92	0,00
		4mm > Fino > 0,063	0,58	100	0,00	0,58
		2mm > Todas en una	0,10	100	0,00	0,10
17 04 11	Cables	Grueso > 4mm	0,08	100	0,08	0,00
		4mm > Fino > 0,063	0,02	100	0,00	0,02
		2mm > Todas en una	0,00	100	0,00	0,00
TOTAL			10.169,17		5.670,59	4.498,58

Sin embargo, como se puede ver en la tabla 4.35, en el mezclado genérico se invierten los porcentajes, siendo un 56% de la totalidad de residuos entrantes a la criba (fracción gruesa) desplazada al barrido de viento y un 44% (fracción fina y todas en una) destinado a la espiral. En este caso, los porcentajes se invierten porque el lote está compuesto en gran parte por materiales de gran ductilidad que presentan un buen comportamiento ante la rotura ejercida en la trituradora, lo que se traduce en un porcentaje mayor de la fracción gruesa resultante.

Tras finalizar la separación de la criba, el flujo de residuos resulta en:

- Fracción fina y todas en una destinada a la Espiral:
 - ✓ 2.746,4 toneladas del lote de residuos segregados.
 - ✓ 13.530,06 toneladas para el lote correspondiente al mezclado pétreo.
 - ✓ 4.498.58 toneladas pertenecientes al mezclado genérico de los RCD's.
- Fracción gruesa hacia el barrido de viento:
 - ✓ 2.076,83 toneladas por parte de los residuos segregados.
 - ✓ 10.475,24 toneladas del lote del mezclado pétreo.
 - ✓ 5.670,59 toneladas pertenecientes al mezclado genérico de los RCD's.

4.2.8 Separación por densidad en la Espiral de los residuos de las fracciones fina y todas en una

El objetivo principal de la Espiral consiste en limpiar la fracción fina pétreo de aquellos materiales que proporcionan propiedades perjudiciales al producto reciclado final, es decir, separar los residuos no pétreos de los pétreos. Para ello, se hace uso de la densidad de los materiales, mojando la mezcla de residuos que se desplaza por la trayectoria de la espiral y permitiendo que la fuerza centrífuga separe la mezcla en dos corrientes. Una corriente densa, con los materiales pesados que se desplaza por el lado del canal próximo al eje de la torre, y otra corriente con los materiales menos pesados y gran parte de agua, que forma una especie de lodo y se desplaza pegada a la pared del canal de la espiral exterior afectado por la fuerza centrífuga. De esta forma, se consigue separar los residuos pétreos (alta densidad) de los no pétreos.

Se considera que aquellos materiales con una densidad mayor a los 2000 kg/m^3 son separados en un 90% del resto que conforman el lodo.

Ahora bien, de los tres lotes de residuos que llegan a esta última etapa de separación, lógicamente el único que recibe tratamiento es el del mezclado genérico de los RCD's. En el lote de residuos

segregados, al tener los residuos separados entre sí, resultaría inútil volver a mezclarlos en la espiral. Y por lo que al lote del mezclado pétreo se refiere, al estar la mezcla compuesta únicamente por residuos pétreos, el tratamiento resultaría ineficaz y material se mojaría en vano.

El proceso de separación realizado en la espiral sobre la mezcla genérica de los RCD's, se muestra en la tabla 4.36.

Tabla 4.36: Separación en la Espiral de las corrientes no pétreas de las pétreas pertenecientes al mezclado genérico de los RCD. Fuente: Elaboración propia

CER	Descripción	Entrada espiral			Salida espiral			
		Tamaño de partícula mm	Cantidad Ton	Densidad (kg/m ³)	Corriente alta densidad % Separación	Corriente baja densidad(lodo) Ton	%Separacion	Ton
17 01 01	Hormigón	4mm > Fino > 0,063	203,60	2500	90	183,24	10	20,36
		2mm > Todas en una	135,73	2500	90	122,16	10	13,57
17 01 01	Hormigón(roto)	4mm > Fino > 0,063	135,73	2500	90	122,16	10	13,57
		2mm > Todas en una	90,49	2500	90	81,44	10	9,05
17 01 01	Hierro y acero(roto)	4mm > Fino > 0,063	1,89	1800	0	0,00	100	1,89
		2mm > Todas en una	0,21	1800	0	0,00	100	0,21
17 01 02	Ladrillos	4mm > Fino > 0,063	1.068,88	2200	90	961,99	10	106,89
		2mm > Todas en una	712,58	2200	90	641,33	10	71,26
17 01 03	Azulejos y cerámicos	4mm > Fino > 0,063	458,09	2200	90	412,28	10	45,81
		2mm > Todas en una	305,39	2200	90	274,85	10	30,54
	Arena, grava y otros agregados	4mm > Fino > 0,063	77,82	2000	0	0,00	100	77,82
		2mm > Todas en una	155,64	2000	0	0,00	100	155,64
17 05 04	Piedras y tierra	4mm > Fino > 0,063	29,18	1400	0	0,00	100	29,18
		2mm > Todas en una	7,30	1400	0	0,00	100	7,30
17 03 02	Mezcla bituminosa	4mm > Fino > 0,063	99,22	1000	0	0,00	100	99,22
		2mm > Todas en una	14,59	1000	0	0,00	100	14,59
17 08 02	Yeso de construcción	4mm > Fino > 0,063	17,86	2400	90	16,07	10	1,79
		2mm > Todas en una	3,31	2400	90	2,98	10	0,33
17 02 01	Madera	4mm > Fino > 0,063	140,23	800	0	0,00	100	140,23
		2mm > Todas en una	16,54	800	0	0,00	100	16,54
17 02 02	Vidrio	4mm > Fino > 0,063	41,34	2500	90	37,21	10	4,13
		2mm > Todas en una	8,27	2500	90	7,44	10	0,83
17 02 03 (Plástico)	No film, no pvc	4mm > Fino > 0,063	39,18	1200	0	0,00	100	39,18
		2mm > Todas en una	6,57	1200	0	0,00	100	6,57
	PVC	4mm > Fino > 0,063	34,74	1400	0	0,00	100	34,74
		2mm > Todas en una	5,83	1400	0	0,00	100	5,83
17 06 04	Material aislante	4mm > Fino > 0,063	328,74	600	0	0,00	100	328,74
		2mm > Todas en una	57,88	600	0	0,00	100	57,88
15 01 01	Empaques de papel y cartón	4mm > Fino > 0,063	16,58	900	0	0,00	100	16,58
		2mm > Todas en una	2,92	900	0	0,00	100	2,92
15 01 06 (Embalaje mixto)	Tablas de madera	4mm > Fino > 0,063	135,97	800	0	0,00	100	135,97
		2mm > Todas en una	22,81	800	0	0,00	100	22,81
	Cartón	4mm > Fino > 0,063	57,20	900	0	0,00	100	57,20
		2mm > Todas en una	9,60	900	0	0,00	100	9,60
	Films de polietileno	4mm > Fino > 0,063	38,72	950	0	0,00	100	38,72
		2mm > Todas en una	6,50	950	0	0,00	100	6,50
17 04 01	Cobre, bronce, latón	4mm > Fino > 0,063	0,01	1800	0	0,00	100	0,01
		2mm > Todas en una	0,00	1800	0	0,00	100	0,00
17 04 02	Aluminio	4mm > Fino > 0,063	0,01	1800	0	0,00	100	0,01
		2mm > Todas en una	0,00	1800	0	0,00	100	0,00
17 04 03	Plomo	4mm > Fino > 0,063	0,74	1800	0	0,00	100	0,74
		2mm > Todas en una	0,13	1800	0	0,00	100	0,13
17 04 04	Zinc	4mm > Fino > 0,063	0,02	1800	0	0,00	100	0,02
		2mm > Todas en una	0,00	1800	0	0,00	100	0,00
17 04 05	Hierro y Acero	4mm > Fino > 0,063	8,38	1800	0	0,00	100	8,38
		2mm > Todas en una	1,48	1800	0	0,00	100	1,48
17 04 06	Estaño	4mm > Fino > 0,063	0,58	1800	0	0,00	100	0,58
		2mm > Todas en una	0,10	1800	0	0,00	100	0,10
17 04 11	Cables	4mm > Fino > 0,063	0,02	1800	0	0,00	100	0,02
		2mm > Todas en una	0,00	1800	0	0,00	100	0,00
TOTAL			4.498,58			2.863,14	1.635,44	

Como se puede ver en la tabla, a la salida de la espiral obtenemos dos corrientes de residuos como resultado del tratamiento del mezclado genérico de los RCD's:

- Una corriente aguada conformada mayormente por residuos no pétreos de baja densidad que resulta en una especie de lodo de aproximadamente 1.635 toneladas. Esta corriente, se descarta para la elaboración de productos reciclados y consiguientemente es almacenada para su vertido.
- Y la corriente húmeda pétreo de alta densidad de 2.863 toneladas que se aprovecha para la elaboración de áridos reciclados cerámicos de baja calidad.

Por su parte, el mezclado pétreo que no recibe tratamiento en la espiral y que forma una mezcla pétreo de residuos limpia de 13.530 toneladas, es destinado para elaboración de áridos cerámicos reciclados de calidad media.

Finalmente, el lote de residuos segregados que tampoco recibe tratamiento en la espiral es empleado para la producción de específicos productos reciclados de alta calidad:

- Las 499 toneladas de hormigón y 1,85 toneladas de acero combinadas se emplean para la elaboración áridos reciclados de hormigón de alta calidad.
- 1572 toneladas de ladrillos y 673,7 toneladas de azulejos restantes se combinan para la elaboración de áridos cerámicos de alta calidad.

4.2.9 Separación por densidad en tamiz por flujo de aire de la fracción gruesa

De los tres lotes de residuos de tamaño de partícula gruesa provenientes de la criba vibratoria, sólo se introduce el lote de mezclado genérico de los RCD's al tamiz por flujo de aire. El tamiz de flujo de aire se emplea para separar los materiales de baja densidad de la corriente principal, siendo el lote mencionado el único con una proporción alta de residuos de baja densidad y el único donde el tratamiento resulta eficiente. Esta maquinaria se emplea con la fracción gruesa de la mezcla de residuos porque solo rinde con partículas mayores a los 4mm y en condiciones de absoluto secado.

El principio de este equipo reside en el empleo de ventiladores que soplan aire a través del flujo de residuos para extraer materiales de baja densidad como el papel, cartón, plásticos y madera. Se considera un 80% de separación, ya que las partículas de los materiales mencionados son susceptibles a quedarse atrapados entre otros tipos de residuos. Las corrientes afectadas en este proceso se muestran en la tabla 4.37 junto con los porcentajes y las cantidades resultantes de la separación.

Tabla 4.37: Separación por barrido de viento de las corrientes de residuos de baja densidad. Fuente: Elaboración propia

CER	Descripción	Tamizado por flujo de aire			
		Tamaño de partícula	Ton	% Separación	Ton
17 02 01	Madera	Grueso > 4mm	494,77	80	395,81
17 02 03 (Plástico)	No film, no pvc	Grueso > 4mm	104,12	80	83,30
	PVC	Grueso > 4mm	92,33	80	73,87
17 06 04	Material aislante	Grueso > 4mm	1.257,09	80	1.005,67
15 01 01	Empaques de papel y cartón	Grueso > 4mm	54,63	80	43,70
15 01 06 (Embalaje mixto)	Tablas de madera	Grueso > 4mm	361,37	80	289,10
	Cartón	Grueso > 4mm	152,03	80	121,63
	Films de polietileno	Grueso > 4mm	102,91	80	82,33
TOTAL			2.619,26		2.095,41

Lo que quiere decir que de las 5.670,59 toneladas del mezclado genérico de los RCD's gruesos provenientes de la criba vibratoria, aproximadamente 2.095 toneladas son extraídas en este proceso de separación. Las 3.575,18 toneladas restantes del lote son destinadas a la sacudidora por humedad junto con los lotes de residuos segregados y mezclado pétreo para un último proceso de depuración.

4.2.10 Separación por densidad mediante la sacudidora por humedad de la fracción gruesa

Al igual que la maquinaria presentada anteriormente, este equipo hace uso de la densidad de los materiales para su principio de funcionamiento, que consiste en la depuración de las corrientes de residuos gruesas.

El lote de residuos segregados tampoco recibe tratamiento en este último proceso, ya que como se mencionó anteriormente, no merece la pena mezclar los materiales de un lote donde los residuos ya se encuentran separados y clasificados. No obstante, los lotes de mezclado pétreo y mezclado genérico de los RCD's si son tratados mediante este equipo.

El equipo se utiliza dos veces. En la primera fase se utiliza para separar el hormigón del resto de materiales que forman la mezcla del lote, obteniendo dos corrientes de salida, el hormigón que es reintroducido en la máquina para un segundo tratamiento de depuración, y una corriente compuesta mayoritariamente por materiales cerámicos que sale del proceso. En la segunda fase, se separa el hormigón reintroducido del yeso, se requieren condiciones especiales para llevar a cabo esta separación.

Para el separado del hormigón de los cerámicos y yeso, se aplican porcentajes específicos de separado en función de la densidad del material.

- En la separación del hormigón en la primera etapa, los porcentajes de separación aplicados vienen dado según estas condiciones (Weighon, 2004):

$$\text{Si, Densidad material} \leq 2.100 \text{ kg/m}^3 \rightarrow \% \text{Separación} = 5 \%$$

$$\text{Si, } 2.100 \text{ kg/m}^3 < \text{Densidad material} \leq 2.200 \text{ kg/m}^3 \rightarrow \% \text{Separación} = 10 \%$$

$$\text{Si, } 2.200 \text{ kg/m}^3 < \text{Densidad material} \leq 2.300 \text{ kg/m}^3 \rightarrow \% \text{Separación} = 40 \%$$

$$\text{Si, } 2.300 \text{ kg/m}^3 < \text{Densidad material} < 2.400 \text{ kg/m}^3 \rightarrow \% \text{Separación} = 70 \%$$

$$\text{Si, Densidad material} \geq 2.400 \text{ kg/m}^3 \rightarrow \% \text{Separación} = 99,4 \%$$

- En la segunda etapa de separación las condiciones varían ligeramente (Schnellert and Mueller, 2010):

$$\text{Si, Densidad material} \leq 2.200 \text{ kg/m}^3 \rightarrow \% \text{Separación} = 5 \%$$

$$\text{Si, } 2.200 \text{ kg/m}^3 < \text{Densidad material} \leq 2.300 \text{ kg/m}^3 \rightarrow \% \text{Separación} = 10 \%$$

$$\text{Si, } 2.300 \text{ kg/m}^3 < \text{Densidad material} \leq 2.400 \text{ kg/m}^3 \rightarrow \% \text{Separación} = 27,4 \%$$

$$\text{Si, Densidad material} > 2.400 \text{ kg/m}^3 \rightarrow \% \text{Separación} = 90 \%$$

El proceso en cuestión junto con los porcentajes de separación aplicados y las cantidades de salida de cerámicos, yeso y hormigón resultantes viene representado en la tabla 4.38 para el mezclado pétreo y en la tabla 4.39 en el caso del mezclado genérico de los RCD's.

Tabla 4.38: Separación en Sacudidora de humedad de la fracción gruesa del mezclado pétreo. Fuente: Elaboración propia

CER	Descripción	Entrada a Sacudidora			Primera etapa en Sacudidora			Segunda etapa en Sacudidora		
		Tamaño partícula mmm	Cantidad Ton	Densidad (kg/m ³)	Separación %	Hormigón Ton	Cerámicos Ton	Separación %	Hormigón Ton	Yeso Ton
17 01 01	Hormigón	Grueso > 4mm	1.023,93	2.500	99,4	1.017,79	6,14	90	916,01	101,78
17 01 01	Hormigón(roto)	Grueso > 4mm	682,62	2.500	99,4	678,52	4,10	90	610,67	67,85
17 01 01	Hierro y acero(roto)	Grueso > 4mm	28,94	1.800	5	1,45	27,50	5	0,07	1,37
17 01 02	Ladrillos	Grueso > 4mm	5.375,63	2.200	10	537,56	4.838,07	5	26,88	510,69
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Grueso > 4mm	2.303,84	2.200	10	230,38	2.073,46	5	11,52	218,87
Arena, grava y otros agregados		Grueso > 4mm	622,54	2.000	5	31,13	591,42	5	1,56	29,57
17 05 04	Piedras y tierra	Grueso > 4mm	437,73	1.400	5	21,89	415,84	5	1,09	20,79
TOTAL			10.475,24			2.518,72	7.956,52		1.567,80	950,92

Como se puede ver en la tabla 4.38, en la primera etapa de depuración de la fracción gruesa del lote del mezclado pétreo, se consiguen separar aproximadamente 7.956 toneladas de residuos que

forman una mezcla con alta proporción de materiales cerámicos de la corriente principal compuesta mayoritariamente por hormigón. Esta corriente de salida conformada en una alta proporción por materiales cerámicos, se destina a la elaboración de áridos cerámicos de calidad media.

Por su parte, el hormigón es reintroducido a la sacudidora para realizar una segunda etapa de depuración. En esta etapa, se repite el proceso cambiando las condiciones de humedad de la sacudidora, obteniendo una corriente de hormigón más pura. Se consiguen separar 951 toneladas de residuos de la corriente de hormigón, que forman una corriente húmeda de características similares al yeso. Las 1.568 toneladas de hormigón resultante se emplean en la elaboración de hormigón reciclado de calidad media. Por su parte, la corriente de materiales ligeros que forman una especie de yeso es almacenada para su vertido.

Tabla 4.39: Separación en Sacudidora de humedad de la fracción gruesa del mezclado genérico de los RCD's. Fuente: Elaboración propia

CER	Descripción	Entrada a Sacudidora			Primera etapa en Sacudidora			Segunda etapa en Sacudidora		
		Tamaño partícula mmm	Cantidad Ton	Densidad (kg/m3)	Separación %	Hormigón Ton	Cerámicos Ton	Separación %	Hormigón Ton	Yeso Ton
17 01 01	Hormigón	Grueso > 4mm	255,98	2.500	99,4	254,45	1,54	90	229,00	25,44
17 01 01	Hormigón(roto)	Grueso > 4mm	170,66	2.500	99,4	169,63	1,02	90	152,67	16,96
17 01 01	Hierro y acero(roto)	Grueso > 4mm	7,24	1.800	5	0,36	6,87	5	0,02	0,34
17 01 02	Ladrillos	Grueso > 4mm	1.343,91	2.200	10	134,39	1.209,52	5	6,72	127,67
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Grueso > 4mm	575,96	2.200	10	57,60	518,36	5	2,88	54,72
	Arena, grava y otros agregados	Grueso > 4mm	155,64	2.000	5	7,78	147,85	5	0,39	7,39
17 05 04	Piedras y tierra	Grueso > 4mm	109,43	1.400	5	5,47	103,96	5	0,27	5,20
17 03 02	Mezcla bituminosa	Grueso > 4mm	280,15	1.500	5	14,01	266,14	5	0,70	13,31
17 08 02	Yeso de construcción	Grueso > 4mm	25,14	2.400	99,4	24,98	0,15	27,4	6,85	18,14
17 02 01	Madera	Grueso > 4mm	98,95	800	5	4,95	94,01	5	0,25	4,70
17 02 02	Vidrio	Grueso > 4mm	95,08	2.500	99,4	94,51	0,57	90	85,06	9,45
17 02 03	No film, no pvc	Grueso > 4mm	20,82	1.200	5	1,04	19,78	5	0,05	0,99
	(Plástico) PVC	Grueso > 4mm	18,47	1.400	5	0,92	17,54	5	0,05	0,88
17 06 04	Material aislante	Grueso > 4mm	251,42	600	5	12,57	238,85	5	0,63	11,94
15 01 01	Empaques de papel y cartón	Grueso > 4mm	10,93	500	5	0,55	10,38	5	0,03	0,52
15 01 06	Tablas de madera	Grueso > 4mm	72,27	800	5	3,61	68,66	5	0,18	3,43
	(Embalaje mixto) Cartón	Grueso > 4mm	30,41	700	5	1,52	28,89	5	0,08	1,44
	Films de polietileno	Grueso > 4mm	20,58	950	5	1,03	19,55	5	0,05	0,98
17 04 01	Cobre, bronce, latón	Grueso > 4mm	0,02	1.800	5	0,00	0,02	5	0,00	0,00
17 04 02	Aluminio	Grueso > 4mm	0,02	1.800	5	0,00	0,02	5	0,00	0,00
17 04 02	Aluminio	Grueso > 4mm	0,02	1.800	5	0,00	0,02	5	0,00	0,00
17 04 03	Plomo	Grueso > 4mm	2,43	1.800	5	0,12	2,30	5	0,01	0,12
17 04 04	Zinc	Grueso > 4mm	0,08	1.800	5	0,00	0,07	5	0,00	0,00
17 04 05	Hierro y Acero	Grueso > 4mm	27,62	1.800	5	1,38	26,24	5	0,07	1,31
17 04 06	Estaño	Grueso > 4mm	1,92	1.800	5	0,10	1,82	5	0,00	0,09
17 04 11	Cables	Grueso > 4mm	0,08	1.800	5	0,00	0,07	5	0,00	0,00
TOTAL			3.575,18			790,99	2.784,20		485,95	305,04

Si se observa la tabla 4.39, en la primera etapa de depuración se separan 2.784 toneladas de residuos que forman la mezcla húmeda de materiales ligeros de proporción ya no tan elevada de cerámicos de la corriente principal, compuesta mayoritariamente por hormigón. Al igual que en el anterior caso, la corriente húmeda de materiales ligeros se emplea en la elaboración de áridos cerámicos. No obstante, como la proporción de cerámicos ya no es tan elevada y la mezcla está compuesta por residuos de todo tipo, los agregados cerámicos elaborados son de menor calidad.

Al reintroducir la corriente de hormigón a la Sacudidora, en la segunda etapa de depuración se extraen 305 toneladas de residuos de la corriente principal, formando el yeso de salida. Las 486 toneladas de hormigón resultante, son empleadas en la producción de hormigón reciclado de baja calidad como consecuencia de la variedad de residuos existentes en la corriente.

Respecto al lote de residuos segregados que no recibe tratamiento en la sacudidora:

- Las 382,83 toneladas que suman el hormigón y acero restante, se utilizan para la producción de hormigón reciclado de alta calidad.
- 1.694 toneladas de las corrientes de "Azulejos y cerámicos" y "Ladrillos" son empleados en la producción de agregados cerámicos de alta calidad.

4.2.11 Globalización de los resultados

En este último apartado y al igual que en la planta básica, se resume todo el proceso de planta descrito anteriormente mediante un diagrama de flujos que recoge todas las etapas del proceso, junto con las salidas determinadas y la proporción cuantitativa del grupo de RCD's que le corresponde. Con el fin de resumir y clarificar aún más el proceso de la planta, al diagrama de flujo le sigue una tabla resumen donde se especifican las cantidades exactas de salida, la corriente de residuos original de la que provienen y las cantidades exactas del grupo de mezclado por la que están compuestas. Para concluir, se ilustra de forma gráfica mediante un diagrama Shankey, las cantidades de las corrientes de entrada convergiendo en las salidas resultantes de manera proporcional.

Este sistema de resumen, se inicia con el escenario en cuestión (1-A), mediante el cual se ha redactado todo el proceso de planta completo, y a continuación se generaliza para el resto de los escenarios que también son caso de estudio. Como se especificó anteriormente, se ha decidido no redactar el proceso de planta completo junto con las tablas de cálculo correspondientes para el resto de escenarios, debido a que los procesos de planta siguen procedimientos idénticos que difieren únicamente en los valores de entrada y los valores de salida resultantes.

Tabla 4.40: Tabla resumen de las corrientes de salida del Escenario 1-A / Planta tipo avanzada. Fuente: Elaboración propia.

ENTRADA		SALIDA							
Lote	Ton	Material	Ton	Composición	Ton	Segregado	Contenido (Ton)		
							Pétreo mezclado	RCD mezclado	
Segregado	9.176,51	Yeso	50,97	Yeso	50,97	14,59	0	36,38	
		Madera/tablas madera	1.914,46	Madera	1.293,92	291,82	0	1.002,10	
				Tablas de madera	620,54	0	620,54		
				Otro plástico	247,08	68,29	0	178,79	
		Plástico	623,50	Plástico PVC	199,70	41,15	0	158,55	
				Films de polietileno	176,72	0	0	176,72	
				Cartón	261,07	0	0	261,07	
		Papel/Cartón	332,85	Empaques de papel y cartón	71,79	0	0	71,79	
				Calidad alta	382,83	382,83	0	0	
		Árido reciclado de hormigón	2.937,44	Gruesos	Calidad media	1.567,80	0	1.567,80	0
					Calidad baja	485,95	0	0	485,95
Finos	Calidad alta				500,86	500,86	0	0	
Pétreo mezclado	24.106,01	Árido reciclados cerámicos	31.073,46	Calidad alta	1.694	1.694	0	0	
				Gruesos	Calidad media	7.956,52	0	7.956,52	0
					Calidad baja	2.784,20	0	0	2.784,20
					Calidad alta	2.245,54	2.245,54	0	0
				Finos	Calidad media	13.530,06	0	13.530,06	0
					Calidad baja	2.863,14	0	0	2.863,14
		Metales	362,76	Cobre, bronce, latón	0,17	0	0	0,17	
				Aluminio	0,17	0	0	0,17	
				Plomo	3,19	0	0	3,19	
				Zinc	0,10	0	0	0,10	
				Hierro y acero	356,51	22,21	100,70	233,59	
Mezclado genérico de RCD's	14.562,69	Estaño	2,52	0	0	2,52			
		Cables	0,10	0	0	0,10			
		Piedras y tierra	1.702,27	1.702,27	1.702,27	0	0		
		Material bituminoso	2.037,86	Material bituminoso	2.037,86	1.702,27	0	335,59	
		Vidrio	62,01	Vidrio	62,01	0	0	62,01	
		Materiales de baja densidad	2.095,41	Materiales de baja densidad	2.095,41	0	0	2.095,41	
		Otros residuos	1.760,83	Material aislante	1.760,83	510,68	0	1.250,15	
		Lodo	1.635,44	Lodo	1.635,44	0	0	1.635,44	
		Yeso con material ligero	1.255,96	Yeso con material ligero	1.255,96	0	950,92	305,04	
	47.845,21		47.845,21		47.845,21	9.176,51	24.106,01	14.562,69	

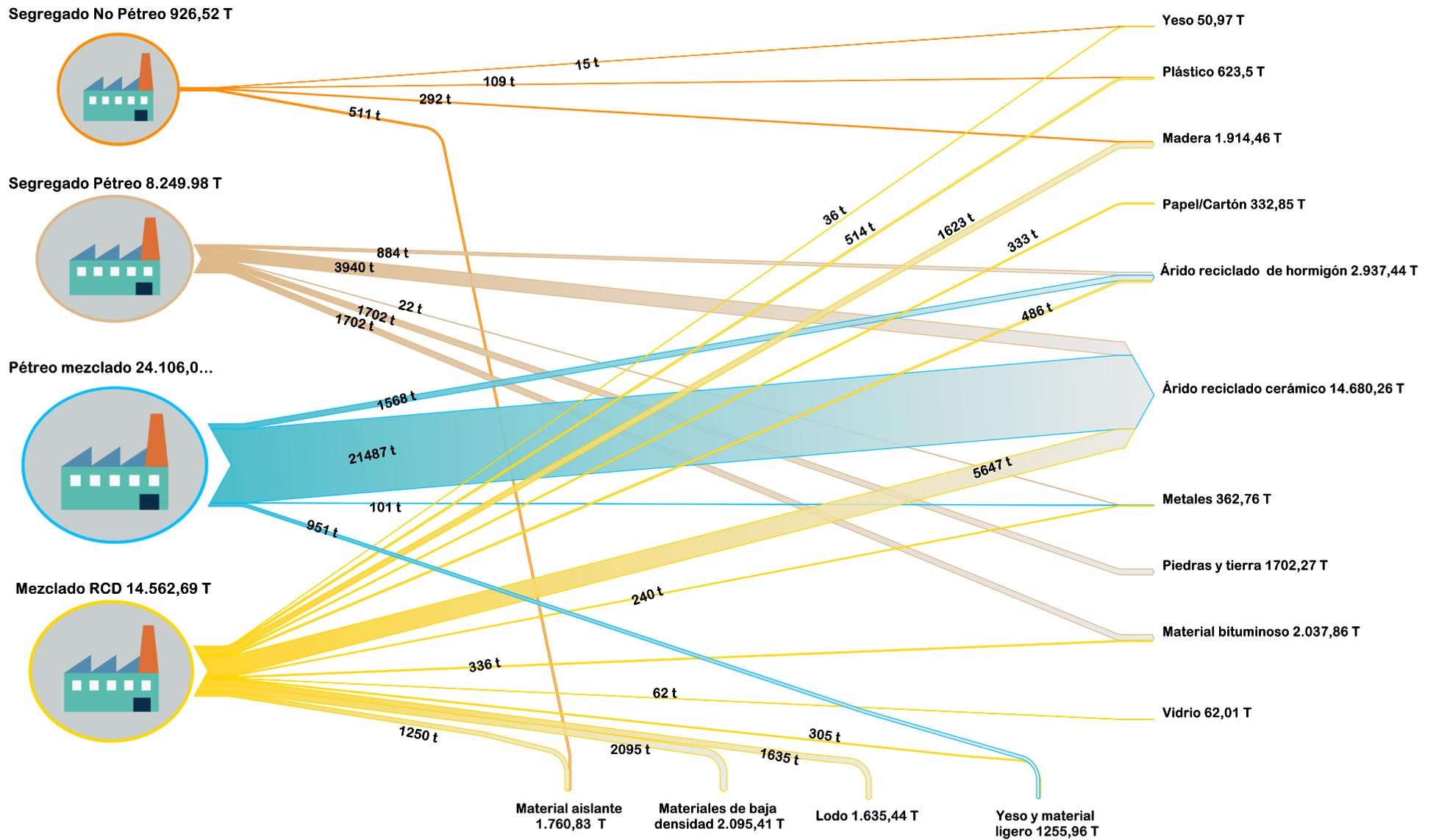


Gráfico 4.12: Diagrama Shankey de las corrientes de entrada y salida del Escenario 1-A / Planta tipo avanzada. Fuente: Elaboración propia

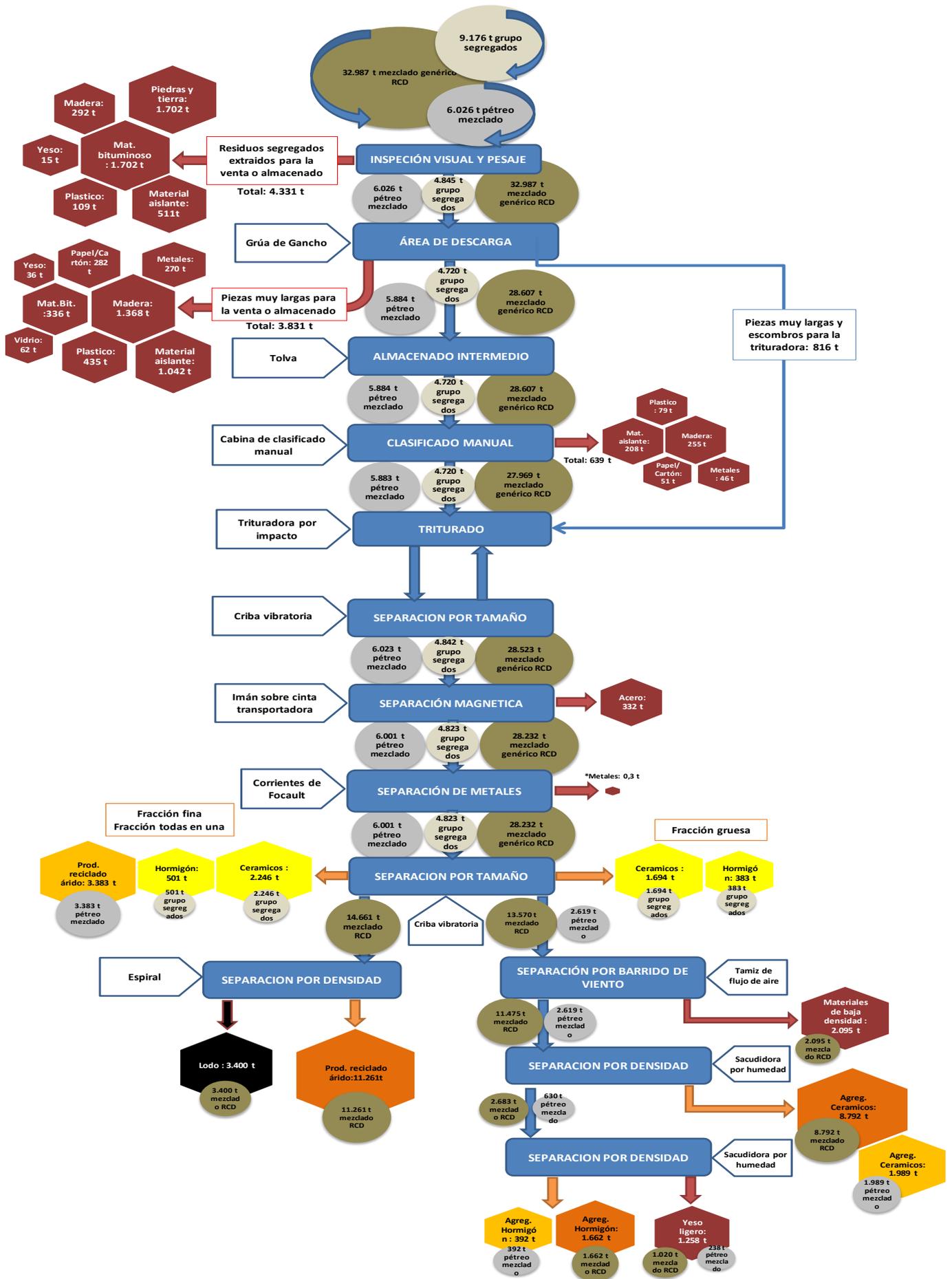


Gráfico 4.13: Diagrama de flujo Escenario 1-B / Planta tipo avanzada. Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.41: Tabla resumen de las corrientes de salida del Escenario 1-B / Planta tipo avanzada. Fuente: Elaboración propia.

ENTRADA		SALIDA								
Lote	Ton	Material	Ton	Composición	Ton	Segregado	Contenido (Ton) Pétreo mezclado	RCD mezclado		
Segregado	9.176,51	Yeso	50,97	Yeso	50,97	14,59	0	36,38		
		Madera/tablas de madera	1.914,46	Madera	1.293,92	291,82	0	1.002,10		
				Tablas de madera	620,54	0	0	620,54		
				Otro plástico	247,08	68,29	0	178,79		
		Plastico	623,50	Plástico PVC	199,70	41,15	0	158,55		
				Films de polietileno	176,72	0	0	176,72		
				Cartón	261,07	0	0	261,07		
		Papel/Cartón	332,85	Empaques de papel y carton	71,79	0	0	71,79		
				Árido reciclado de hormigón	2.937,55	Gruesos	Calidad alta	382,83	382,83	0
		Calidad media	391,95				0	391,95	0	
Calidad baja	1.661,91	0	0				1.661,91			
Pétreo mezclado	6.026,50	Árido reciclados cerámicos	29.364,95	Finos	Calidad alta	500,86	500,86	0	0	
					Calidad media	1.694	1.694	0	0	
				Gruesos	Calidad media	1.989,13	0	1.989,13	0	
					Calidad baja	8.792,32	0	0	8.792,32	
				Finos	Calidad alta	2.245,54	2.245,54	0	0	
					Calidad media	3.382,52	0	3.382,52	0	
		Metales	648,97			Calidad baja	11.261,45	0	0	11.261,45
						Cobre, bronce, latón	0,40	0	0	0,40
						Aluminio	0,40	0	0	0,40
						Plomo	7,44	0	0	7,44
Mezclado genérico de RCD's	32.986,59			Zinc	0,23	0	0	0,23		
				Hierro y acero	634,40	22,21	25,18	587,01		
				Estaño	5,87	0	0	5,87		
				Cables	0,23	0	0	0,23		
				Piedras y tierra	1.702,27	Piedras y tierra	1.702,27	1.702,27	0	0
				Material bituminoso	2.037,86	Material bituminoso	2.037,86	1.702,27	0	335,59
				Vidrio	62,01	Vidrio	62,01	0	0	62,01
				Materiales de baja densidad	2.095,41	Materiales de baja densidad	2.095,41	0	0	2.095,41
				Otros residuos	1.760,83	Material aislante	1.760,83	510,68	0	1.250,15
				Lodo	3.399,98	Lodo	3.399,98	0	0	3.399,98
Yeso con material ligero	1.257,99	Yeso con material ligero	1.257,99	0	237,73	1.020,26				
48.189,59		48.189,59		48.189,59		9.176,51	6.026,50	32.986,59		

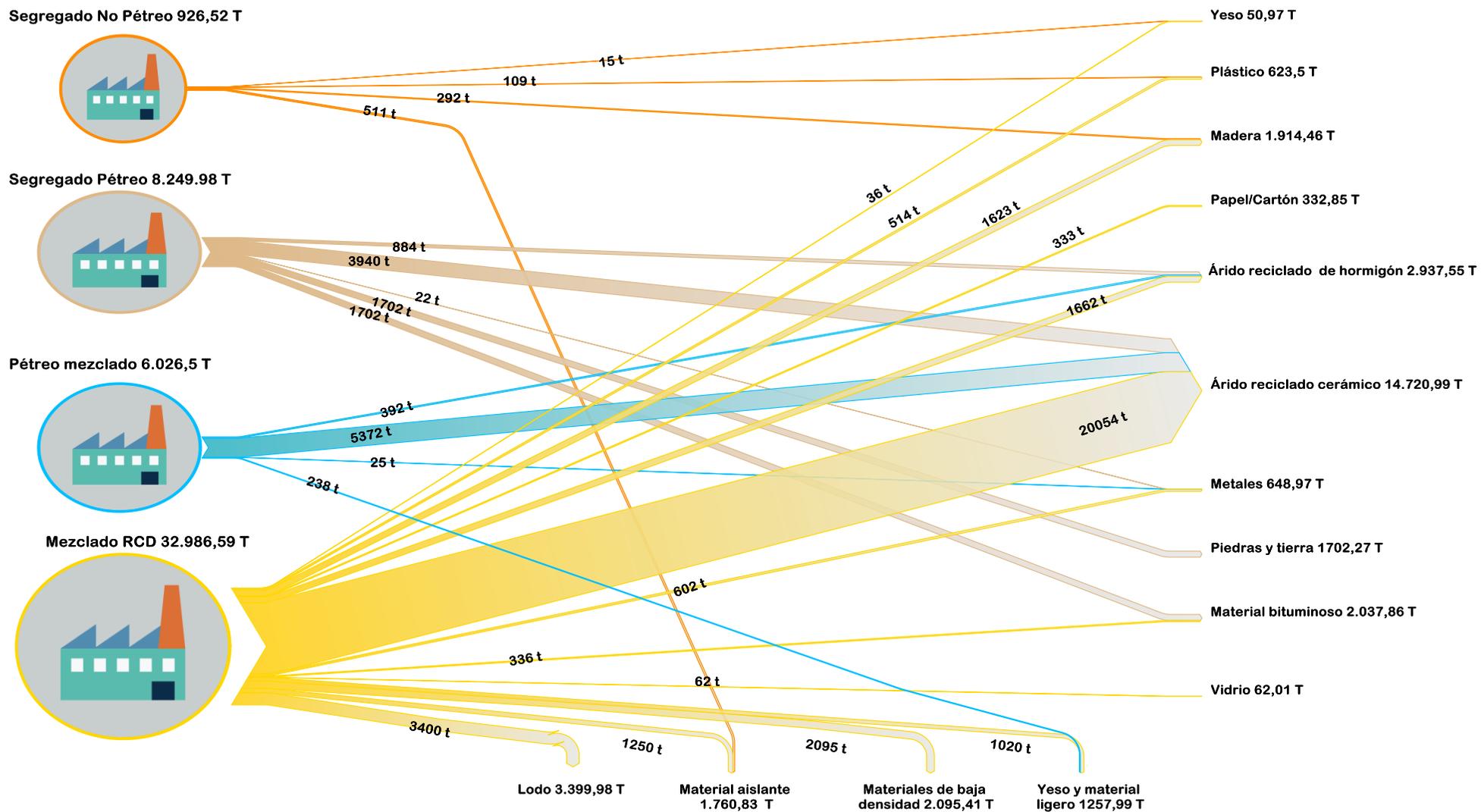


Gráfico 4.14: Diagrama Shankey de las corrientes de entrada y salida del Escenario 1-B / Planta tipo avanzada. Fuente: Elaboración propia.

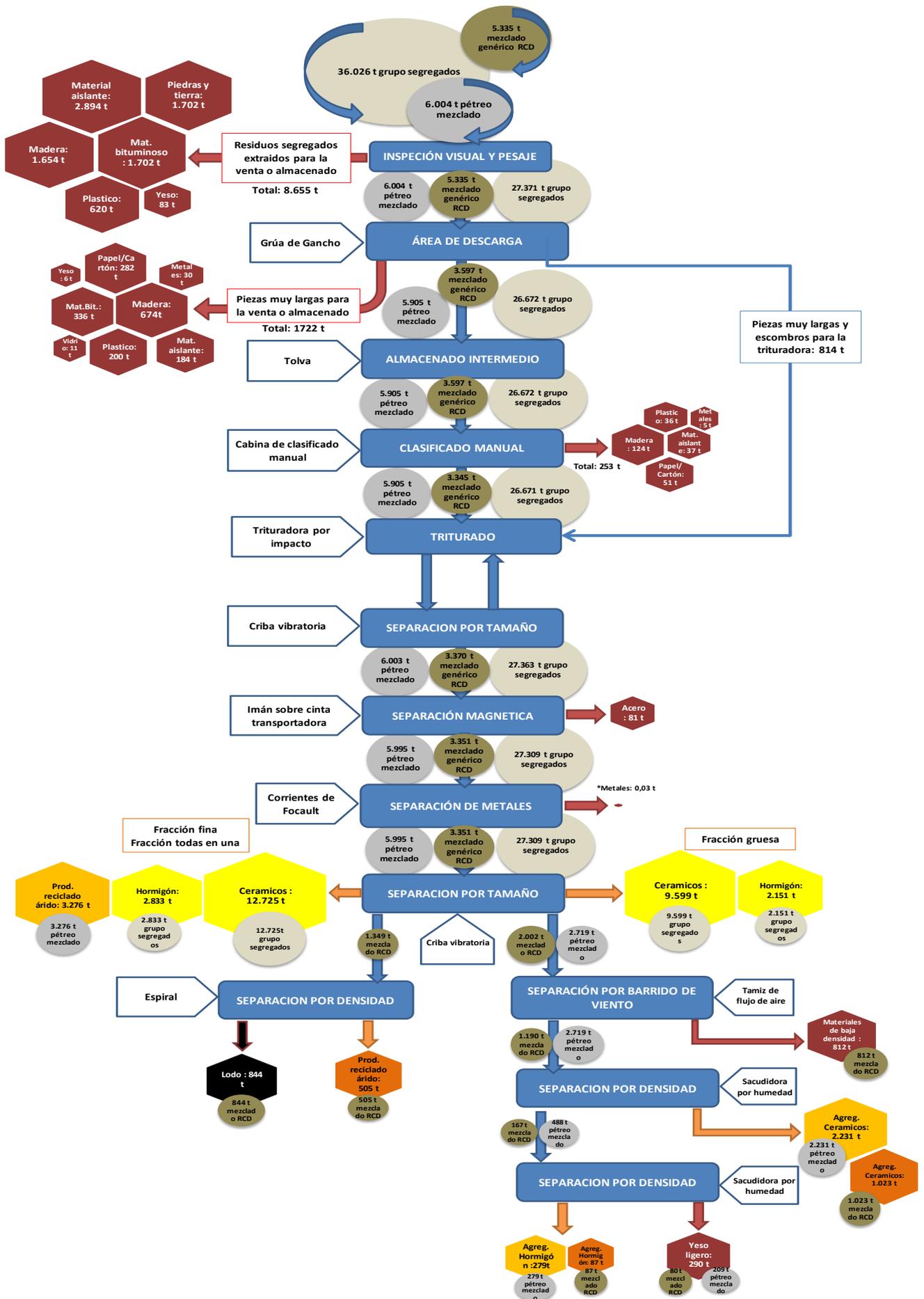


Gráfico 4.15: Diagrama de flujo Escenario 2-A / Planta tipo avanzada. Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.42: Tabla resumen de las corrientes de salida del Escenario 2-A / Planta tipo avanzada. Fuente: Elaboración propia.

ENTRADA		SALIDA							
Lote	Ton	Material	Ton	Composición	Ton	Segregado	Contenido (Ton)		
							Pétreo mezclado	RCD mezclado	
Segregado	36.026,07	Yeso	89,10	Yeso	89,10	82,68	0	6,42	
		Madera/tablas de madera	2.451,01	Madera	1.830,48	1.653,63	0	176,84	
				Tablas de madera	620,54	0	0	620,54	
		Plástico	856,37	Otro plástico	418,50	386,95	0	31,55	
				Plástico PVC	261,14	233,16	0	27,98	
				Films de polietileno	176,72	0	0	176,72	
		Papel/Cartón	332,85	Cartón	261,07	0	0	261,07	
				Empaques de papel y cartón	71,79	0	0	71,79	
		Árido reciclado de hormigón	5.350,24	Gruesos	Calidad alta	2.151,28	2.151,28	0	0
					Calidad media	278,85	0	278,85	0
					Calidad baja	87,15	0	0	87,15
				Finos	Calidad alta	2.832,96	2.832,96	0	0
Calidad media	2.231,17				0	2.231,17	0		
Calidad baja	1.022,74				0	0	1.022,74		
Pétreo mezclado	6.004,17	Árido reciclados cerámicos	Gruesos	Calidad alta	9.599,35	9.599,35	0	0	
				Calidad media	2.231,17	0	2.231,17	0	
				Calidad baja	1.022,74	0	0	1.022,74	
			Finos	Calidad alta	12.724,71	12.724,71	0	0	
				Calidad media	3.276,10	0	3.276,10	0	
				Calidad baja	505,26	0	0	505,26	
		Metales	115,80	Cobre, bronce, latón		0,03	0	0	0,03
				Aluminio		0,03	0	0	0,03
				Plomo		0,56	0	0	0,56
				Zinc		0,02	0	0	0,02
				Hierro y acero		114,70	62,94	8,89	42,87
				Estaño		0,44	0	0	0,44
Mezclado genérico de RCD's	5.335,10	Cables		0,02	0	0	0,02		
		Piedras y tierra		1.702,27	1.702,27	1.702,27	0	0	
		Material bituminoso		2.037,86	2.037,86	1.702,27	0	335,59	
		Vidrio		10,94	10,94	0	0	10,94	
		Materiales de baja densidad		811,81	811,81	0	0	811,81	
		Otros residuos		3.114,47	3.114,47	2.893,86	0	220,61	
		Lodo		843,70	843,70	0	0	843,70	
		Yeso con material ligero		289,56	289,56	0	209,16	80,40	
47.365,34		47.365,34		47.365,34	36.026,07	6.004,17	5.335,10		

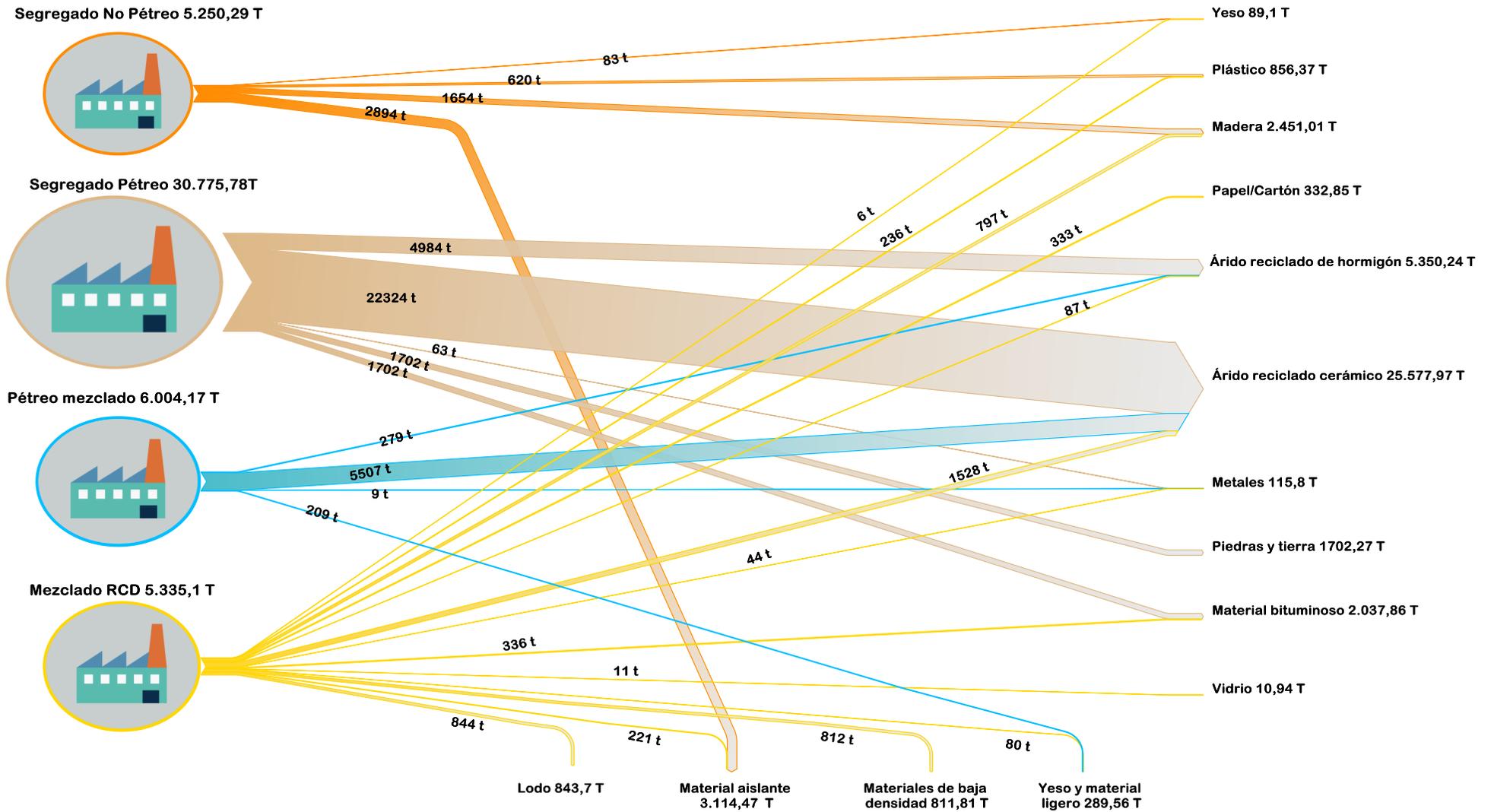


Gráfico 4.16: Diagrama Shankey de las corrientes de entrada y salida del Escenario 2-A / Planta tipo avanzada. Fuente: Elaboración propia.

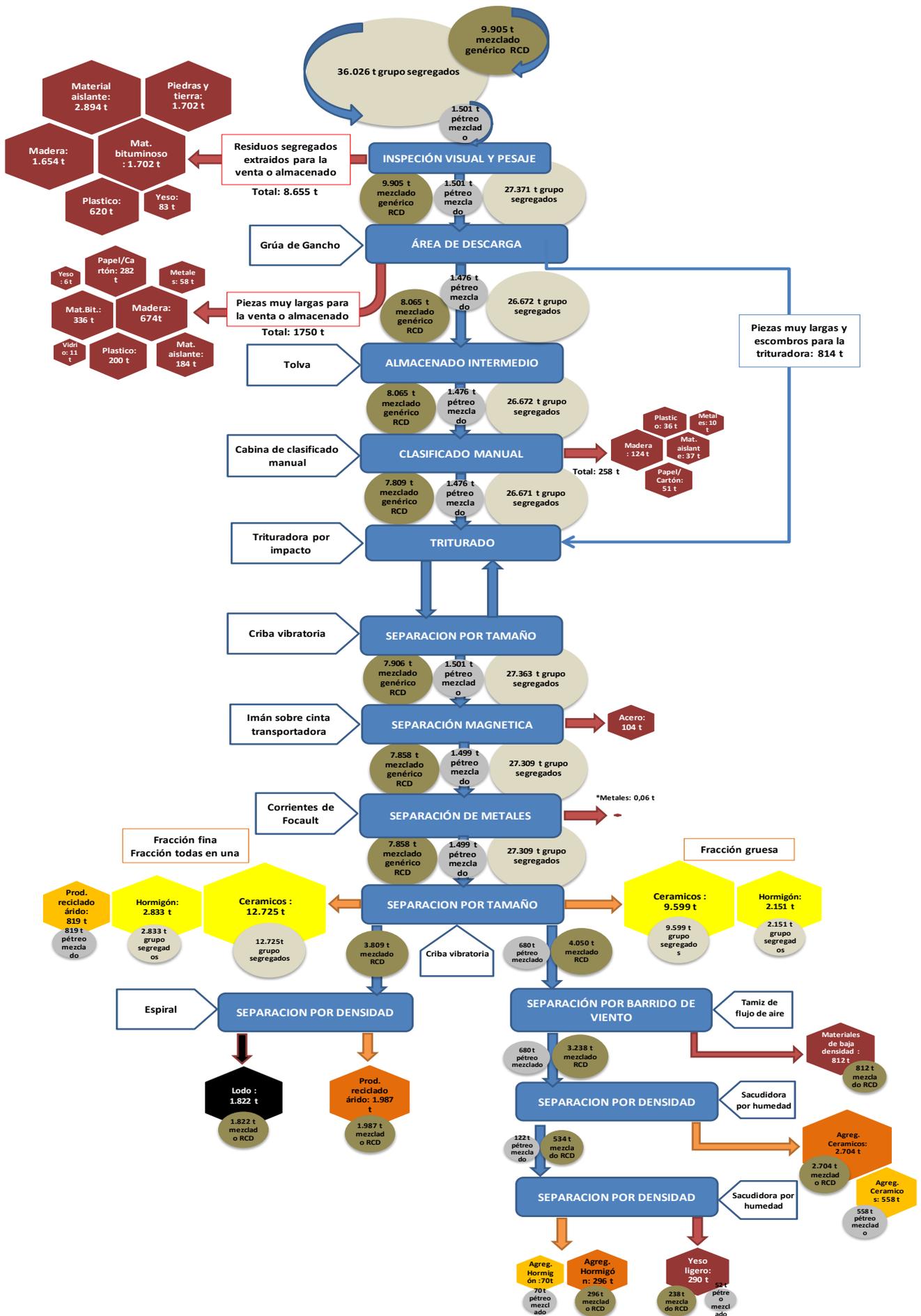


Gráfico 4.17: Diagrama de flujo Escenario 2-B / Planta tipo avanzada. Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.43: Tabla resumen de las corrientes de salida del Escenario 2-B / Planta tipo avanzada. Fuente: Elaboración propia.

ENTRADA		SALIDA											
Lote	Ton	Material	Ton	Composición	Ton	Segregado	Contenido (Ton) Pétreo mezclado	RCD mezclado					
Segregado	36.026,07	Yeso	89,10	Yeso	89,10	82,68	0	6,42					
		Madera/tablas de madera	2.451,01	Madera	1.830,48	1.653,63	0	176,84					
				Tablas de madera	620,54	0	0	620,54					
				Otro plástico	418,50	386,95	0	31,55					
		Plastico	856,37	Plástico PVC	261,14	233,16	0	27,98					
				Films de polietileno	176,72	0	0	176,72					
				Cartón	261,07	0	0	261,07					
		Papel/Cartón	332,85	Empaques de papel y carton	71,79	0	0	71,79					
				Árido reciclado de hormigón	5.350,26	Gruesos	Calidad alta	2.151,28	2.151,28	0	0		
		Calidad media	69,71			0	69,71	0					
		Calidad baja	296,31			0	0	296,31					
		Pétreo mezclado	1.501,04	Árido reciclados cerámicos	28.392,15	Finos	Calidad alta	2.832,96	2.832,96	0	0		
Calidad media	9.599,35					9.599,35	0	0					
Gruesos	Árido reciclados cerámicos			28.392,15	Calidad alta	557,79	0	557,79	0				
					Calidad media	2.703,96	0	0	2.703,96				
					Calidad baja	12.724,71	12.724,71	0	0				
Metales	171,47			Finos	Árido reciclados cerámicos	28.392,15	Calidad media	819,03	0	819,03	0		
							Calidad baja	1.987,31	0	0	1.987,31		
							Cobre, bronce, latón	0,07	0	0	0,07		
							Aluminio	0,07	0	0	0,07		
							Plomo	1,31	0	0	1,31		
Mezclado genérico de RCD's	9.905,09	Metales	171,47	Finos	Árido reciclados cerámicos	28.392,15	Zinc	0,04	0	0	0,04		
							Hierro y acero	168,90	62,94	2,22	103,74		
							Estaño	1,04	0	0	1,04		
							Cables	0,04	0	0	0,04		
							Piedras y tierra	1.702,27	1.702,27	1.702,27	0	0	
							Material bituminoso	2.037,86	Material bituminoso	2.037,86	1.702,27	0	335,59
							Vidrio	10,94	Vidrio	10,94	0	0	10,94
							Materiales de baja densidad	811,81	Materiales de baja densidad	811,81	0	0	811,81
							Otros residuos	3.114,47	Material aislante	3.114,47	2.893,86	0	220,61
							Lodo	1.821,66	Lodo	1.821,66	0	0	1.821,66
Yeso con material ligero	289,96	Yeso con material ligero	289,96	0	52,29	237,67							
47.432,20		47.432,20		47.432,20		36.026,07	1.501,04	9.905,09					

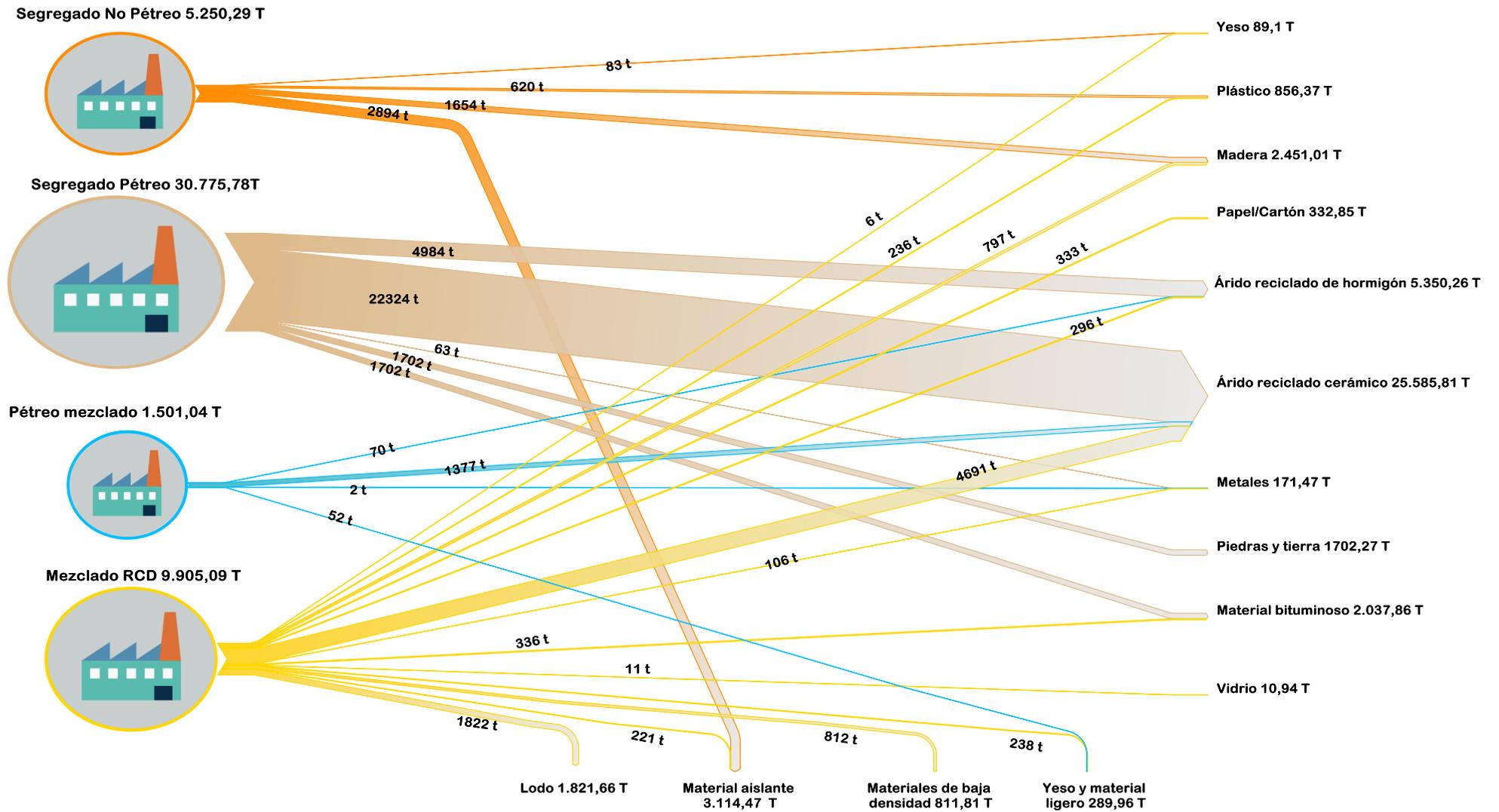


Gráfico 4.18: Diagrama Shankey de las corrientes de entrada y salida del Escenario 2-B / Planta tipo avanzada. Fuente: Elaboración propia

5 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En este apartado del proyecto, se emplean criterios de distinta tipología con el fin de evaluar y comparar el desempeño de la planta básica y avanzada en cada uno de los escenarios estudiados. Consiguientemente se evaluará la influencia de la segregación en fuente de los recursos tratados, así como la repercusión del carácter del mezclado de los recursos sobre el rendimiento de la planta.

Para tal fin, se ha elegido un criterio técnico que determina la calidad de los áridos reciclados, un criterio económico de cálculo de los ingresos generados por la venta de los materiales recuperados y áridos reciclados, un criterio social que evalúa el impacto sobre el entorno de la planta debido a las emisiones de PM10, y dos criterios medioambientales que tratan sobre la capacidad de recuperación de recursos y el impacto sobre el calentamiento global que ejerce la planta.

5.1 CAPACIDAD DE RECUPERACIÓN DE LOS RECURSOS

Uno de los criterios principales para evaluar la influencia de la segregación de los RCD's en fuente sobre los dos tipos de plantas analizados en este estudio, es la capacidad de recuperación de los recursos tratados. En este apartado, se pretende calcular dicha recuperación de recursos obtenida por la planta y el escenario en cuestión, incluida la recuperación por parte de los managers de residuos. Este criterio propone analizar la viabilidad del 70% de recuperación de los RCD's para el año 2020.

El criterio se define mediante el porcentaje de los RCD's de valor recuperados frente al total de residuos generados. Los áridos reciclados de baja calidad no se incluyen en el porcentaje de recuperación de RCD's calculado, debido a que se considera que suponen una pérdida del potencial de reciclado de los materiales originales.

Se consideran áridos reciclados de baja calidad a los áridos cerámicos mixtos elaborados con la fracción fina de salida de la planta básica y de los procedentes de la planta avanzada, a los áridos de hormigón reciclados derivados del lote de mezclado genérico de RCD's y a los áridos reciclados cerámicos elaborados con la fracción fina del mismo lote. No se consideran por tanto, en estos términos, como áridos reciclados de baja calidad, a los áridos cerámicos reciclados provenientes de la fracción gruesa del lote del mezclado genérico de RCD's de la planta avanzada.

Evidentemente, los residuos de salida de planta destinados al vertedero tampoco computan en el porcentaje de recuperación de RCD's. Entre estos residuos se encuentran los siguientes:

- Yeso (planta I y III)
- Vidrio (planta I y III)
- Plástico que no es ni PVC ni film (planta I y III)
- Bloques de hormigón armado (planta I)
- Material aislante (planta I y III)
- Materiales de baja densidad (planta I y III)
- Lodo de salida (planta III)
- Yeso con material ligero (planta III)

El resto de materiales y productos de salida de planta se consideran como potencialmente reutilizables. Los datos de salida de planta, el destino de los materiales y productos, así como los cálculos realizados para la determinación del porcentaje de recuperación de los recursos pueden contemplarse en las tablas 5.2 y 5.3 de las páginas 134 y 135. Como se ha mencionado anteriormente, los materiales vendidos a los managers de residuos previamente al tratamiento en planta, se consideran como recursos recuperados y por tanto, computan en el cálculo de la capacidad de recuperación de la planta.

El resumen de los resultados obtenidos de la capacidad recuperativa de recursos de cada una de las plantas y escenarios pueden consultarse en la tabla 5.1.

Tabla 5.1: Capacidad de recuperación de recursos. Fuente: Elaboración propia

	Planta Básica Escenario				Planta Avanzada Escenario			
	1-A	1-B	2-A	2-B	1-A	1-B	2-A	2-B
Capacidad de recuperación (%)	45,85	45,81	48,02	48,01	78,50	55,18	87,31	81,82

Para la planta básica, los resultados finales determinan que la segregación en el origen de los RCD's tienen un impacto insignificativo sobre la capacidad de recuperación de los recursos. Cabe recordar, que en el escenario 1 se proponían políticas de segregación en fuente de los residuos convencionales y consiguientemente representaba un escenario de baja segregación, mientras que en el escenario 2 ocurría todo lo contrario, se aplicaban políticas modernas de segregación en fuente y se daba lugar a un escenario de alta segregación. Por su parte, los subescenarios A y B variaban entre sí por las políticas de mezclado, en el subescenario A se fomentaba el mezclado uniforme de los residuos y en el B, se mezclaban entre sí gran parte de los residuos. Como se puede ver, entre el

escenario 1 y 2 los porcentajes de recuperación apenas varían en un 2%, por lo que es obvio que en la planta básica la segregación en fuente de los RCD's no tiene apenas influencia. La diferencia del 2%, viene dada principalmente a la alta segregación aplicada en el origen, que permite vender una mayor cantidad de materiales segregados al manager de residuos antes del tratamiento en planta, reflejándose en una mayor capacidad de recuperación de recursos. Las cantidades recuperadas por la planta debidas al proceso en sí son de valores muy similares. En cuanto a los subescenarios A y B, los porcentajes de recuperación resultan prácticamente idénticos, lo que es lógico si se tiene en cuenta que en la planta básica se mezclaban entre sí todos los residuos de entrada independientemente del grupo al que pertenecían.

En la planta avanzada sin embargo, las tornas cambian, reflejándose la importancia de la segregación y del mezclado uniforme de los residuos en los resultados obtenidos para los escenarios estudiados. El claro ejemplo es el escenario 2-A, donde se incentiva la alta segregación y mezclado uniforme de los residuos, y se alcanza prácticamente el 90% de recuperación de los recursos englobados. Por su parte, en el que sería el escenario más desfavorable en cuanto a políticas de segregación y mezclado de los residuos, el escenario 1-B, apenas se alcanza el 55% de recuperación. En esta planta, las cantidades recuperadas por la planta debidas al proceso de la misma varían notoriamente entre los distintos escenarios, por lo que la planta avanzada sí que aprovecha y exprime la segregación y el mezclado uniforme de los RCD's, obteniéndose cantidades de recuperación notoriamente superiores en los escenarios más favorables. Básicamente, el hecho de que la planta trabaje con lotes de RCD's separados por su tipología, le permite aplicar tratamientos específicos a cada uno de los lotes dependiendo de sus características, y consiguientemente se obtiene una mayor eficiencia de la planta. El escenario 2-A, implica valores elevados de entrada a planta de los lotes de residuos segregados y mezclado pétreo, por lo que la cantidad de áridos reciclados de la salida de planta será mayor que en otros casos si se tiene en cuenta que los áridos estas compuestos mayoritariamente por residuos de carácter pétreo. Esto se traduce en una mayor capacidad de recuperación de los residuos. No obstante, en el escenario 1-B, las políticas aplicadas establecen que la mayoría de RCD's se encuentren apilados en el lote de mezclado genérico de los RCD's, y esto supone que las cantidades de salida de desechos como el lodo, los materiales ligeros y el yeso húmedo sean mayores. Desechos que se obtienen en maquinarias de uso específico para el lote correspondiente al mezclado genérico y que no computan en el cálculo de la capacidad recuperativa de recursos de la planta.

Concluyendo con este criterio, es obvio que para alcanzar el 70% de recuperación de los RCD's es necesario que los residuos reciban el tratamiento que les corresponde en una planta de tipo avanzada. En cuanto a la segregación y el carácter de mezclado, ha quedado demostrado que la alta

segregación y la uniformidad de la mezcla se traduce en una notoria mayor capacidad de recuperación de recursos de la planta. Aunque cabe destacar, que en el escenario 1-A de la planta avanzada, de baja segregación y que tiende al mezclado uniforme de los residuos, los resultados son mejor de los esperados con casi un 80% de capacidad de recuperación de los recursos. Lo que sugiere que la uniformidad de los grupos de mezclado es casi tan importante como la alta segregación para los términos de este criterio.

Tabla 5.2: Cálculo del porcentaje de la capacidad recuperativa de recursos de la planta básica en los escenarios estudiados. Fuente: Elaboración propia

Planta	Salidas	Destino final		Salida de las plantas (Ton)				Recursos recuperados (Ton)				
				1-A	1-B	2-A	2-B	1-A	1-B	2-A	2-B	
TYPE I	Piedras y tierra	venta	1	1.702,27	1.702,27	1.702,27	1.702,27	1.702,27	1.702,27	1.702,27	1.702,27	
	Mat. Bituminoso	venta	1	2.008,68	2.008,68	2.008,68	2.008,68	2.008,68	2.008,68	2.008,68	2.008,68	
	Yeso	vertedero	0	49,32	49,32	88,81	88,81	0	0	0	0	
	Madera	venta	1	1.124,56	1.124,56	1.800,59	1.800,59	1.124,56	1.124,56	1.800,59	1.800,59	
	Tablas de madera	venta	1	506,09	506,09	506,09	506,09	506,09	506,09	506,09	506,09	
	Vidrio	vertedero	0	62,01	62,01	10,94	10,94	0	0	0	0	
	Plástico	Otro plástico	vertedero	0	203,82	203,82	354,39	354,39	0	0	0	0
		PVC	venta	1	180,74	180,74	314,27	314,27	180,74	180,74	314,27	314,27
		Film	venta	1	144,13	144,13	144,13	144,13	144,13	144,13	144,13	144,13
	Papel/Cartón	venta	1	269,62	269,62	269,62	269,62	269,62	269,62	269,62	269,62	
	Bloques de H.A	vertedero	0	1.776,28	1.776,28	888,14	888,14	0	0	0	0	
	Mezclado de metales	venta	1	105,31	245,73	20,42	47,66	105,31	245,73	20,42	47,66	
	Metal (Fe)	venta	1	171,06	317,94	51,94	80,58	171,06	317,94	51,94	80,58	
	Otro residuos	vertedero	0	1.636,43	1.636,43	3.092,52	3.092,52	0	0	0	0	
	Árido reciclado cerámico mixto	Grueso	venta	1	15.293,91	15.332,26	15.266,96	15.274,33	15.293,91	15.332,26	15.266,96	15.274,33
		Fino	venta	0	12.150,97	12.166,91	11.810,98	11.814,04	0	0	0	0
		Todas en una	venta	0	7.955,23	7.958,03	8.041,05	8.041,59	0	0	0	0
Materiales de baja densidad	vertedero	0	2.504,78	2.504,78	993,53	993,53	0	0	0	0		
Total planta				47.845,21	48.189,59	47.365,34	47.432,20	21.506,37	21.832,02	22.084,97	22.148,23	
Vendido previamente al manager				791,09	446,70	1.270,96	1.204,10	791,09	446,70	1.270,96	1.204,10	
Total recuperado								22.297,46	22.278,72	23.355,93	23.352,33	
% Recuperación								45,85	45,81	48,02	48,01	

Tabla 5.3: Cálculo del porcentaje de la capacidad recuperativa de recursos de la planta avanzada en los escenarios estudiados. Fuente: Elaboración propia

Planta	Salidas	Destino final		Salida de las plantas (Ton)				Recursos recuperados (Ton)					
				1-A	1-B	2-A	2-B	1-A	1-B	2-A	2-B		
	Piedras y tierra	venta	1	1.702,27	1.702,27	1.702,27	1.702,27	1.702,27	1.702,27	1.702,27	1.702,27		
	Mat. bituminoso	venta	1	2.037,86	2.037,86	2.037,86	2.037,86	2.037,86	2.037,86	2.037,86	2.037,86		
	Yeso	vertedero	0	50,97	50,97	89,10	89,10	0,00	0,00	0,00	0,00		
	Madera	venta	1	1.293,92	1.293,92	1.830,48	1.830,48	1.293,92	1.293,92	1.830,48	1.830,48		
	Vidrio	vertedero	0	62,01	62,01	10,94	10,94	0,00	0,00	0,00	0,00		
	Tablas de madera	material	1	620,54	620,54	620,54	620,54	620,54	620,54	620,54	620,54		
	Otro plástico	vertedero	0	247,08	247,08	418,50	418,50	0,00	0,00	0,00	0,00		
	Plástico PVC	venta	1	199,70	199,70	261,14	261,14	199,70	199,70	261,14	261,14		
	Film	venta	1	176,72	176,72	176,72	176,72	176,72	176,72	176,72	176,72		
	Papel/Cartón	venta	1	332,85	332,85	332,85	332,85	332,85	332,85	332,85	332,85		
	Mezclado de metales	venta	1	147,05	316,49	34,66	67,56	147,05	316,49	34,66	67,56		
	Otro residuos	vertedero	0	1.760,83	1.760,83	3.114,47	3.114,47	0,00	0,00	0,00	0,00		
	Metal (Fe)	venta	1	215,56	332,14	81,11	103,85	215,56	332,14	81,11	103,85		
TYPE III	Metales (Al,Cu,..)	venta	1	0,14	0,33	0,03	0,06	0,14	0,33	0,03	0,06		
	Lodo	vertedero	0	1.635,44	3.399,98	843,70	1.821,66	0,00	0,00	0,00	0,00		
	Materiales de baja densidad	vertedero	0	2.095,41	2.095,41	811,81	811,81	0,00	0,00	0,00	0,00		
	Yeso y mat. Ligero	vertedero	0	1.255,96	1.257,99	289,56	289,96	0,00	0,00	0,00	0,00		
	Áridos reciclados cerámicos	Grueso	Alta calidad	venta	1	1.694,00	1.694,00	9.599,35	9.599,35	1.694,00	1.694,00	9.599,35	9.599,35
Calidad media			venta	1	7.956,52	1.989,13	2.231,17	557,79	7.956,52	1.989,13	2.231,17	557,79	
Baja calidad			venta	1	2.784,20	8.792,32	1.022,74	2.703,96	2.784,20	8.792,32	1.022,74	2.703,96	
Fino		Alta calidad	venta	1	2.245,54	2.245,54	12.724,71	12.724,71	2.245,54	2.245,54	12.724,71	12.724,71	
		Calidad media	venta	1	13.530,06	3.382,52	3.276,10	819,03	13.530,06	3.382,52	3.276,10	819,03	
		Baja calidad	venta	0	2.863,14	11.261,45	505,26	1.987,31	0,00	0,00	0,00	0,00	
Áridos reciclados de hormigón	Grueso	Alta calidad	venta	1	382,83	382,83	2.151,28	2.151,28	382,83	382,83	2.151,28	2.151,28	
		Calidad media	venta	1	1.567,80	391,95	278,85	69,71	1.567,80	391,95	278,85	69,71	
		Baja calidad	venta	0	485,95	1.661,91	87,15	296,31	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Fino	Alta calidad	venta	1	500,86	500,86	2.832,96	2.832,96	500,86	500,86	2.832,96	2.832,96	
Total planta				47.845,21	48.189,59	47.365,34	47.432,20	37.388,43	26.391,97	41.194,83	38.592,12		
Vendido previamente al manager				791,09	446,70	1.270,96	1.204,10	791,09	446,70	1.270,96	1.204,10		
Total recuperado								38.179,52	26.838,68	42.465,79	39.796,22		
% Recuperación								78,50	55,18	87,31	81,82		

5.2 CALIDAD DE LOS ÁRIDOS RECICLADOS

Un aspecto técnico a tener en cuenta para evaluar la influencia de la segregación en fuente sobre los dos tipos de plantas estudiadas en este trabajo, es la calidad de los áridos reciclados que se obtienen a la salida de las mismas. Este criterio, se puede calcular a partir del balance de masas final obtenido, debido a que las impurezas y contaminantes que no han podido ser extraídos durante en proceso de planta permanecen en el árido reciclado final, perjudicando su calidad.

En las especificaciones de los áridos reciclados para la elaboración de hormigón estructural, por ejemplo, se limita estrictamente el contenido de yeso y material asfáltico a menos de un 5%, y las impurezas o impropios han de ser menores al 1% (BOE, 2008b). Estos valores propuestos son para el hormigón estructural, lógicamente, el límite de contenido de contaminantes e impurezas vendrá fijado por el tipo de aplicación al que se quiera destinar el árido reciclado. No obstante, los valores límite de contenido del árido reciclado en yeso, material asfáltico (bituminoso) y de materiales impropios citados para la elaboración del hormigón estructural, son considerados como indicadores estándares a la hora de evaluar la calidad del árido reciclado por los compradores.

Para el cálculo del criterio en cuestión, se tienen en cuenta dos parámetros, el primero se basa en el contenido y la composición del árido reciclado y el segundo está relacionado con la cantidad de áridos reciclados producidos a una calidad determinada. Los valores de puntuación empleados pueden ser consultados en la tabla 5.4.

Tabla 5.4: Puntuación establecida para el cálculo de la calidad de los áridos reciclados. Fuente: Elena Dosal, (2015)

Puntuación por cantidad		Puntuación del contenido	
Áridos reciclados de calidad baja	1	Contenido en material bituminoso < 5 %	1
Áridos reciclados de calidad media	3	Contenido en yeso < 5 %	2
Áridos reciclados de calidad alta	5	Contenido en impropios < 5 %	3

El valor final se determina al considerar ambos parámetros sobre los áridos reciclados obtenidos en ambos tipos de planta y en cada uno de los escenarios presentados. Cuanto mayor sea la puntuación obtenida, mayor es el potencial de generación de áridos reciclados del caso en cuestión, tanto en calidad como en cantidad.

La primera calificación, se determina con la suma ponderada de las puntuaciones obtenidas en base a los límites establecidos en cuanto a contenido de materiales perjudiciales para la calidad del árido reciclado final.

La segunda calificación, consiste en la suma ponderada del producto entre el porcentaje de áridos reciclados de una determinada calidad y la puntuación que le corresponde a dicho nivel de calidad.

Cabe mencionar que por definición, los áridos reciclados obtenidos en cada tipo de planta son diferentes. En la planta básica, solo se producen áridos reciclados cerámicos mixtos de baja calidad, mientras que en la planta avanzada, se producen áridos reciclados de hormigón y cerámicos de toda la gama de calidades. En la tabla 5.6 de la página 139 se pueden observar las cantidades finales de áridos reciclados producidos por ambos tipos de planta y su composición.

Para este caso de estudio, sólo se han considerado los áridos reciclados provenientes de la fracción gruesa, al tratarse de un indicador más real y representativo en cuanto a la calidad se refiere. Los resultados finales pueden ser consultados en la tabla 5.5.

Tabla 5.5: Puntuación final de la calidad de los áridos reciclados. Fuente: Elaboración propia

Puntuación	Planta Básica Escenario				Planta Avanzada Escenario			
	1-A	1-B	2-A	2-B	1-A	1-B	2-A	2-B
Cantidad	1	1	1	1	2,84	1,88	4,38	4,14
Contenido	3	3	3	3	5,25	3,92	5,79	5,40
Total	4	4	4	4	8,09	5,80	10,17	9,54

Para la planta básica, los resultados finales reflejan la misma puntuación, tanto en calidad del contenido del árido como en la cantidad de áridos producidos a una determinada calidad, independientemente del escenario estudiado. En cuanto a la puntuación de cantidad, esto resulta completamente comprensible bajo la premisa de que la planta básica está limitada a la producción de áridos reciclados de una única gama de calidad: áridos reciclados cerámicos mixtos de baja calidad. Por tanto, la suma ponderada del producto entre el porcentaje de áridos reciclados de una determinada calidad y la puntuación que le corresponde a dicho nivel de calidad, estable la misma calificación para todos los escenarios. Por su parte, en cuanto a la puntuación del contenido, aunque se obtengan las mismas calificaciones para los distintos escenarios, se puede verificar en la tabla 5.6 que los áridos reciclados producidos en el escenario 2 son áridos más limpios con un contenido en yeso e impropios menor al del escenario 1. Nos obstante, se puede deducir mediante este criterio y al igual que el criterio analizado anteriormente, que la planta básica no se beneficia y explota las posibilidades que le otorga la alta segregación de los residuos o el mezclado uniforme de los mismos que se establecen en los escenarios favorables.

En la planta avanzada, la situación vuelve a dar un giro de 180º, reflejándose otra vez la importancia de la segregación y del mezclado uniforme de los residuos en los resultados obtenidos para los escenarios estudiados. El escenario 2-A (alta segregación y mezclado uniforme), vuelve a situarse como el escenario donde la planta obtiene un mejor rendimiento y eficiencia, obteniendo las puntuaciones más altas en la cantidad de áridos producidos a una determinada calidad y del contenido de los mismos. Como se mencionó anteriormente, la alta segregación y el fomento del

mezclado uniforme implican cantidades elevadas del lote de residuos segregados y del mezclado pétreo, mediante los cuales se producen áridos reciclados de alta y media calidad respectivamente, debido a su alto contenido en materiales de carácter pétreo (tabla 5.6), y esto se refleja claramente en las calificaciones obtenidas mediante este criterio, con una puntuación de entorno al 10 y donde el 76% de los áridos reciclados producidos son de alta calidad. Por su parte, el escenario opuesto al 2-A, el escenario 1-B, vuelve a obtener las peores puntuaciones como consecuencia de la baja segregación, mezclado heterogéneo y consiguientes cantidades elevadas en el lote de mezclado genérico de RCD's. Esto implica una mayor producción de áridos reciclados de baja calidad, de entorno al 70%, y de una alta producción de desechos como lodos, yeso húmedo o materiales ligeros.

Para finalizar con el criterio, queda claro que si se quiere alcanzar una óptima producción de áridos de calidad, es necesario disponer de plantas de reciclaje de clase avanzada en las que se expresen y aprovechan las correctas políticas de segregado y mezclado de RCD's. Si se mantienen los modelos convencionales de planta básica, resultará extremadamente complicado alcanzar las metas de recuperación de aquellos materiales desechados con potencial de reutilización, por mucho que se pongan en marcha políticas correctas de segregación y mezclado de RCD's. Y es que la producción de áridos reciclados de baja calidad supone muchas veces una pérdida del potencial real de reciclado del material original.

Tabla 5.6: Cantidades y composición final de los áridos reciclados producidos por ambos tipos de plantas. Fuente: Elaboración propia

Subcriterios	Planta tipo I				Planta tipo III							
	Escenario 1A	Escenario 1B	Escenario 2A	Escenario 2B	Escenario 1A		Escenario 1B		Escenario 2A		Escenario 2B	
	Cerámico mixto				Cerámico	Hormigón	Cerámico	Hormigón	Cerámico	Hormigón	Cerámico	Hormigón
Cantidad de árido de baja calidad (Ton)	15.293,91	15.332,26	15.266,96	15.274,33	2.784,20	485,95	8.792,32	1.661,91	1.022,74	87,15	2.703,96	296,31
Contenido hormigón %	11,81	11,79	14,14	14,13	0,09	78,54	0,12	91,86	0,04	77,28	0,07	90,92
Contenido material cerámico %	73,84	73,66	73,97	73,94	62,06	1,98	78,61	2,31	29,81	1,94	45,11	2,29
< 5 Cantidad de asfalto %	1,90	1,90	1,91	1,91	9,56	0,14	3,03	0,04	26,02	0,80	9,84	0,24
< 5 Contenido en yeso %	0,14	0,14	0,02	0,02	0,01	1,41	0,00	0,41	0,00	1,39	0,00	0,41
< 1 Impropios en el árido %	3,64	3,88	1,28	1,33	19,24	17,79	6,79	5,21	19,50	17,83	7,73	5,25
< 5 Cantidad de finos en el árido grueso %	8,67	8,64	8,68	8,68	9,04	0,14	11,46	0,16	24,62	0,76	37,25	0,89
Cantidad de árido de media calidad (Ton)					7.956,52	1.567,80	1.989,13	391,95	2.231,17	278,85	557,79	69,71
Contenido hormigón %					0,13	97,38	0,13	97,38	0,08	96,62	0,08	96,62
Contenido material cerámico %					86,87	2,45	86,87	2,45	54,67	2,43	54,67	2,43
< 5 Cantidad de asfalto %					0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
< 5 Contenido en yeso %					0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
< 1 Impropios en el árido %					0,35	0,00	0,35	0,00	0,11	0,00	0,11	0,00
< 5 Cantidad de finos en el árido grueso %					12,66	0,17	12,66	0,17	45,14	0,95	45,14	0,95
Cantidad de árido de alta calidad (Ton)					1.694,00	382,83	1.694,00	382,83	9.599,35	2.151,28	9.599,35	2.151,28
Contenido hormigón %					0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00
Contenido Material cerámico %					100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00
< 5 Cantidad de asfalto %					0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
< 5 Contenido en yeso %					0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
< 1 Impropios en el árido %					0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
< 5 Cantidad de finos en el árido grueso %					0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cantidad total de árido de la planta (Ton)	15.293,91	15.332,26	15.266,96	15.274,33	14.871,30		14.912,14		15.370,54		15.378,40	
% Árido	Baja	100,00	100,00	100,00	100,00	21,99		70,11		7,22		19,51
	Media	0,00	0,00	0,00	0,00	64,04		15,97		16,33		4,08
	Alta	0,00	0,00	0,00	0,00	13,97		13,93		76,45		76,41

5.3 INGRESOS DE LA VENTA DE RECURSOS RECUPERADOS

Este criterio, se basa en el cálculo de los ingresos generados por la venta de los recursos recuperados y reciclados en cada uno de los escenarios planteados por ambos tipos de planta. Se incluyen por tanto, no sólo los recursos obtenidos como productos tras el tratamiento en planta, sino que también los desviados inicialmente y vendidos a los managers de residuos, y los materiales de valor que son extraídos durante el proceso de planta. En primera instancia se establecen los precios de cada corriente de residuos. Ha de tenerse en cuenta, que los precios pueden variar según la región en cuestión y también según los acuerdos particulares entre las plantas de reciclaje y los managers de residuos. Aproximadamente todos los precios se obtienen directamente de las plantas de reciclaje operativas en Cantabria (Elena Dosal, 2015) y del mercado de materiales. Sin embargo, en los casos en los que no se ha encontrado información al respecto, los precios utilizados son estimados con información recogida de otras regiones o de materiales con características similares.

1) Por ejemplo, para las corrientes de residuos “Piedras y tierra” y “Material bituminoso”, no se han encontrado datos del precio de venta y su valor es estimado en base a los precios de los áridos reciclados de baja calidad.

2) En el caso de la corriente “Tablas de madera”, el precio empleado para el cálculo de los ingresos generados por la planta, se recoge de Europalet (2018), una asociación especializada en la producción y reciclado de los palets de madera.

3) Para el precio del vidrio recuperado tampoco hay datos disponibles, por esta razón este valor se estima en base al precio del volumen de vidrio natural utilizado en la construcción (CYPE ingeniero, S.A., 2014), y utilizando la densidad del vidrio (Saint Gobain, 2014), se puede determinar el precio por peso del vidrio natural. Lógicamente, el precio estimado para el vidrio reciclado es menor.

4) Una de las corrientes de residuos con un mercado consolidado y precios disponibles es la de “Papel y cartón”. La asociación española de productores de pulpa de madera, papel y cartón, Aspapel (2018), publica la información de los precios anualmente.

5) Otra corriente de salida con un mercado establecido es la de los “Metales”, para la cual la bolsa de metales de Londres publica los precios mensualmente, siendo dichos precios considerados como precios de referencia mundial (LME, 2018). Los precios de los metales mixtos se estiman sobre un precio similar al del hierro y acero, pero considerando que contiene metales con un precio de mayor valor.

6) En el caso de los áridos reciclados, el precio establecido está condicionado a la presencia de impurezas, el tamaño de partícula y el tipo de árido obtenido. La clasificación de los áridos reciclados empleada en este trabajo se basa en la categoría de áridos reciclados propuesta en Elena Dosal (2015), la cual es fundamentada por la Guía Española de Áridos reciclados a partir de RCD's. Dicha clasificación define a los áridos reciclados de hormigón, como aquellos áridos reciclados que presentan más de un 90% de peso en hormigón, áridos reciclados cerámicos, con más de un 70% de peso en materiales cerámicos, y áridos reciclados mixtos, con menos de un 90% de peso de hormigón y menos de un 30% de peso de materiales cerámicos. En Cantabria, al ser los materiales cerámicos el componente mayoritario de los RCD's, se asume que el contenido de materiales cerámicos de los áridos reciclados es siempre superior al 30%. Como consecuencia, solo se producen dos tipos de áridos reciclados, los procedentes de hormigón y los procedentes de materiales cerámicos. No obstante, en este trabajo, a los áridos cerámicos producidos en la planta básica se les denomina como áridos cerámicos mixtos por su alto contenido en hormigón. Los precios de los áridos reciclados se obtienen de las plantas de reciclado en Cantabria y de los datos de otras regiones publicados por CEDEX (2010), y pueden ser consultados en la tabla 5.7.

7) Muchos precios se obtienen de plantas de reciclaje, como es el caso del plástico PVC, plástico film de polietileno, o la madera. Cabe destacar que la recuperación de la madera no resulta rentable, a pesar de estar situada en la valorización material.

En la tabla 5.7 se incluyen los ingresos generados por tonelada recuperada de los recursos con un mercado establecido. Aquellos recursos que no aparecen en la tabla no poseen valor en el mercado y consiguientemente son destinados al vertedero.

Tabla 5.7: Precios de los recursos recuperados por el tratamiento de RCD's. Fuente: Elaboración propia

Materiales recuperados		Precio (€/Ton)		Fuente de información
Piedras y tierra		1		Estimado (áridos reciclados)
Materia bituminoso		1		Estimado (áridos reciclados)
Tablas de madera		1.250		Europalet, (2018)
Madera		-22		Planta de reciclaje
Plástico PVC		50		
Plástico film		100		
Vidrio		1		Estimado CYPE ingeniero, S.A., (2014),Saint Gobain,(2014)
Cartón		99		Aspapel, (2018)
Papel/Cartón		83		
Metales	Cobre	6.703		LME, (2018)
	Aluminio	1.967		
	Plomo	2.358,5		
	Zinc	3.222		
	Hierro y acero	420		
	Estaño	21.050		
Mezclado		645		Estimado (hierro y acero)
Áridos reciclados		Calidad	Precio (€/Ton)	Fuente de información
Áridos reciclados cerámicos	Grueso > 4mm	Alta	3	Estimado Cedex, (2010), Plantas de reciclaje
		Media	2,5	
		Baja	2	
	Fines y todas en una < 4mm	Alta	1	
		Media	1	
		Baja	1	
Áridos reciclados de hormigón	Grueso > 4mm	Alta	4,5	Estimado Cedex, (2010)
		Media	4	
	Fines y todas en una < 4mm	Baja	3,5	
		Alta	3	
Áridos cerámicos mixtos	Grueso > 4mm	Baja	2	Estimado Cedex, (2010), Plantas de reciclaje
	Fines y todas en una < 4mm	Baja	0,5	

Teniendo en cuenta los recursos recuperados, tanto los productos reciclados obtenidos como los materiales de valor segregados, y los precios estimados, se calculan los ingresos generados por ambas plantas en cada uno de los escenarios presentados. Los resultados finales se incluyen en la tabla 5.8.

Tabla 5.8: Ingresos generados en cada una de las plantas y escenarios estudiados. Fuente: Elaboración propia

	Planta Básica Escenario				Planta Avanzada Escenario			
	1-A	1-B	2-A	2-B	1-A	1-B	2-A	2-B
Ingresos generados (€)	1.361.882	1.292.095	1.603.230	1.589.717	1.576.327	1.507.587	1.805.062	1.790.870

Analizando los resultados obtenidos en la planta básica y a diferencia de los resultados obtenidos en los anteriores criterios, en este criterio económico se refleja por primera vez un mayor rendimiento de la planta básica en los escenarios más favorables. Ahora bien, si se observan los cálculos de la tabla 5.9, se puede verificar que los ingresos generados por la venta de áridos cerámicos mixtos es prácticamente idéntica para todos los escenarios, de entorno a los 40.500€, y que la diferencia de los

ingresos totales generados por la planta está condicionada principalmente por la cantidad referida a la venta de metales, y si esta se realiza previa al tratamiento en planta o tras la extracción durante el proceso. Aquellos escenarios de alta segregación (2-A y 2-B), obtienen grandes beneficios en la venta previa al tratamiento en planta al manager de residuos de los materiales metálicos. El hecho de que además estos metales se encuentren segregados, otorga la posibilidad de venderlos por separado y no como una mezcla de metales, lo que se traduce en un aumento de las ganancias resultantes. Como se puede observar en la tabla de precios (tabla 5.7), los metales por separado poseen un mayor valor que de forma conjunta. Es por ello que en los escenarios de baja segregación, escenario 1-A y 1-B, donde la mayor parte de los metales es vendida como mezcla de metales tras la extracción durante el proceso de planta, los ingresos totales generados por la planta son menores. En cuanto a políticas de mezclado se refiere, entre los subescenarios A y B no se aprecian apenas diferencias en los ingresos totales generados. El subescenario A, posee un mayor tonelaje en el grupo correspondiente al mezclado metales, y por tanto las ganancias referidas al manager de residuos son mayores. Por otro lado, en el subescenario B, los metales se encuentran concentrados en el grupo de mezclado genérico de los RCD's, por lo que las cantidades extraídas durante el proceso de planta y sus consecuentes ganancias son mayores.

En la planta avanzada, se puede comprobar que los ingresos generados son mayores, aunque no exista tanta diferencia como se podría esperar en primera instancia. Los cálculos reflejan, al igual que en la planta básica, que los ingresos generados dependen directamente de la cantidad referida a la venta de metales, y si esta se realiza previa al tratamiento en planta o tras la extracción durante el proceso. Como se puede ver, la desviación de los ingresos totales entre los distintos escenarios sigue la misma tendencia que en la planta básica. Ahora bien, los ingresos generados derivados de la venta de áridos reciclados son considerablemente mayores, y en este caso, si existe una gran desviación de los respectivos ingresos entre los diferentes escenarios. Como es lógico, existe una correlación entre los escenarios donde se producen áridos de mayor calidad y en mayor cantidad, véase el criterio referido a la calidad de los áridos reciclados, y los ingresos generados por la venta de los mismos. El escenario que mejor calificación obtuvo en el aspecto de calidad, el escenario 2-A, es evidentemente el escenario con mayores ganancias en este sentido, con entorno 72.528 €. En el escenario más desfavorable (1-B), los ingresos generados por la venta de áridos apenas alcanzan los 55.000€.

En resumen, se demuestra que este criterio económico no depende de forma directa con los dos anteriores. Los altos resultados de la capacidad de recuperación de recursos de la planta y de la calidad de los áridos reciclados, aumentan considerablemente los ingresos generados por la venta de áridos reciclados, pero los ingresos totales generados dependen directamente de la cantidad referida a la venta de metales. Por primera vez, se ha observado que la planta básica obtiene un

mayor rendimiento para los escenarios de alta segregación y de fomento de mezclado uniforme de los RCD's. Aunque como se ha podido ver, no era el proceso de la planta en sí lo que conllevaba a una mayor generación de ingresos.

En las tablas 5.9 y 5.10 se muestra el cálculo de los ingresos generados por ambos tipos de planta, resultado del producto entre los precios establecidos por tonelada y el total de toneladas recuperados en un año por la planta y el material o árido reciclado en cuestión.

Tabla 5.9: Cálculo de los ingresos generados por la venta de recursos recuperados en la planta básica y los escenarios estudiados. Fuente: Elaboración propia

Planta	Salidas	Valor (€/Ton)	Salida de las planta (Ton)				Ingresos generados (€)				
			1-A	1-B	2-A	2-B	1-A	1-B	2-A	2-B	
Básica	Piedras y tierra	1	1.702,27	1.702,27	1.702,27	1.702,27	1.702,27	1.702,27	1.702,27	1.702,27	
	Mat. Bituminoso	1	2.008,68	2.008,68	2.008,68	2.008,68	2.008,68	2.008,68	2.008,68	2.008,68	
	Yeso	0	49,32	49,32	88,81	88,81	0	0	0	0	
	Madera	-22	1.124,56	1.124,56	1.800,59	1.800,59	-24.740,22	-24.740,22	-39.612,93	-39.612,93	
	Tablas de madera	1250	506,09	506,09	506,09	506,09	632.615,72	632.615,72	632.615,72	632.615,72	
	Vidrio	0	62,01	62,01	10,94	10,94	0	0	0	0	
	Plástico	Otro plástico	0	203,82	203,82	354,39	354,39	0	0	0	0
		PVC	50	180,74	180,74	314,27	314,27	9.037,12	9.037,12	15.713,62	15.713,62
		Film	100	144,13	144,13	144,13	144,13	14.412,99	14.412,99	14.412,99	14.412,99
	Papel/Cartón	83	269,62	269,62	269,62	269,62	22.378,57	22.378,57	22.378,57	22.378,57	
	Bloques de H.A	0	1.776,28	1.776,28	888,14	888,14	0	0	0	0	
	Mezclado de metales	645	105,31	245,73	20,42	47,66	67.926,40	158.494,94	13.174,05	30.739,45	
	Metal (Fe)	420	171,06	317,94	51,94	80,58	71.844,79	133.533,22	21.813,31	33.845,42	
	Otro residuos	0	1.636,43	1.636,43	3.092,52	3.092,52	0	0	0	0	
	Árido reciclado cerámico mixto	Grueso	2	15.293,91	15.332,26	15.266,96	15.274,33	30.587,81	30.664,52	30.533,91	30.548,67
		Fino	0,5	12.150,97	12.166,91	11.810,98	11.814,04	6.075,49	6.083,45	5.905,49	5.907,02
		Todas en una	0,5	7.955,23	7.958,03	8.041,05	8.041,59	3.977,61	3.979,02	4.020,52	4.020,79
Materiales de baja densidad	0	2.504,78	2.504,78	993,53	993,53	0	0	0	0		
Total planta			47.845,21	48.189,59	47.365,34	47.432,20	837.827,23	990.170,28	724.666,20	754.280,27	
Vendido previamente al manager			791,09	446,70	1.270,96	1.204,10	524.054,47	301.924,68	878.564,17	835.436,67	
Total			48.636,30	48.636,30	48.636,30	48.636,30	1.361.882	1.292.095	1.603.230	1.589.717	

Tabla 5.10: Cálculo de los ingresos generados por la venta de recursos recuperados en la planta avanzada y los escenarios estudiados. Fuente: Elaboración propia

Planta	Salidas	Valor (€/Ton)	Salida de las planta (Ton)				Ingresos generados (€)					
			1-A	1-B	2-A	2-B	1-A	1-B	2-A	2-B		
Avanzada	Piedras y tierra	1	1.702,27	1.702,27	1.702,27	1.702,27	1.702,27	1.702,27	1.702,27	1.702,27		
	Mat. bituminoso	1	2.037,86	2.037,86	2.037,86	2.037,86	2.037,86	2.037,86	2.037,86	2.037,86		
	Yeso	0	50,97	50,97	89,10	89,10	0	0	0	0		
	Madera	-22	1.293,92	1.293,92	1.830,48	1.830,48	-28.466,24	-28.466,24	-40.270,46	-40.270,46		
	Vidrio	0	62,01	62,01	10,94	10,94	0	0	0	0		
	Tablas de madera	1.250	620,54	620,54	620,54	620,54	775.670,49	775.670,49	775.670,49	775.670,49		
	Plástico	Otro plástico	0	247,08	247,08	418,50	418,50	0	0	0	0	
		PVC	50	199,70	199,70	261,14	261,14	9.984,84	9.984,84	13.057,09	13.057,09	
		Film	100	176,72	176,72	176,72	176,72	17.672,23	17.672,23	17.672,23	17.672,23	
	Papel/Cartón	83	332,85	332,85	332,85	332,85	27.626,90	27.626,90	27.626,90	27.626,90		
	Mezclado de metales	645	147,05	316,49	34,66	67,56	94.850,13	204.137,99	22.356,16	43.574,89		
	Otro residuos	0	1.760,83	1.760,83	3.114,47	3.114,47	0	0	0	0		
	Metal (Fe)	420	215,56	332,14	81,11	103,85	90.534,16	139.499,35	34.068,00	43.618,48		
	Metales (Al,Cu,...)	1.967	0,14	0,33	0,03	0,06	281,94	657,85	49,75	116,09		
	Lodo	0	1.635,44	3.399,98	843,70	1.821,66	0	0	0	0		
	Materiales de baja densidad	0	2.095,41	2.095,41	811,81	811,81	0	0	0	0		
	Yeso y mat. Ligero	0	1.255,96	1.257,99	289,56	289,96	0	0	0	0		
	Áridos reciclados cerámicos	Grueso	Alta calidad	3	1.694,00	1.694,00	9.599,35	9.599,35	5.082,01	5.082,01	28.798,04	28.798,04
			Calidad media	2,5	7.956,52	1.989,13	2.231,17	557,79	19.891,30	4.972,83	5.577,93	1.394,48
			Baja calidad	2	2.784,20	8.792,32	1.022,74	2.703,96	5.568,39	17.584,64	2.045,48	5.407,92
		Fino	Alta calidad	1	2.245,54	2.245,54	12.724,71	12.724,71	2.245,54	2.245,54	12.724,71	12.724,71
			Calidad media	1	13.530,06	3.382,52	3.276,10	819,03	13.530,06	3.382,52	3.276,10	819,03
			Baja calidad	1	2.863,14	11.261,45	505,26	1.987,31	2.863,14	11.261,45	505,26	1.987,31
Áridos reciclados de hormigón	Grueso	Alta calidad	4,5	382,83	382,83	2.151,28	2.151,28	1.722,73	1.722,73	9.680,75	9.680,75	
		Calidad media	4	1.567,80	391,95	278,85	69,71	6.271,20	1.567,80	1.115,39	278,85	
	Fino	Baja calidad	3,5	485,95	1.661,91	87,15	296,31	1.700,82	5.816,67	305,04	1.037,09	
		Alta calidad	3	500,86	500,86	2.832,96	2.832,96	1.502,58	1.502,58	8.498,88	8.498,88	
Total planta			47.845,21	48.189,59	47.365,34	47.432,20	1.052.272,36	1.205.662,30	926.497,90	955.432,92		
Vendido previamente al manager			791,09	446,70	1.270,96	1.204,10	524.054,47	301.924,68	878.564,17	835.436,67		
Total			48.636,30	48.636,30	48.636,30	48.636,30	1.576.327	1.507.587	1.805.062	1.790.870		

5.4 CONTAMINACIÓN SOBRE EL ENTORNO DE LA PLANTA (PM10)

Mediante este criterio, se pretende estimar la contaminación sobre el entorno de la planta de reciclaje debida a las emisiones de PM10 contenidas en el polvo que se desprende durante el tratamiento de los RCD's. Estas partículas que pueden provocar efectos nocivos en el sistema respiratorio de la persona si la exposición es prolongada. Es por ello que conviene situar la planta de reciclaje a cierta distancia de las viviendas y de zonas donde existe una actividad humana importante.

Las cantidades de PM10 generadas dependen de numerosos factores del tratamiento de RCD's (naturaleza del material tratado, tamaño de partícula requerido, contenido de humedad, secuencia de operaciones, tipología de la maquinaria utilizada, etc.), así como de factores meteorológicos. Es por ello que resulta muy difícil estimar este tipo de emisiones, siendo la forma más sencilla el empleo de los factores de emisión.

Los factores de emisión se aplican en función de la cantidad de residuos tratados, siendo necesario identificar primero aquellos focos de la planta donde tienen lugar las emisiones de PM10. La guía de prevención de emisión de partículas CAPV (2012), identifica varias máquinas y etapas de tratado de RCD's como potenciales focos de emisión de PM10 y establece distintos valores de factor de emisión para cada una de ellas. Para calcular las emisiones derivadas de la trituración, se utilizan datos de la Guía Técnica para plantas de trituración de rocas (TCEQ, 2002).

Nos obstante, para algunas maquinarias de carácter similar y procesos, se estiman los factores de emisión, al no estar incluidos todos los focos de emisión en los estudios citados. Cabe destacar, que en la planta avanzada todos los RCD's tratados en la planta están destinados a la trituradora independientemente de su tamaño, y consiguientemente la emisión de este tipo de partículas nocivas es mayor a la de la planta básica, donde la trituradora solo se emplea con los residuos de tamaño considerable.

Los resultados se obtienen mediante el producto entre los factores de emisión (Kg/ton) de los focos identificados en ambas plantas y la cantidad total anual en toneladas tratada o que transcurre por el foco en cuestión. Los resultados finales de emisión de PM10 anuales, para ambas plantas y en los escenarios presentados, pueden consultarse en las tablas 5.11 y 5.12 junto con los potenciales focos identificados, respectivos factores de emisión y tonelaje de residuos anual identificado en dichos focos.

Tabla 5.11: Emisiones anuales de PM10 de la planta Básica. Fuente: Elaboración propia

Planta tipo básica										
Foco	Descripción	Factores de emisión (Kg/ton) PM 10	TA (Tasa de actividad) (Ton / año)				Emisiones PM10 (kg/año)			
			Escenario 1a	Escenario 1b	Escenario 2a	Escenario 2b	Escenario 1a	Escenario 1b	Escenario 2a	Escenario 2b
1	Descarga	8,00E-06	47.845,21	48.189,59	47.365,34	47.432,20	0,38	0,39	0,38	0,38
2	Tratamiento manual	8,00E-06	2.537,55	2.537,55	1.268,77	1.268,77	0,02	0,02	0,01	0,01
3	Criba vibratoria	4,30E-03	37.542,88	37.763,29	35.469,08	35.511,88	161,43	162,38	152,52	152,70
4	Trituradora de mandíbula	1,42E-05	21.929,65	22.012,30	21.370,37	21.386,42	0,31	0,32	0,30	0,30
5	Criba rotatoria	3,60E-02	38.105,07	38.178,60	36.189,40	36.203,54	1.371,78	1.374,43	1.302,82	1.303,33
6	Difusas almacenamiento finos	8,00E-04	20.106,20	20.124,94	19.852,03	19.855,63	16,08	16,10	15,88	15,88
7	Difusa almacenamiento gruesos	0	15.293,91	15.332,26	15.266,96	15.274,33	0,00	0,00	0,00	0,00
8	Cinta transportadora (8 recorridos)	5,50E-04	47.845,21	48.189,59	47.365,34	47.432,20	210,52	212,03	208,41	208,70
9	Almacenamiento, manejo y transporte	5,00E-03	35.400,11	35.457,20	35.118,98	35.129,97	177,00	177,29	175,59	175,65
Total							1.937,54	1.942,96	1.855,90	1.856,96

Tabla 5.12: Emisiones anuales de PM10 de la planta Avanzada. Fuente: Elaboración propia

Planta tipo avanzada										
Foco	Descripción	Factores de emisión (Kg/ton) PM 10	TA (Tasa de actividad) (Ton / año)				Emisiones PM10 (kg/año)			
			Escenario 1a	Escenario 1b	Escenario 2a	Escenario 2b	Escenario 1a	Escenario 1b	Escenario 2a	Escenario 2b
1	Descarga	8,00E-06	47.845,21	48.189,59	47.365,34	47.432,20	0,38	0,39	0,38	0,38
2	Trituradora de impacto	1,04E-04	39.213,40	39.388,35	36.735,79	36.769,76	4,07	4,08	3,81	3,81
3	Criba vibratoria	3,60E-02	39.213,40	39.388,35	36.735,79	36.769,76	1.411,68	1.417,98	1.322,49	1.323,71
4	Criba vibratoria	3,60E-02	38.997,70	39.055,88	36.654,65	36.665,85	1.403,92	1.406,01	1.319,57	1.319,97
5	Cinta transportadora (11 recorridos)	5,50E-04	47.845,21	48.189,59	47.365,34	47.432,20	289,46	291,55	286,56	286,96
6	Almacenamiento, manejo y transporte	5,00E-03	34.010,90	32.302,50	34.709,58	33.742,41	170,05	161,51	173,55	168,71
Total							3.279,57	3.281,52	3.106,35	3.103,55

En la tabla 5.13 se recopilan los resultados finales de emisiones de PM10 en ambas plantas y los escenarios estudiados.

Tabla 5.13: Emisiones anuales de PM10 de ambas plantas y los escenarios estudiados. Fuente: Elaboración propia

	Planta Básica				Planta Avanzada			
	Escenario				Escenario			
	1-A	1-B	2-A	2-B	1-A	1-B	2-A	2-B
Emisiones PM10 (kg/año)	1.937,54	1.942,96	1.855,90	1.856,96	3.279,57	3.281,52	3.106,35	3.103,55

Como se puede ver, los resultados reflejan una mayor emisión de este tipo de partículas para la planta avanzada. Analizando las tablas 5.11 y 5.12, se identifican un mayor número de focos en el caso de la planta básica, lo que podría inducir a una mayor emisión de PM10. Sin embargo, los resultados muestran lo contrario. La cuestión reside en que los focos de emisión de mayor relevancia los conforman los cribados. La maquinaria de cribado, empleada en la separación por tamaño de partícula de los residuos tratados, es una etapa del proceso de planta donde se desprende una cantidad importante de polvo con alto contenido en PM10 como consecuencia de la vibración que se ejerce durante la separación de las fracciones de los residuos. Ambas plantas disponen de dos procesos de cribado, no obstante y como se verifica mediante los factores de emisión, el desprendimiento de polvo es considerablemente mayor cuando la maquinaria de cribado manipula residuos que provienen de la trituradora y consiguientemente, se encuentran ya machacados. Es por ello que en la criba vibratoria de la planta básica, en la cual los residuos entran sin tratamiento previo por parte de la trituradora, el factor de emisión es de orden menor a los demás factores de cribado. El hecho de que la planta avanzada disponga de dos procesos de cribado donde se manipulan residuos ya triturados, origina que las emisiones de PM10 sean notoriamente superiores a los de la planta básica, y es que las emisiones debidas a estos focos, suponen el 86% del total de las emisiones producidas por el proceso entero en la planta avanzada.

En cuanto al desempeño de las plantas en los diferentes escenarios de segregación se refiere, se puede verificar que los resultados obtenidos son prácticamente los mismos. En el escenario 1, las emisiones son ligeramente superiores. Esto se debe a que la baja segregación del escenario implica una menor cantidad de residuos vendidos al manager de residuos y extraídos durante los primeros procesos de la planta. Como consecuencia, se manipulan un mayor número de residuos durante las diferentes etapas del proceso de planta y las emisiones son mayores. No obstante, la diferencia en los resultados de las distintas proporciones de los acopios establecidas, es decir, la diferencia entre los subescenarios A y B, es como se puede

verificar, insignificante. Esto se debe a que la cantidad de residuos tratada durante las diferentes etapas del proceso de planta es prácticamente la misma.

5.5 CALENTAMIENTO GLOBAL, EMISIONES EN Teq CO_2

En este criterio, se analiza el impacto de la planta sobre el calentamiento global del planeta como consecuencia de las emisiones de CO_2 , y su consecuente repercusión en el cambio climático. Para ello, se tienen en cuenta las emisiones de CO_2 derivadas tanto del consumo eléctrico como las derivadas del consumo de combustible. Cabe señalar, que las emisiones producidas por el consumo de combustible, se localizan en la misma planta, mientras que las derivadas del consumo eléctrico, se producen en lugares remotos a donde se halla la planta, precisamente en la fuente de generación de la energía eléctrica.

Las energías primarias necesarias en una planta de reciclaje de RCD's son básicamente el gasoil, el agua y la energía eléctrica. El diesel es consumido por equipos móviles (retroexcavadoras, grúas de gancho, etc.) los cuales están relacionados directamente con el tratamiento manual de estos residuos, y sobre todo, con el manipulado y transporte de estos a la entrada y salida de la planta. Cabe destacar, que en la planta básica el hormigón armado se trata manualmente y se da una peor optimización de los procesos de manipulado donde se involucran equipos móviles, por estas razones, se estima que el consumo de diesel es ligeramente mayor que en la planta avanzada. Teniendo en cuenta los valores empleados en Mercante et al. (2012), se estima un consumo de gasoil por tonelada de residuos tratada para la planta de reciclaje básica de 0,43 y 0,62 L/Ton para residuos segregados y mezclados respectivamente, y de 0,3 y 0,4 L/Ton para la planta avanzada.

Las emisiones de CO_2 por consumo de combustible se calculan utilizando los factores de emisión de CO_2 para el consumo de diesel incluidos en el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (1990-2015). Este inventario propuso un valor de Poder Calorífico Inferior (PCI) de 43 GJ/Ton para el gasoil, teniendo en cuenta una densidad promedio para el diesel de 850 kg/m³, y un factor de emisión de 74,1 teq CO_2 /TJ, las emisiones pueden ser calculadas fácilmente.

Mediante los consumos de gasoil (L/Ton) citados y conociendo la cantidad total de residuos manipulados en ambas plantas y los escenarios estudiados, se puede determinar fácilmente el volumen en litros resultante del consumo de gasoil de ambas plantas. A continuación,

mediante el empleo del valor de densidad, el PCI, y el factor de emisión de teqCO_2 se resuelven las emisiones CO_2 debidas al consumo de gasoil. Los resultados pueden verse en la tabla 5.14 y tabla 5.15.

Tabla 5.14: Emisiones de CO_2 derivadas del consumo de gasoil en la planta Básica. Fuente: Elaboración propia

	Planta Básica						
	Residuos tratados		Consumo gasoil		Poder Calorífico inferior (PCI)		Emisiones Teq CO2
	Segregados (Ton)	Mezclado (Ton)	Litros	Ton	GJ	TJ	
Escenario 1-A	8.795,87	39.049,33	27.992,81	23,79	1.023,14	1,02	75,81
Escenario 1-B	8.795,87	39.393,72	28.206,33	23,98	1.030,94	1,03	76,39
Escenario 2-A	34.947,61	12.417,72	22.726,46	19,32	830,65	0,83	61,55
Escenario 2-B	34.947,61	12.484,59	22.767,92	19,35	832,17	0,83	61,66
Total	87.486,97	103.345,36	101.693,52	86,44	3.716,90	3,72	275,42

Tabla 5.15: Emisiones de CO_2 derivadas del consumo de gasoil en la planta Avanzada. Fuente: Elaboración propia

	Planta Avanzada						
	Residuos tratados		Consumo gasoil		Poder calorífico inferior (PCI)		Emisiones Teq CO2
	Segregados (Ton)	Mezclado (Ton)	Litros	Ton	GJ	TJ	
Escenario 1-A	8.795,87	39.049,33	18.258,50	15,52	667,35	0,67	49,45
Escenario 1-B	8.795,87	39.393,72	18.396,25	15,64	672,38	0,67	49,82
Escenario 2-A	34.947,61	12.417,72	15.451,37	13,13	564,75	0,56	41,85
Escenario 2-B	34.947,61	12.484,59	15.478,12	13,16	565,73	0,57	41,92
Total	87.486,97	103.345,36	67.584,24	57,45	2.470,20	2,47	183,04

Una vez determinadas las emisiones de CO_2 debidas al consumo de gasoil, el siguiente paso consiste en determinar las originadas por el consumo eléctrico.

Se considera que para las plantas de reciclaje se establecen 1780 horas de trabajo por año, tal como se extrae del convenio colectivo en el sector de residuos en España (BOE, 2013). Hay que tener en cuenta que la maquinaria no se encuentra operativa a tiempo completo, ya que los residuos de entrada se acumulan hasta llegar a cierta cantidad, que es cuando se introducen en el proceso. De hecho, cada equipo presenta un tiempo de operación específico, que depende de diferentes aspectos como las características del acopio de residuos a la entrada, las líneas de tratamiento específicas de la planta, el tonelaje de entrada y la capacidad o potencia del mismo. Estos tiempos de operación que dependen del tipo de maquinaria empleada se simbolizan mediante el uso de factores operativos, definidos como una fracción unitaria que representa el tiempo de operación de cada equipo (Arregi, 2010). Por ejemplo, la trituradora de mandíbula en la planta básica se utiliza sólo para aplastar las fracciones más grandes, y por esta razón, su factor operacional es de valor pequeño. No obstante, la trituradora de mandíbula de la planta avanzada, se emplea para machacar toda clase de

residuos independientemente de su tamaño y consiguientemente su factor operacional es alto. Otro caso similar de factor operacional alto es el de la Sacudidora por humedad, una maquinaria costosa que se emplea en la planta avanzada para dos etapas de depuración como se ha podido ver en el proceso de la planta avanzada. Como es lógico, estos factores operacionales varían también, en algunos casos, entre el escenario 2 de alta segregación y el escenario 1 de baja segregación, presentando valores más altos en el escenario 1 donde los residuos se encuentran más mezclados y requieren de una mejor clasificación.

La potencia requerida para cada uno de los equipos comprendidos se estima a partir de los datos publicados por Coelho y De Brito (2013b) y la empresa de equipos Henan (2015). En cuanto el factor de emisión de CO_2 debido al consumo eléctrico se obtiene del Observatorio de la Electricidad WWF (2014), con un valor de 0,273 kgs equivalentes de CO_2 por Kw consumido.

Conocidos el consumo eléctrico (Kw/h), el número y los factores operacionales de los distintos equipos involucrados, las horas de trabajo anuales establecidas y el factor de emisión debido al consumo eléctrico, las emisiones de CO_2 resultantes del consumo eléctrico pueden ser fácilmente calculadas y pueden verse en la tablas 5.16 y 5.17 junto con los respectivos cálculos requeridos.

Tabla 5.16: Emisiones de CO₂ derivadas del consumo eléctrico en la planta Básica. Fuente: Elaboración propia

Equipo Descripción	Consumo kw/h	Cantidad numero	Planta Básica Factor de funcionamiento (1780h trabajo/año)				Consumo eléctrico (Kw)			
			Escenario				Escenario			
			1A	1B	2A	2B	1A	1B	2A	2B
Báscula	0,05	1	0,5	0,5	0,5	0,5	44,50	44,50	44,50	44,50
Criba vibratoria	16,3	1	0,6	0,6	0,6	0,6	17.408,40	17.408,40	17.408,40	17.408,40
Trituradora de mandíbula	37	1	0,4	0,3	0,2	0,1	26.344,00	19.758,00	13.172,00	6.586,00
Imán magnético	4	1	0,6	0,6	0,6	0,6	4.272,00	4.272,00	4.272,00	4.272,00
Criba rotatoria	20	1	0,6	0,6	0,6	0,6	21.360,00	21.360,00	21.360,00	21.360,00
Tamizadora por aire	6,3	1	0,6	0,6	0,6	0,6	6.728,40	6.728,40	6.728,40	6.728,40
Cinta transportadora horizontal	5,4	6	0,6	0,6	0,6	0,6	34.603,20	34.603,20	34.603,20	34.603,20
Cinta transportadora vertical	10,8	2	0,6	0,6	0,6	0,6	23.068,80	23.068,80	23.068,80	23.068,80
Total							133.829,30	127.243,30	120.657,30	114.071,30
Total Teq CO2							36,54	34,74	32,94	31,14

Tabla 5.17: Emisiones de CO₂ derivadas del consumo eléctrico en la planta Avanzada. Fuente: Elaboración propia

Equipo Descripción	Consumo kw/h	Cantidad Numero	Planta Avanzada Factor de funcionamiento (1780h trabajo/año)				Consumo eléctrico (Kw)			
			Escenario				Escenario			
			1A	1B	2A	2B	1A	1B	2A	2B
Báscula	0,05	1	0,5	0,5	0,5	0,5	44,50	44,50	44,50	44,50
Criba vibratoria	16,3	2	0,9	0,9	0,9	0,9	52.225,20	52.225,20	52.225,20	52.225,20
Imán magnético	4	1	0,6	0,6	0,6	0,6	4.272,00	4.272,00	4.272,00	4.272,00
Tamizadora por aire	6,3	1	0,6	0,6	0,6	0,6	6.728,40	6.728,40	6.728,40	6.728,40
Cinta transportadora horizontal	5,4	9	0,6	0,6	0,6	0,6	51.904,80	51.904,80	51.904,80	51.904,80
Cinta transportadora vertical	10,8	2	0,6	0,6	0,6	0,6	23.068,80	23.068,80	23.068,80	23.068,80
Trituradora de impacto	55	1	0,6	0,5	0,4	0,3	58.740,00	48.950,00	39.160,00	29.370,00
Espiral	27	1	0,5	0,6	0,3	0,4	24.030,00	28.836,00	14.418,00	19.224,00
Sacudidora por humedad	18,4	1	0,6	0,8	0,4	0,6	19.651,20	26.201,60	13.100,80	19.651,20
Corrientes de Foucault	16,4	1	0,6	0,6	0,6	0,6	17.515,20	17.515,20	17.515,20	17.515,20
Total							258.180,10	259.746,50	222.437,70	224.004,10
Total Teq CO2							70,48	70,91	60,73	61,15

A continuación, mediante la tabla 5.18, se resumen los resultados finales de las emisiones de CO_2 debidas al consumo de gasoil y consumo eléctrico de ambas plantas y se procede a la evaluación de los resultados.

Tabla 5.18: Tabla resumen de las emisiones derivadas del consumo de gasoil y electricidad de ambas plantas.
Fuente: Elaboración propia

Consumo	Planta Básica Escenario				Planta Avanzada Escenario				
	1-A	1-B	2-A	2-B	1-A	1-B	2-A	2-B	
Diesel	Litros	27.993	28.206	22.726	22.768	18.259	18.396	15.451	15.478
	Teq CO2	75,99	76,57	61,69	61,81	49,45	49,82	41,85	41,92
Energía eléctrica	Kw	133.829	127.243	120.657	114.071	258.180	259.747	222.438	224.004
	Teq CO2	36,54	34,74	32,94	31,14	70,48	70,91	60,73	61,15
Total (Teq CO2)		113	111	95	93	120	121	103	103

Para la planta básica, los resultados reflejan que las emisiones debidas al consumo de diesel son considerablemente más elevadas a las debidas al consumo eléctrico, obteniéndose prácticamente el doble de emisiones de toneladas equivalentes en CO_2 en el primer caso. No obstante, en la planta avanzada, la tendencia se invierte siendo el consumo eléctrico el causante de la mayor parte de las emisiones de CO_2 . Como se mencionó anteriormente, en la planta básica el hormigón armado se trata manualmente con el fin de separar el hormigón del acero, lo que supone la grúa de gancho ha de estar operativa durante un tiempo más prolongado y consiguientemente en este aspecto el consumo de combustible es mayor. Además de esto, se considera que el manipulado y transporte de los RCD's en la entrada y salida de la planta básica se realizan de forma menos organizada y optimizada que en la planta avanzada, por lo que los valores de consumo de combustible empleados por tonelada de residuo tratada eran ligeramente superiores en la planta básica. Si se tiene en cuenta que la cantidad de RCD's englobada varía únicamente entre los distintos escenarios estudiados y es independiente al tipo de planta, el mayor consumo de combustible en litros por tonelada de residuos tratada estimada para la planta básica, determina una mayor emisión de estos gases de efecto invernadero. En cuanto al consumo de electricidad se refiere, la diferencia entre las plantas viene dada principalmente a que las líneas de tratamiento de la planta avanzada son más especializadas y duraderas, involucrándose un mayor número de máquinas durante el proceso y consiguientemente consumiendo una mayor cantidad de energía eléctrica. Equipos como la Sacudidora por humedad, la Espiral y la máquina que emplea las corrientes de Foucault, que presentan factores operacionales altos, suponen una cuarta parte del consumo eléctrico total de la planta avanzada y sólo se emplean en esta, junto con el uso de un mayor número de cintas transportadoras causan que el consumo eléctrico sea notoriamente mayor, y

por tanto, las emisiones debidas a tal efecto también. Cabe mencionar también, el alto consumo de la trituradora por impacto y su alta actividad operativa en comparación a la trituradora de mandíbula de la planta básica, que solo se emplea para machacar escombros y piezas de un tamaño considerable.

En cuanto a la diferencia de consumo entre los escenarios, se observa una ligera desviación en las emisiones totales de CO_2 entre el escenario 1 de baja segregación, y el escenario 2 de baja segregación. Las razones son obvias, y son debidas al mayor consumo en litros de gasoil y los mayores factores operacionales que supone el tratado de los residuos que se encuentran mezclados.

6 CONCLUSIONES

En este trabajo se ha evaluado y comparado la influencia de segregación en origen de los RCD's sobre diferentes plantas de reciclaje. Para su realización, se han hecho uso de cantidades reales de RCD's generados en la región de Cantabria y se han generado cuatro escenarios, los escenarios 1 y 2 de baja y alta segregación respectivamente, y los subescenarios A y B, que difieren entre sí por la uniformidad del acopio de los residuos, dando lugar a un mezclado homogéneo en el primer caso y heterogéneo en el segundo. De esta forma, se han determinado cuatro diferentes composiciones de residuos que conformaban las entradas de las plantas.

Una vez desarrollados los escenarios, se han definido dos tipos de planta, una planta avanzada y otra planta básica. Se han introducido las cuatro composiciones de RCD's resultantes y se han determinado las salidas de las plantas de reciclaje. Para tal fin, ha sido necesario procesar las cantidades de entrada establecidas por cada una de las maquinarias y de las etapas de las que se formaba el proceso de ambas plantas.

Del desarrollo de este trabajo se han obtenido las siguientes conclusiones:

- 1) Se han desarrollado los balances de materia que han permitido calcular el caudal y composición de las corrientes de salida para los distintos escenarios y tipos de planta, obteniéndose los diagramas de flujo y los diagramas tipo Sankey correspondientes. Dichos resultados permiten concluir la gran variabilidad en la cantidad y calidad de las corrientes que son destinadas a gestores, a venta directa o a vertedero.
- 2) Teniendo en cuenta estos resultados se ha realizado la comparación de los cuatro escenarios mediante el empleo de criterios económicos, sociales, técnicos y medioambientales. Criterio medioambiental: El primer criterio de evaluación calcula la capacidad de recuperación de los recursos obtenida en la planta. Los resultados de porcentaje de recuperación obtenidos pueden verse en la tabla 6.1.

Tabla 6.1: Resumen de los resultados finales del criterio de la capacidad recuperativa.

Planta Básica		Planta Avanzada	
1-A	45.8%	1-A	78.5%
1-B	45.8%	1-B	55.1%
2-A	48.0%	2-A	87.3%
2-B	48.0%	2-B	81.8%

En la tabla 6.1, se observa que en la planta básica resulta imposible alcanzar el 70 % de recuperación de los recursos establecidos por las nuevas normativas europeas. Los resultados

han reflejado además, que la planta básica no se beneficia de las posibilidades que le otorga la alta segregación de los residuos o el mezclado uniforme de los mismos, obteniéndose porcentajes similares en todos los escenarios. Únicamente en la planta avanzada, se cumplen los requisitos de porcentaje de recuperación planteados por la unión Europea, superando con holgura el 70% de recuperación en tres de los cuatro escenarios estudiados.

El segundo criterio medioambiental, ha consistido en estimar el impacto de la planta sobre el calentamiento global del planeta como consecuencia de las emisiones de CO_2 . Para tal fin, se han tenido en cuenta las emisiones de CO_2 derivadas del consumo de gasoil y las derivadas del consumo eléctrico. Los resultados finales de emisión en toneladas equivalentes de CO_2 pueden observarse en la tabla 6.2.

Tabla 6.2: Resumen de los resultados finales del criterio de emisiones de CO_2 . Fuente: Elaboración propia.

Consumo		Planta básica Escenario				Planta avanzada Escenario			
		1-A	1-B	2-A	2-B	1-A	1-B	2-A	2-B
Diesel	Litros	27.993	28.206	22.726	22.768	18.259	18.396	15.451	15.478
	Teq CO2	75,99	76,57	61,69	61,81	49,45	49,82	41,85	41,92
Energía eléctrica	Kw	133.829	127.243	120.657	114.071	258.180	259.747	222.438	224.004
	Teq CO2	36,54	34,74	32,94	31,14	70,48	70,91	60,73	61,15
Total (Teq CO2)		113	111	95	93	120	121	103	103

Se determina que las emisiones de CO_2 son ligeramente mayores en la planta avanzada. Se ha observado que mientras que en la planta básica la mayor parte de las emisiones son debidas del consumo de gasoil, en la planta avanzada, la tendencia se invierte y son las emisiones derivadas del consumo eléctrico las que cobran una mayor relevancia. En la planta básica, se identificó un mayor consumo de gasoil por la peor optimización de los procesos de manipulado donde se involucran equipos móviles. En la planta avanzada, las líneas de tratamiento más especializadas y duraderas, originaban un consumo eléctrico notoriamente superior.

3) Criterio técnico: El tercer criterio de evaluación es el de la calidad de los áridos reciclados. Para su cálculo, se han considerado el contenido y la composición del árido reciclado y la cantidad de áridos reciclados producidos a una calidad determinada. Los resultados de puntuación finales, pueden verse en la tabla 6.3.

Tabla 6.3: Resumen de los resultados finales del criterio de la calidad. Fuente: Elaboración propia.

Planta Básica				Planta Avanzada			
Escenario	Cantidad	Contenido	Total	Escenario	Cantidad	Contenido	Total
1-A	1	3	4	1-A	2,84	5,25	8,09
1-B	1	3	4	1-B	1,88	3,92	5,8
2-A	1	3	4	2-A	4,38	5,79	10,17
2-B	1	3	4	2-B	4,14	5,4	9,54

Se confirma, que la planta básica no se beneficia de las posibilidades que le ofrecen los escenarios de segregación favorables. Este criterio muestra que para alcanzar una eficiente producción de áridos de calidad, es necesario disponer de plantas de reciclaje de clase avanzada.

4) Criterio económico: Se ha calculado los ingresos anuales generados por la venta de los áridos reciclados y de los materiales extraídos durante el proceso de planta, así como aquellos materiales que se vendían previamente al gestor de residuos. Teniendo en cuenta los precios de mercado actuales, los ingresos totales generados pueden consultarse en la tabla 6.4.

Tabla 6.4: Resumen de los resultados finales del criterio de ingresos totales generados. Fuente: Elaboración propia.

	Planta básica Escenario				Planta avanzada Escenario			
	1-A	1-B	2-A	2-B	1-A	1-B	2-A	2-B
Ingresos generados (€)	1.361.882	1.292.095	1.603.230	1.589.717	1.576.327	1.507.587	1.805.062	1.790.870

Se concluye que los ingresos totales generados están condicionados por la cantidad referida a la venta de metales, y si esta se realiza previa al tratamiento en planta o tras la extracción durante el proceso. La amplia diferencia de resultados que establecen los criterios de la capacidad de recuperación de recursos y la calidad de los áridos reciclados entre la planta básica y avanzada, no se ve reflejada de manera proporcional en los ingresos generados.

5) Criterio social: Finalmente, se ha analizado la contaminación de la planta sobre su entorno debidas a las emisiones de PM10 contenidas en el polvo que se desprende durante el tratamiento de los RCD's. Los resultados finales obtenidos pueden verse en la tabla 6.5.

Tabla 6.5: Resumen de los resultados finales del criterio de emisiones de PM10. Fuente: Elaboración propia.

	Planta Básica Escenario				Planta Avanzada Escenario			
	1-A	1-B	2-A	2-B	1-A	1-B	2-A	2-B
Emisiones PM10 (kg/año)	1.937,54	1.942,96	1.855,90	1.856,96	3.279,57	3.281,52	3.106,35	3.103,55

Aunque se identificaron un mayor número de focos de emisión para la planta básica, los resultados muestran una mayor emisión de PM10 en la planta avanzada. Se identificaron a los procesos de cribado como los focos de mayor emisión. El hecho de que las dos etapas de cribado que suponen el 86% de las emisiones totales de PM10 en la planta avanzada se realicen con residuos que se encuentran ya triturados, originaba esta diferencia de resultados.

7 BIBLIOGRAFÍA

{1} Elena Dosal, V. (2015), Towards an Improved Framework for Construction and Demolition Waste Management (C&DW) Using Decision Support Tools. Berta Galán, C. & Ana Andrés, P., Directoras. Tesis Doctoral. (Universidad de Cantabria). Disponible en:

{2} Ley 22/2011, de 28 de Julio, de residuos y suelos contaminados. (BOE. núm. 181, 29 de Julio de 2011).

{3} Ley 5/2013, de 11 de junio, por la que se modifican la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación y la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. (BOE. núm. 140, 12 de Junio de 2013).

{4} Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición. (BOE. núm. 38, 13 de Febrero de 2008).

{5} Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras. (BOE. núm. 143, 13 de Junio de 2009).

{6} Real Decreto 777/2012, de 4 de mayo, por el que se modifica el Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por las actividades mineras. (BOE. núm. 118, 17 de Mayo de 2012).

{7} CEDEX, (2010). Catálogo de residuos utilizables para la construcción. Disponible en: <http://www.cedexmateriales.es>

{8} Ihobe, (2011). Usos de áridos reciclados mixtos procedentes de Residuos de Construcción y Demolición. Disponible en: http://www.btbab.com/wp-content/uploads/documentos/legislacion/PUB_2011_006_f_C_001_aridos.pdf

{9} Grupo de Investigación TEP-227, (2005). Áridos Reciclados RCD. Plan Andaluz de Investigación, Desarrollo e Innovación (PAIDI). Dpto. de Ingeniería Rural de la Universidad de Córdoba. Disponible en: <http://www.aridosrcdandalucia.es>

{10} Laura Díaz, B. (2015), Proyecto para la Instalación de una Planta de Tratamiento de Residuos de Construcción y Demolición en la Comunidad de Madrid. Proyecto de Fin de Carrera. (Escuela Técnica superior de Ingenieros de Minas). Disponible en: http://oa.upm.es/36493/1/PFC_Laura_Diaz_Bajo.pdf

{11} MARE, (2015). Medioambiente, Agua, Residuos Y Energía de Cantabria S.A (MARE). Disponible en: <http://www.mare.es>.

{12} BOC, (2010b). Decreto 72/2010, de 28 de octubre, por el que se regula la producción y gestión de los Residuos de Construcción y Demolición en la Comunidad Autónoma de Cantabria. Boletín Oficial de Cantabria. 8 de noviembre de 2010.

{13} Mália, M., De Brito, J., Pinheiro, M.D., Bravo, M., (2013). Construction and demolition waste indicators. Waste Management and Research.

{14} Coelho A. and De Brito J., (2013b). Economic viability analysis of a construction and demolition waste recycling plant in Portugal – Part II: Economic sensitivity analysis. Journal of Cleaner Production.

{15} Envirowise, (2006). Managing packaging waste on your construction site. Good Practice Guide 606. Available in: http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/GG606_final.pdf.

{16} BOC, (2010a). Decreto 15/2010, de 4 Marzo, 2010-2014 Plan Sectorial de Residuos de Cantabria. Boletín Oficial del Cantabria.

{17} Instituto Nacional de Estadística, (2012). Disponible en: <http://www.ine.es/>

{18} Coelho A. and De Brito J., (2013a). Economic viability analysis of a construction and demolition waste recycling plant in Portugal – Part I: Location, materials, technology and economic analysis. Journal of Cleaner Production.

{19} Eatherley, D., and Slater, S., (2009). Final Report: Good practice in Construction and Demolition materials recovery facilities. A review of UK MRFs to identify, and to encourage MRF operators to adopt, good practice in the recovery of non-inert C&D waste materials.

{20} Pinellas County, (2009). Innovative waste reduction & recycling grant ig8-06. MRFing our way to diversion: capturing the commercial waste stream. Materials recovery facility technology review.

{21} Europalet, (2018). Información respecto al precio de los palets de madera. Disponible en: <http://www.europalet.com/>

{22} CYPE ingenieros, S.A., (2014). Precios de construcción. Generador de precios de la construcción. Disponible en: <http://www.generadordeprecios.info/>.

{23} Saint Gobain, (2014). Propiedades del vidrio. Disponible en: <http://www.saint-gobainsekurit.com/es/glazingcatalogue/propiedades-del-vidrio>

{24} Aspapel, (2018). Asociación española de productores de madera de pulpa, papel y cartón. Estadística de precios del papel recuperado en España. Precios del papel recuperado. Disponible en: <http://www.aspapel.es/>

{25} LME, (2018). London metal Exchange. Disponible en: <https://www.lme.com/>

{26} Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, por el que se aprueba la instrucción de hormigón estructural (EHE-08). (BOE. núm. 203, 22 de Agosto de 2008).

{27} CAPV, (2012). Guía para la prevención de emisiones difusas de partículas, Gobierno Vasco. Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca. Dirección de Planificación Ambiental. Disponible en: http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.eus/contenidos/manual/guia_emisiones_difusas/es_doc_adjuntos/guia_emisiones_difusas.pdf

{28} TCEQ, (2002). Guía técnica para plantas destinadas a la trituración de rocas. Draft RG 058. Texas Commission on Environmental Quality.

{29} Weihong, X., (2004). Quality Improvement of Granular Secondary Raw Building Materials by Separation and Cleansing Techniques. Thesis Delft University of Technology, Delft, the Netherlands. Master of Science in Materials Engineering, Wuhan University of Technology, China.

{30} Schnellert, T. and Mueller, A., (2010). Separation Techniques for C&DW- Best practice. Development of a separation process for gypsum-contaminated concrete aggregates. Alternative separation technique for C&DW-optoelectronic separation. Bauhaus-University Weimar, Chair of Mineral Processing of Building Materials and Reuse, Germany.

{31} Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, (1990-2015). Anexo 7. Factores de emisión de CO₂ y PCI de los combustibles. Disponible en: http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/comercio-de-derechos-de-emision/nir_2017_abril_anexo7_tcm30-379357.pdf

{32} Mercante, I.T., Bovea, M.D., Ibáñez-Forés, V., Arena, A.P., (2012). Evaluación del ciclo de vida de los sistemas de gestión de residuos de construcción y demolición.

{33} Resolución de 9 de octubre de 2013, de la Dirección General de Empleo, por la que se registra y publica el Convenio colectivo de recuperación y reciclado de residuos y materias primas secundarias. (BOE. núm. 256, 25 de Octubre de 2013).

{34} Xabier Arregi, G. (2010), Estudio técnico, económico y financiero de viabilidad De una planta de tratamiento de residuos de Construcción y demolición en la mancomunidad de Urola

medio, Guipúzcoa. Pedro Torres, M., Director. Proyecto Final de Carrera. (Universidad Politécnica de Catalunya). Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/13334/Memoria_PFC_Planta%20Tratamiento%20RCD_Xabier%20Arregi.pdf

{35} HENAN, (2015). Henan Hongji Mine Machinery Co. Disponible en: <http://hjcrusher.com/>

{36} WWF, (2014). Observatorio de la Electricidad Julio 2014. Disponible en: http://awsassets.wwf.es/downloads/oe_julio_2014_final_def.pdf

8 ÍNDICE DE FIGURAS, GRÁFICOS Y TABLAS

8.1 ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 - Áreas y municipalidades de la provincia de Cantabria. Fuente: Elena Dosal, (2015).....	47
Figura 3.2 - Tolva. Fuente: Genielift.....	52
Figura 3.3 - Contenedor estándar. Fuente: Tegui contenedores.....	52
Figura 3.4 - Grúa de gancho extractor. Fuente: Hengwangjx.....	53
Figura 3.5 - Criba vibratoria. Fuente: Jiangxi Shicheng.....	53
Figura 3.6 - Criba rotativa. Fuente: Xinhai Mining.....	53
Figura 3.7 - Imán sobre cinta transportadora. Fuente: jakesmagnet.....	54
Figura 3.8 - Separador por corrientes de Foucault. Fuente: Bunting magnetics Europe.....	54
Figura 3.9 - Maquina de tamizado por flujo de aire. Fuente: scheuch.....	55
Figura 3.10 - Espiral. Fuente: Alibaba.....	55
Figura 3.11 - Sacudidora por humedad. Fuente: Snoby separartion systems.....	55
Figura 3.12 - Trituradora de mandíbula. Fuente: Yifan Machinery.....	56
Figura 3.13 - Trituradora por impacto. Fuente: San Juan reciclados y demoliciones.....	56
Figura 4.1 - Balance de masas sobre la trituradora. Fuente: Elaboración propia.....	72
Figura 4.2 - Balance de masas sobre el imán magnético. Fuente: Elaboración propia.....	73
Figura 4.3 - Balance de masas sobre la criba rotatoria. Fuente: Elaboración propia.....	78
Figura 4.4 - Balance de masas resultante en la cabina de clasificado. Fuente: Elaboración propia.....	80
Figura 4.5 - Representación de la Extracción manual en la cabina de clasificado. Fuente: Elaboración propia.....	101
Figura 4.6 - Trabajo en conjunto de la trituradora por impacto y la criba vibratoria. Fuente: Elaboración propia.....	103
Figura 4.7 - Balance de masas sobre el imán magnético. Fuente: Elaboración propia.....	107

8.2 ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 - Composición de los residuos de construcción y demolición. Fuente: CEDEX, (2010).....	7
Gráfico 2.2 - Generación de RCD's en Cantabria en base a la información registrada. Fuente: Elena Dosal, (2015).....	20
Gráfico 4.1 - Diagrama de flujo del proceso de planta tipo básica. Fuente: Elaboración propia.....	58
Gráfico 4.2 - Diagrama de flujo Escenario 1-A / Planta tipo básica. Fuente: Elaboración propia.....	82
Gráfico 4.3 - Diagrama Shankey de las corrientes de entrada y salida del Escenario 1-A / Planta tipo básica. Fuente: Elaboración propia.....	84
Gráfico 4.4 - Diagrama de flujo Escenario 1-B / Planta tipo básica. Fuente: Elaboración propia.....	85
Gráfico 4.5 - Diagrama Shankey de las corrientes de entrada y salida del Escenario 1-B / Planta tipo básica. Fuente: Elaboración propia.....	87
Gráfico 4.6 - Diagrama de flujo Escenario 2-A/ Planta tipo básica. Fuente: Elaboración propia.....	88
Gráfico 4.7 - Diagrama Shankey de las corrientes de entrada y salida del Escenario 2-A / Planta tipo básica. Fuente: Elaboración propia.....	90
Gráfico 4.8 - Diagrama de flujo Escenario 2-B/ Planta tipo básica. Fuente: Elaboración propia.....	91
Gráfico 4.9 - Diagrama Shankey de las corrientes de entrada y salida del Escenario 2-B / Planta tipo básica. Fuente: Elaboración propia.....	93
Gráfico 4.10 - Diagrama de flujo del proceso de planta tipo avanzada. Fuente: Elaboración propia.....	95
Gráfico 4.11 - Diagrama de flujo Escenario 1-A / Planta tipo avanzada. Fuente: Elaboración propia.....	118
Gráfico 4.12 - Diagrama Shankey de las corrientes de entrada y salida del Escenario 1-A / Planta tipo avanzada. Fuente: Elaboración propia.....	120

Gráfico 4.13 - Diagrama de flujo Escenario 1-B / Planta tipo avanzada. Fuente: Elaboración propia.....	121
Gráfico 4.14 - Diagrama Shankey de las corrientes de entrada y salida del Escenario 1-B / Planta tipo avanzada. Fuente: Elaboración propia.....	123
Gráfico 4.15 - Diagrama de flujo Escenario 2-A / Planta tipo avanzada. Fuente: Elaboración propia.....	124
Gráfico 4.16 - Diagrama Shankey de las corrientes de entrada y salida del Escenario 2-A / Planta tipo avanzada. Fuente: Elaboración propia.....	126
Gráfico 4.17 - Diagrama de flujo Escenario 2-B / Planta tipo avanzada. Fuente: Elaboración propia.....	127
Gráfico 4.18 - Diagrama Shankey de las corrientes de entrada y salida del Escenario 2-B / Planta tipo avanzada. Fuente: Elaboración propia.....	129

8.3 ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 - Composición de los RCD's generados en Cantabria. Fuente: Elaboración propia.....	22
Tabla 3.2 - Cantidad total de residuos generada por cada flujo de los RCD's. Fuente: Elaboración propia.....	24
Tabla 3.3 - Composición porcentual del mezclado de residuos para el escenario 1-A. Fuente: Elaboración propia.....	26
Tabla 3.4 - Composición porcentual del mezclado de residuos para el escenario 1-B. Fuente: Elaboración propia.....	26
Tabla 3.5 - Composición porcentual del mezclado de residuos para el escenario 2-A. Fuente: Elaboración propia.....	26
Tabla 3.6 - Composición porcentual del mezclado de residuos para el escenario 2-B. Fuente: Elaboración propia.....	26
Tabla 3.7 - Determinación de las cantidades exactas de los diferentes flujos de residuos para el escenario 1-A. Fuente: Elaboración propia.....	29

Tabla 3.8 - Cantidades exactas de los flujos de residuos segregados. Fuente: Elaboración propia.....	30
Tabla 3.9 - Cantidades exactas de los flujos de residuos pertenecientes al mezclado pétreo. Fuente: Elaboración propia.....	30
Tabla 3.10 - Cantidades exactas de los flujos de residuos pertenecientes al mezclado de metales. Fuente: Elaboración propia.....	31
Tabla 3.11 - Cantidades exactas de los flujos de residuos pertenecientes al mezclado de los RCD's. Fuente: Elaboración propia.....	31
Tabla 3.12 - Determinación de las cantidades exactas de los diferentes flujos de residuos para el escenario 1-B. Fuente: Elaboración propia.....	33
Tabla 3.13 - Cantidades exactas de los flujos de residuos segregados. Fuente: Elaboración propia.....	34
Tabla 3.14 - Cantidades exactas de los flujos de residuos pertenecientes al mezclado pétreo. Fuente: Elaboración propia.....	34
Tabla 3.15 - Cantidades exactas de los flujos de residuos pertenecientes al mezclado de metales. Fuente: Elaboración propia.....	35
Tabla 3.16 - Cantidades exactas de los flujos de residuos pertenecientes al mezclado de los RCD's. Fuente: Elaboración propia.....	35
Tabla 3.17 - Determinación de las cantidades exactas de los diferentes flujos de residuos para el escenario 2-A. Fuente: Elaboración propia.....	37
Tabla 3.18 - Cantidades exactas de los flujos de residuos segregados. Fuente: Elaboración propia.....	38
Tabla 3.19 - Cantidades exactas de los flujos de residuos pertenecientes al mezclado pétreo. Fuente: Elaboración propia.....	38
Tabla 3.20 - Cantidades exactas de los flujos de residuos pertenecientes al mezclado de metales. Fuente: Elaboración propia.....	39
Tabla 3.21 - Cantidades exactas de los flujos de residuos pertenecientes al mezclado de los RCD's. Fuente: Elaboración propia.....	39
Tabla 3.22 - Determinación de las cantidades exactas de los diferentes flujos de residuos para el escenario 2-B. Fuente: Elaboración propia.....	41

Tabla 3.23 - Cantidades exactas de los flujos de residuos segregados. Fuente: Elaboración propia.....	42
Tabla 3.24 - Cantidades exactas de los flujos de residuos pertenecientes al mezclado pétreo. Fuente: Elaboración propia.....	42
Tabla 3.25 - Cantidades exactas de los flujos de residuos pertenecientes al mezclado de metales. Fuente: Elaboración propia.....	43
Tabla 3.26 - Cantidades exactas de los flujos de residuos pertenecientes al mezclado de los RCD's. Fuente: Elaboración propia.....	43
Tabla 3.27 - Resumen de las entradas a planta para toda la región de Cantabria. Fuente: Elaboración propia.....	44
Tabla 3.28 - Población y generación de residuos de las municipalidades que conforman el Área 1. Fuente: Elaboración propia.....	45
Tabla 3.29 - Resumen de las entradas a planta para el Área 1: Santander y limítrofes. Fuente: Elaboración propia.....	46
Tabla 3.30 - Destino de las diferentes corrientes de residuos que conforman los RCD. Fuente: Elaboración propia.....	48
Tabla 3.31 - Tipo de tratamiento de los residuos de construcción y demolición en función del tipo de planta. Fuente: Elaboración propia.....	50
Tabla 3.32 - Principales equipos utilizados en las distintas plantas de reciclaje. Fuente: Elaboración propia.....	51
Tabla 4.1 - Cantidades de los residuos segregados correspondientes a la inspección y al pesaje del escenario 1-A. Fuente: Elaboración propia.....	59
Tabla 4.2 - Cantidades de los residuos del pétreo mezclado correspondientes a la inspección y al pesaje del escenario 1-A. Fuente: Elaboración propia.....	60
Tabla 4.3 - Cantidades de los residuos del mezclado de los RCD correspondientes a la inspección y al pesaje del escenario 1-A. Fuente: Elaboración propia.....	60
Tabla 4.4 - Cantidades resultantes del tratamiento manual del hormigón armado. Fuente: Elaboración propia.....	61
Tabla 4.5 - Extracción por grúa de gancho de las corrientes de residuos segregadas. Fuente: Elaboración propia.....	63

Tabla 4.6 - Extracción por grúa de gancho de las corrientes de residuos pertenecientes al mezclado pétreo. Fuente: Elaboración propia.....	63
Tabla 4.7 - Extracción por grúa de gancho de los residuos pertenecientes al mezclado de los RCD (parte 1). Fuente: Elaboración propia.....	64
Tabla 4.7 - Extracción por grúa de gancho de los residuos pertenecientes al mezclado de los RCD (parte 2). Fuente: Elaboración propia.....	64
Tabla 4.7 - Extracción por grúa de gancho de los residuos pertenecientes al mezclado de los RCD (parte 3). Fuente: Elaboración propia.....	65
Tabla 4.8 - Separación por tamaño en la criba vibratoria de las corrientes de residuos segregadas. Fuente: Elaboración propia.....	66
Tabla 4.9 - Separación por tamaño en la criba vibratoria de las corrientes de residuos pertenecientes al mezclado pétreo. Fuente: Elaboración propia.....	67
Tabla 4.10 - Separación por tamaño en la criba vibratoria de las corrientes de residuos pertenecientes al mezclado de los RCD. Fuente: Elaboración propia.....	67
Tabla 4.11 - Reducción del tamaño de partícula por trituradora de mandíbula de las corrientes de residuos segregadas. Fuente: Elaboración propia.....	69
Tabla 4.12 - Reducción del tamaño de partícula por trituradora de mandíbula de las corrientes de residuos pertenecientes al mezclado pétreo. Fuente: Elaboración propia.....	70
Tabla 4.13 - Reducción del tamaño de partícula por trituradora de mandíbula de las corrientes de residuos pertenecientes al mezclado genérico de RCD's. Fuente: Elaboración propia.....	71
Tabla 4.14 - Separación por tamaño en la rotatoria vibratoria de las corrientes de residuos segregadas. Fuente: Elaboración propia.....	75
Tabla 4.15 - Separación por tamaño en la criba rotatoria de las corrientes de residuos pertenecientes al mezclado pétreo. Fuente: Elaboración propia.....	75
Tabla 4.16 - Separación por tamaño en la criba rotatoria de las corrientes de residuos pertenecientes al mezclado de los RCD (parte 1). Fuente: Elaboración propia.....	76
Tabla 4.16 - Separación por tamaño en la criba rotatoria de las corrientes de residuos pertenecientes al mezclado de los RCD (parte 2). Fuente: Elaboración propia.....	77
Tabla 4.16 - Separación por tamaño en la criba rotatoria de las corrientes de residuos pertenecientes al mezclado de los RCD (parte 3). Fuente: Elaboración propia.....	77

Tabla 4.17 - Separación por barrido de viento de las corrientes de residuos de baja densidad. Fuente: Elaboración propia.....	79
Tabla 4.18 - Extracción manual en la cabina de clasificado. Fuente: Elaboración propia.....	80
Tabla 4.19 - Tabla resumen de las corrientes de salida del Escenario 1-A / Planta tipo básica. Fuente: Elaboración propia.....	83
Tabla 4.20 - Tabla resumen de las corrientes de salida del Escenario 1-B / Planta tipo básica. Fuente: Elaboración propia.....	86
Tabla 4.21 - Tabla resumen de las corrientes de salida del Escenario 2-A / Planta tipo básica. Fuente: Elaboración propia.....	89
Tabla 4.22 - Tabla resumen de las corrientes de salida del Escenario 2-B / Planta tipo básica. Fuente: Elaboración propia.....	92
Tabla 4.23 - Cantidades de los residuos segregados correspondientes a la inspección y al pesaje del escenario 1-A. Fuente: Elaboración propia.....	96
Tabla 4.24 - Cantidades de los residuos del pétreo mezclado correspondientes a la inspección y al pesaje del escenario 1-A. Fuente: Elaboración propia.....	97
Tabla 4.25 - Cantidades de los residuos del mezclado de los RCD correspondientes a la inspección y al pesaje del escenario 1-A. Fuente: Elaboración propia.....	97
Tabla 4.26 - Extracción por grúa de gancho de las corrientes de residuos segregadas. Fuente: Elaboración propia.....	98
Tabla 4.27 - Extracción por grúa de gancho de las corrientes de residuos pertenecientes al mezclado pétreo. Fuente: Elaboración propia.....	99
Tabla 4.28 - Extracción por grúa de gancho de las corrientes de residuos pertenecientes al mezclado de los RCD. Fuente: Elaboración propia.....	100
Tabla 4.29 - Extracción manual en la cabina de clasificado sobre las corrientes afectadas. Fuente: Elaboración propia.....	102
Tabla 4.30 - Trabajo en conjunto de la trituradora por impacto y la criba vibratoria sobre las corrientes de residuos segregadas. Fuente: Elaboración propia.....	103
Tabla 4.31 - Trabajo en conjunto de la trituradora por impacto y la criba vibratoria sobre el lote del mezclado pétreo. Fuente: Elaboración propia.....	104

Tabla 4.32 - Trabajo en conjunto de la trituradora por impacto y la criba vibratoria sobre el lote del mezclado genérico de los RCD. Fuente: Elaboración propia.....	105
Tabla 4.33 - Separación de fracciones en criba vibratoria sobre las corrientes de residuos segregadas. Fuente: Elaboración propia.....	108
Tabla 4.34 - Separación de fracciones en criba vibratoria sobre las corrientes pertenecientes al mezclado pétreo. Fuente: Elaboración propia.....	109
Tabla 4.35 - Separación de fracciones en criba vibratoria sobre las corrientes pertenecientes al mezclado genérico de los RCD. Fuente: Elaboración propia.....	110
Tabla 4.36 - Separación en la Espiral de las corrientes no pétreas de las pétreas pertenecientes al mezclado genérico de los RCD. Fuente: Elaboración propia.....	112
Tabla 4.37 - Separación por barrido de viento de las corrientes de residuos de baja densidad. Fuente: Elaboración propia.....	114
Tabla 4.38 - Separación en Sacudidora de humedad de la fracción gruesa del mezclado pétreo. Fuente: Elaboración propia.....	115
Tabla 4.39 - Separación en Sacudidora de humedad de la fracción gruesa del mezclado genérico de los RCD. Fuente: Elaboración propia.....	116
Tabla 4.40 - Tabla resumen de las corrientes de salida del Escenario 1-A / Planta tipo avanzada. Fuente: Elaboración propia.....	119
Tabla 4.41 - Tabla resumen de las corrientes de salida del Escenario 1-B / Planta tipo avanzada. Fuente: Elaboración propia.....	122
Tabla 4.42 - Tabla resumen de las corrientes de salida del Escenario 2-A / Planta tipo avanzada. Fuente: Elaboración propia.....	125
Tabla 4.43 - Tabla resumen de las corrientes de salida del Escenario 2-B / Planta tipo avanzada. Fuente: Elaboración propia.....	128
Tabla 5.1 - Capacidad de recuperación de recursos. Fuente: Elaboración propia.....	131
Tabla 5.2 - Cálculo del porcentaje de la capacidad recuperativa de recursos de la planta básica en los escenarios estudiados. Fuente: Elaboración propia.....	134
Tabla 5.3 - Cálculo del porcentaje de la capacidad recuperativa de recursos de la planta avanzada en los escenarios estudiados. Fuente: Elaboración propia.....	135

Tabla 5.4 - Puntuación establecida para el cálculo de la calidad de los áridos reciclados. Fuente: Elena Dosal, (2015).....	136
Tabla 5.5 - Puntuación final de la calidad de los áridos reciclados. Fuente: Elaboración propia.....	137
Tabla 5.6 - Cantidades y composición final de los áridos reciclados producidos por ambos tipos de plantas. Fuente: Elaboración propia.....	139
Tabla 5.7 - Precios de los recursos recuperados por el tratamiento de RCD's. Fuente: Elaboración propia.....	142
Tabla 5.8 - Ingresos generados en cada una de las plantas y escenarios estudiados. Fuente: Elaboración propia.....	142
Tabla 5.9 - Cálculo de los ingresos generados por la venta de recursos recuperados en la planta básica y los escenarios estudiados. Fuente: Elaboración propia.....	145
Tabla 5.10 - Cálculo de los ingresos generados por la venta de recursos recuperados en la planta avanzada y los escenarios estudiados. Fuente: Elaboración propia.....	146
Tabla 5.11 - Emisiones anuales de PM10 de la planta básica. Fuente: Elaboración propia.....	148
Tabla 5.12 - Emisiones anuales de PM10 de la planta avanzada. Fuente: Elaboración propia.....	148
Tabla 5.13 - Emisiones anuales de PM10 de ambas plantas y los escenarios estudiados. Fuente: Elaboración propia.....	149
Tabla 5.14 - Emisiones de CO_2 derivadas del consumo de gasoil en la planta Básica. Fuente: Elaboración propia.....	151
Tabla 5.15 - Emisiones de CO_2 derivadas del consumo de gasoil en la planta Avanzada. Fuente: Elaboración propia.....	151
Tabla 5.16 - Emisiones de CO_2 derivadas del consumo eléctrico en la planta Básica. Fuente: Elaboración propia.....	153
Tabla 5.17 - Emisiones de CO_2 derivadas del consumo eléctrico en la planta Avanzada. Fuente: Elaboración propia.....	153
Tabla 5.18 - Tabla resumen de las emisiones derivadas del consumo de gasoil y electricidad de ambas plantas. Fuente: Elaboración propia.....	154

Tabla 6.1 - Tabla resumen de los resultados finales del criterio de la capacidad recuperativa de la planta. Fuente: Elaboración propia.....156

Tabla 6.2 - Tabla resumen de los resultados finales del criterio de emisiones de CO_2 . Fuente: Elaboración propia.....157

Tabla 6.3 - Tabla resumen de los resultados finales del criterio de la calidad de los áridos reciclados. Fuente: Elaboración propia.....157

Tabla 6.4 - Tabla resumen de los resultados finales del criterio de ingresos totales generados. Fuente: Elaboración propia.....158

Tabla 6.5 - Tabla resumen de los resultados finales del criterio de emisiones de PM10. Fuente: Elaboración propia.....158