



Escola de Camins

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

Recuperación de materias
primas secundarias procedentes
de residuos de aparatos
eléctricos y electrónicos (RAEES)

Trabajo realizado por:

Gerard Giménez San Andrés

Dirigido por:

M^a Dolors Álvarez Castillo

Máster en:

Enginyeria Ambiental

Barcelona, **23/09/16**

Departament d'Enginyeria Ambiental

TREBALL FINAL DE MÀSTER

Agradecimientos

Se quiere agradecer la colaboración de todo un seguido de personas que de un modo u otro han hecho posible la realización de este trabajo de Fin de máster.

M^a Dolors Álvarez del Castillo (Tutora del proyecto)

Agradecer la tutorización , su disponibilidad y apoyo en todo momento a lo largo de la realización del trabajo.

Lorena Jurado (Directora de la Bolsa de Subproductos de Catalunya y tutora externa)

Agradecer su tutorización, colaboración y motivación a la hora de escoger la temática del proyecto

Belén Gallego (Agencia de Residus de Catalunya)

Agradecer todas las aclaraciones en cuanto a la legislación en materia de RAEE

Ramón Altadill (Director de Electrorecycling)

Agradecer la oportunidad brindada para visitar la planta de tratamiento de RAEE del Pont de Vilomara i Rocafort.

Juan de Pablos (Profesorado UPC)

Agradecer su disponibilidad e información en cuanto a procesos de recuperación de metales preciosos.

Finalmente agradecer a la empresas **Regulator Cetrisa, Recovery SA y Vary Group**, la información facilitada en cuanto a precios de equipos y maquinaria

Contenido

1	<u>INTRODUCCIÓN</u>	5
1.1	CONTENIDO	5
1.2	DEFINICIÓN, PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS Y COMPLEJIDAD	6
1.3	EVOLUCIÓN DE LOS AEE Y GENERACIÓN DE RAEE	7
1.4	ECONOMÍA CIRCULAR Y LA ESTRATEGIA EUROPEA PARA UN USO EFICIENTE DE LOS RECURSOS	10
2	<u>OBJETIVOS</u>	11
3	<u>MARCO NORMATIVO</u>	12
3.1	DIRECTIVAS	12
3.2	REALES DECRETOS	13
4	<u>CARACTERIZACIÓN</u>	16
5	<u>CLASIFICACIÓN</u>	19
5.1	CLASIFICACIÓN	20
6	<u>SITUACIÓN ACTUAL EN ESPAÑA</u>	23
6.1	PUESTOS EN MERCADO	23
6.2	RECOGIDA	24
7	<u>SITUACIÓN EN CATALUNYA</u>	26
8	<u>CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN PROPUESTAS</u>	27
9	<u>REGULACIONES APLICADAS AL PROCESO DE TRATAMIENTO</u>	34
10	<u>ETAPAS DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE RAEE: RECOGIDA, PRE-PROCESO Y FIN DE PROCESO</u>	36
10.1	LA RECOGIDA	36
10.2	EL PRE-PROCESO	36
10.3	FIN DE PROCESO	38
11	<u>DISEÑO DEL PROCESO Y PLANTA DE TRATAMIENTO DE RAEE</u>	39
11.1	LÍNEA 1	40
	FASE 0 – RECEPCIÓN DE RAEE, INSPECCIÓN VISUAL Y CLASIFICACIÓN	40
	FASE 1 – DESMONTAJE Y EXTRACCIÓN DE LOS COMPONENTES, SUSTANCIAS Y MEZCLAS (DESCONTAMINACIÓN)	41
	FASE 2 – TRITURACIÓN, SEPARACIÓN MANUAL Y SEPARACIÓN MECÁNICA	41
11.2	LÍNEA 2 Y 3. RECUPERACIÓN DEL COBRE PROCEDENTE DE CABLES Y METALES PRECIOSOS DE LAS PLACAS CIRCUITOS IMPRESOS	47
11.2.1	LÍNEA 2 : PROCESO DE RECICLAJE DE LOS CABLES	47
11.2.2	LÍNEA 3: PLACAS DE CIRCUITO IMPRESO: RECUPERACIÓN DEL ORO	47
12	<u>ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE RAEE DE CATEGORÍA 3 GENERADOS EN CATALUNYA</u>	50

12.1	MODELOS DE CÁLCULO PARA ESTIMAR LA GENERACIÓN.....	50
12.2	ANÁLISIS DE LOS DATOS DE AEE PUESTOS EN MERCADO EN CATALUNYA.....	51
12.3	CANTIDAD DE RAEE DE CATEGORÍA 3 GENERADOS EN CATALUNYA.....	54
13	<u>CANTIDAD DE RAEE A TRATAR A LA PLANTA DISEÑADA.....</u>	<u>57</u>
14	<u>RESULTADO DEL PROCESO: CANTIDAD DE METALES RECUPERADOS.....</u>	<u>59</u>
15	<u>ESTUDIO ECONÓMICO</u>	<u>63</u>
15.1	INVERSIÓN INICIAL.....	63
15.2	AMORTIZACIONES	66
15.3	INGRESOS.....	66
15.4	GASTOS	68
15.5	CUENTAS DE GASTOS E INGRESOS	73
15.6	CASH-FLOW	73
15.7	RENTABILIDAD	73
16	<u>RESULTADOS DEL ESTUDIO ECONÓMICO</u>	<u>75</u>
17	<u>CONCLUSIONES</u>	<u>78</u>
18	<u>ANEXOS.....</u>	<u>80</u>
19	<u>BIBLIOGRAFÍA.....</u>	<u>94</u>

1 Introducción

1.1 Contenido

El presente trabajo trata sobre el diseño de una planta de tratamiento de residuos de aparatos de informática y telecomunicaciones generados en Catalunya, para la recuperación de metales, a fin de que puedan ser empleados como materias primas secundarias. Este trabajo se plantea partiendo de la base de que los metales son un material que se puede reciclar repetidas veces, sin que se alteren sus propiedades gracias a su baja reactividad. En los últimos años ha surgido un especial interés por el tratamiento de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos y la recuperación de algunos componentes y materiales que los componen, puesto que se entienden como una fuente rica en metales comparándolo con las fuentes minerales primarias. Para tener una idea de magnitudes se dice que la cantidad total de oro recuperable de una tonelada de residuos de ordenadores personales electrónicos, es mayor que la que se puede obtener de 17 toneladas del mineral.[1]

Las propiedades de los metales recuperados son prácticamente las mismas que cuando se extraen directamente del mineral, sin embargo la extracción directa requiere 10 veces más energía, por este motivo en el contexto de la sostenibilidad se debe maximizar el reciclaje de este tipo de residuos y los metales que los componen. A parte del ahorro energético, la escasez de yacimientos minerales en Europa hace que el reciclaje de RAEE constituya un importante componente de los suministros de materia prima de una serie de metales, tales como el cobre, aluminio, plomo, zinc y metales preciosos, entre otros.

Tradicionalmente la mayoría de los residuos eléctricos y electrónicos han acabado en vertederos. De acuerdo a un estudio de la agencia de protección ambiental de los EEUU[2], sobre la gestión de RAEE, se calcula que el 19% de los RAEE se incineraban y el 81% terminaban en vertederos, con todas las consecuencias negativas que conlleva, tales como emisión de gases tóxicos a la atmósfera, contaminación de suelos y aguas subterráneas así como el desaprovechamiento de fuentes potenciales de recursos.

Existen diversas categorías de aparatos eléctricos y electrónicos, todas ellas con características muy diversas. El trabajo se centra en una sola, la categoría 3 que agrupa todos aquellos equipos de la información y telecomunicaciones. Los factores determinantes a la hora de escoger la categoría objeto de estudio han sido: la frecuencia con la que este tipo de aparatos se convierten en residuos, el número de unidades de equipos puestos en el mercado y la concentración de metales de alto valor. En lo que a tiempo de renovación se refiere, los tiempos de vida media de los aparatos comprendidos en esta categoría son relativamente cortos, lo que provoca una mayor frecuencia de generación de residuos, en comparación con otras categorías.

El trabajo se organiza en distintos capítulos, al principio se hace una introducción de las principales características de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, seguido de un resumen del marco normativo en esta materia. Se dedica un capítulo a la caracterización y otro a la clasificación de estos equipos y se incluye un capítulo de análisis general de la situación de los aparatos eléctricos y electrónicos y sus residuos, en España y Cataluña.

A continuación se presenta un capítulo sobre la clasificación propuesta para llevar a cabo el trabajo y la caracterización de los RAEE objeto de estudio. Los capítulos 9, 10 y 11 se destinan a aspectos de procesos de tratamiento y diseño de la planta. A los

anteriores, les sigue el capítulo 12 que trata la estimación de la cantidad de RAEE de categoría 3 generados.

En el capítulo 13 se habla sobre la cantidad potencial de RAEE que podría llegar a la planta de tratamiento, y en el 14 se exponen los resultados de la cantidad de metales recuperados. Para terminar en el capítulo 15 y 16 se realiza el estudio económico y se comentan los resultados, y finalmente se añade un último capítulo de conclusiones.

1.2 Definición, principales características y complejidad

Los RAEE se definen como aquellos residuos de aparatos eléctricos y electrónicos que han llegado al fin de su vida útil, o que han dejado de ser de valor para su propietario original y se han desechado (Widmer et. Al 2005)[3]. Por lo general, la definición más común en la literatura existente es la de equipos eléctricos y electrónicos desechados, sin embargo la legislación en materia de RAEE establece una definición concreta, tanto para los aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) como para los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) que será presentada en el capítulo de marco normativo.

Los RAEE se caracterizan por su gran nivel de complejidad y los principales aspectos que le confieren este atributo son los siguientes:

- Dentro del grupo de los aparatos eléctricos y electrónicos, existen diversas categorías, formadas por varias subcategorías y cada una de ellas contiene distintos tipos de equipos o aparatos con funciones, tamaños, estructuras, componentes y materiales muy diversos. Todo ello se tratará con mayor detalle en el capítulo de clasificación y caracterización.
- La composición de estos aparatos es muy diversa, los más modernos pueden contener más de 60 elementos diferentes (Schluep et al., 2009)[4], algunos de ellos con elevado valor en el mercado, muchas veces escasos y difíciles de obtener, y con un gran potencial como fuente de materias primas secundarias. Estos materiales, una vez el aparato del que forman parte pasa a estar obsoleto, quedan totalmente aptos para volver a utilizar.
- Del mismo modo que dichos aparatos eléctricos y electrónicos contienen materiales muy valiosos, también contienen otros considerados sustancias peligrosas que presentan altos niveles de toxicidad, tales como el plomo y mercurio. Estos materiales o sustancias representan un elemento indispensable a tener en cuenta durante el proceso de tratamiento, a causa de los efectos adversos que causan sobre la salud y el medio ambiente.

Por lo tanto, como es de esperar, la heterogeneidad y complejidad de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos implica unos procedimientos y herramientas de gestión específicos en términos de:

Elaboración de leyes: se debe dar prioridad de gestión a aquellos que contienen sustancias peligrosas, aquellos que presentan elevadas cantidades de recursos valiosos o que pueden representar una fuente importante de materias primas secundarias y también a los que se generan en mayores cantidades.

Recogida: la recogida separada y la organización logística es necesaria para los RAEE, ya que existen de dimensiones y composiciones muy diversas y los procesos de tratamiento no son únicos para todos los tipos de RAEE. Otro aspecto importante es que la recogida de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos debe ser cuidadosa o delicada ya que muchas veces ciertos aparatos pueden ser reutilizados.

Tratamiento: Las instalaciones y tecnologías de tratamiento tienen que ser lo más específicas posibles para las diferentes categorías de RAEE, con el fin de lograr el tratamiento más eficiente posible y con mayor tasa de recuperación de materiales.

Medidas de seguridad: Cabe destacar también la importancia de un control exhaustivo y la aplicación de medidas de seguridad en los procesos de descontaminación de AEE con presencia de materiales o sustancias peligrosas, con el fin de prevenir los posibles impactos sobre la salud y el medio ambiente.

Financiación: Algunos AEE se consideran que presentan un valor positivo al fin de su vida. Mientras la mayoría de categorías presentan un déficit entre su recogida y tratamiento, hay otras que generan beneficios por la cantidad de materiales recuperables y valiosos que albergan. Por lo general las instalaciones y los procesos de tratamiento tienen un alto coste asociado por ese motivo existe la tasa que pagan los SIG a estos centros por cada kg o Tn de RAEE tratado.

A modo de resumen, se puede decir que todo y la problemática asociada a la contaminación, si se aplica un modelo de gestión apropiado, los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos tienen un gran potencial como fuente de recursos, provocando no solo un impacto positivo al evitar la extracción de recursos naturales escasos, sino también por el ahorro en costes de materias primas y la reducción de la disposición final de ciertos materiales y sustancias peligrosas.

1.3 Evolución de los AEE y generación de RAEE.

La aparición de los aparatos eléctricos y electrónicos, dio lugar a una nueva era para la ciencia y la tecnología, y por supuesto para la civilización. En la segunda mitad del siglo XX, los avances tecnológicos llevaron al aumento de la complejidad de los AEE permitiendo brindar cada vez más prestaciones a los usuarios. Se considera que fue a partir de los años 70 que empezaron a aparecer con mayor frecuencia nuevos AEE que facilitaban la vida cotidiana de las personas, sin embargo, por lo general, eran solo las clases más acomodadas las que tenían acceso a este tipo de bienes. En pocos años el aumento del poder adquisitivo, acercó más las tecnologías a la sociedad y se dio una familiarización de los productos tecnológicos con la población, provocando su presencia en la vida cotidiana.

Los grandes avances tecnológicos, los ciclos de innovación cada vez más breves y la sustitución cada vez más acelerada, han provocado que el mercado de los AEE tenga un comportamiento excesivamente dinámico, generando cierta relación de dependencia entre la sociedad y este tipo de bienes. Esta "dependencia" se ha visto reflejada en el aumento de consumo de AEE experimentado en las dos últimas décadas, y consecuentemente, también en el aumento de la generación de sus residuos, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE).

La durabilidad de estos bienes es muy importante desde un punto de vista ambiental, sin embargo se ha podido observar un cambio en la tendencia de la vida útil, siendo cada vez más corta. Esta tendencia se atribuye principalmente a un fenómeno conocido con el término de obsolescencia programada, que se define como el intento por parte del fabricante de un bien, de reducir el ciclo de vida de un producto para que el consumidor se vea obligado a adquirir otro similar, con mayor frecuencia.

A día de hoy se habla de los 3 tipos de obsolescencia, todos ellos condicionantes de la vida útil de los AEE[15]

-Obsolescencia incorporada: Podría llegarse a considerar un delito, y consiste en que el productor configura ciertos componentes del aparato para que dejen de funcionar en un

periodo de tiempo determinado. En otras palabras, el equipo se vuelve obsoleto debido a un mal funcionamiento programado por el fabricante.

-*Obsolescencia tecnológica*: Está basada en la actualización continua y rápida de los productos como ordenadores y móviles, lo que implica una sustitución más frecuente por otros equipos más avanzados. Llega un punto en que ciertos equipos no se pueden actualizar a las últimas versiones, lo que se traduce en nuevas adquisiciones y desecharlos AEE “más anticuados”.

-*Obsolescencia psicológica*: Este fenómeno se manifiesta cuando los fabricantes producen nuevos equipos en función de la moda y el lujo, provocando sobre el consumidor el deseo y la necesidad de sustituir equipos que todavía son completamente funcionales.

Es evidente entonces que la obsolescencia es un fenómeno que influye claramente en el aumento de la generación de RAEE, sin embargo, otro factor que ha afectado ha sido el nivel de desarrollo de los países. Mientras antes solamente los países más con más recursos y riqueza representaban la mayor parte del consumo, ahora países que están en desarrollo y presentan elevados índices de población, como China y la India, están causando un efecto muy notorio sobre el consumo y la generación de residuos de este tipo. Esto se demuestra a partir del estudio desarrollado por la universidad de las Naciones Unidas, en el que se establece una relación lineal entre el PIB de un país y la cantidad de RAEE generados[5]. A grandes rasgos, podríamos decir que los principales factores que influyen en el aumento del consumo de estos aparatos, y por lo tanto en la generación de sus residuos, a parte de los distintos tipos de obsolescencia relacionados con la constante innovación tecnológica, son la reducción de precios debido a la economía de escala, el aumento del poder adquisitivo, la falta de concienciación que conduce a una cultura de consumo no responsable, y la falta de modelos gestión y regulaciones estrictas que incentiven la producción garantizando una durabilidad.

Todo ello, ha dado lugar a que año tras año, se produzca un gran aumento en la generación de RAEE. En la Tabla 1.1 se muestran los resultados recogidos en el estudio *The global e-waste monitor 2014*[6], desarrollado por la Universidad de las Naciones Unidas, donde se representa una relación entre el aumento de la población mundial y la cantidad de RAEE generados, y se hace una proyección a futuro de las cantidades generadas entre 2015 y 2018.

Tabla 1.1: Cantidad global de RAEE generados

Cantidad global de RAEE generados			
Año	RAEE generados (Mt)	Población (billones)	RAEE generados (kg/hab)
2010	33.8	6.8	5.0
2011	35.8	6.9	5.2
2012	37.8	6.9	5.4
2013	39.8	7.0	5.7
2014	41.8	7.1	5.9
2015	43.8	7.2	6.1
2016	45.7	7.3	6.3
2017	47.8	7.4	6.5
2018	49.8	7.4	6.7

Elaboración propia, Fuente: The global E-waste monitor [6]

Este mismo estudio[6], presenta que la cantidad estimada de RAEE generados en 2014, desagregados por:

Lámparas (1Mt), Monitores (6,3 Mt), Equipos de intercambio de temperatura (7 Mt), Equipos grandes (11,8 Mt), Equipos pequeños (12,8 Mt) y Equipos pequeños de informática y telecomunicaciones (3 Mt).

Se calcula que la cantidad total generada en 2018 alcanzará los 49,8 Mt, lo que se traduce en que la tasa de crecimiento de RAEE en los últimos años oscila entre un 4 y 5%.

Respecto los datos de Europa en 2014 se calcula que se generaron 11,6Mt, siendo el continente que presenta una mayor generación per cápita con 15,6kg/hab. La Tabla 1.2 muestra la cantidad de RAEE en Mt, por habitante al año, desagregados por categorías.

Tabla 1.2: Cantidad de RAEE generados en Europa (2014)

Categoría	Mt
Lámparas	0,2
Monitores	1,7
Equipos de intercambio de temperatura	1,9
Equipos grandes	3,6
Equipos pequeños	3,3
Equipos pequeños de informática y telecomunicaciones	0,9

Elaboración propia, Fuente: The global E-waste monitor[6]

El Gráfico 1.1, muestra los porcentajes de RAEE generados en Europa, en el año 2014.

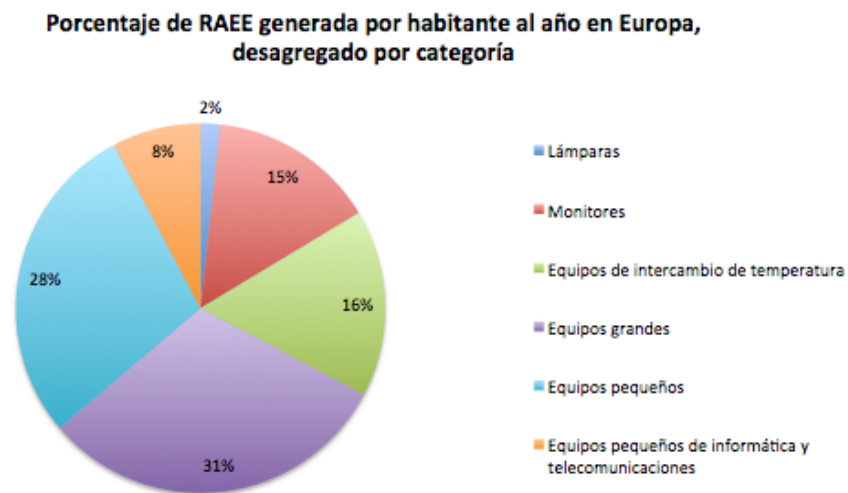


Gráfico 1.1: Porcentaje de RAEE generado en Europa (2014)
Elaboración propia, Fuente: The global E-waste monitor[6]

Tal y como se puede ver en el

Gráfico 1.1, los equipos grandes son de los que mayor proporción se genera, seguidos de equipos pequeños. Tanto los monitores como los equipos de intercambio de temperatura presentan un porcentaje muy similar entre el 15% y el 16% y finalmente los que menos se generan son equipos pequeños de informática y telecomunicaciones, con un 8%, y lámparas con un 2%.

Estos datos se deben interpretar con perspectiva, puesto que la generación se expresa en base a los kg generados y no en equipos, unidades de RAEE. Con ello se entiende que aunque se generen más Kg de equipos grandes, tales como lavadoras, el número de unidades que acaban como residuo es mucho inferior que las de equipos de informática y telecomunicaciones, como podría ser un ordenador portátil o un teléfono móvil. Esto se puede comprobar en el registro de AEE del Ministerio de Industria Energía y Turismo, MINETUR [16], donde figuran las unidades puestas en el mercado en el primer trimestre de 2016 y los kg que supone. Como prueba de ello, en el registro figura que de grandes electrodomésticos, se pusieron en mercado 2.870.199 unidades, lo que se traduce en 80.301.290 kg. Sin embargo de equipos de informática y telecomunicaciones se pusieron en mercado 11.766.367 unidades que suponían 4.964.650 Kg.

Las categorías de las que se ha hablado en este apartado, son las empleadas en un estudio de la Universidad de las Naciones Unidas E-waste monitor(2014), sin embargo la clasificación que se empleara para el desarrollo del trabajo se presenta en el capítulo 0.

1.4 Economía circular y la estrategia Europea para un uso eficiente de los recursos

El aprovechamiento y uso responsable de los recursos de nuestro entorno es un factor muy importante en la sociedad actual, una muestra de ello es el especial interés de la Comisión Europea en fomentar el uso eficiente de los recursos, con el objetivo de avanzar hacia un modelo económico más sostenible bajo el concepto de economía circular.

Acorde con lo mencionado anteriormente, se ha considerado oportuno destinar una pequeña parte del trabajo a hablar sobre el concepto de economía circular, por ser uno de los temas más destacados y de mayor transcendencia a nivel de políticas Europeas. La Comisión Europea, en diciembre de 2015, adoptó el nuevo paquete de economía circular [17] como herramienta clave para lograr una transición hacia un modelo de crecimiento económico más sostenible, donde la gestión de los residuos y el uso eficiente de los recursos juegan un papel fundamental.

La economía circular es un concepto económico que se incluye en el marco del desarrollo sostenible cuyo objetivo es la producción de bienes y servicios, para fomentar el crecimiento económico, al mismo tiempo que se consigue reducir el consumo, el desperdicio de materias primas y la generación de residuos. La idea, consiste en implementar una nueva economía, alejada del modelo lineal, basada en el principio de cerrar el ciclo.

El sistema lineal, se basa principalmente en la extracción, fabricación utilización y eliminación, provocando de este modo un efecto de agotamiento o escasez de una serie de recursos. Sin embargo, el modelo de economía circular se fundamenta en una reorientación productiva, basada en la optimización del uso de recursos, la reducción de generación de residuos y la limitación del consumo de energía. Todo ello, proporcionando grandes beneficios en el contexto de escasez y fluctuación de costes de las materias primas, contribuyendo a la seguridad de su suministro



Figura 1.1: modelo lineal frente modelo circular
Fuente: Green week, 2014 (*1)

La concepción de los residuos como fuente de recursos cada vez tiene mayor importancia en la Unión Europea, es por este motivo que día de hoy existe una fuerte motivación para avanzar en este línea.

El paquete de economía circular[17], incluye propuestas legislativas en materia de residuos, así como un plan de acción y concreta las propuestas estableciendo las medidas necesarias para abordar todas las fases del ciclo de vida de los productos, desde la producción, pasando por el consumo y la gestión del residuo, hasta el mercado de materias primas secundarias.

Algunos de los objetivos que se pretenden lograr son la reducción de la deposición en vertedero, el aumento de la preparación para la reutilización y el reciclado de flujos clave de residuos. También se plantea establecer condiciones generales, comunes en todo el entorno europeo, para armonizar procedimientos y evitar los obstáculos que supone la diversidad de criterios, en los estados miembro, en términos de gestión de residuos.

Una muestra de la ambición e interés por lograr los objetivos fijados en este plan estratégico es el respaldo financiero con 650 millones EUR, en el marco del Horizonte 2020 (el programa de financiación para la investigación e innovación de la UE) y 5 500 millones EUR procedentes de los Fondos Estructurales y de Inversión Europeos(EIE),

2 Objetivos

El principal objetivo es proponer el diseño de una planta de tratamiento de RAEE, concretamente para residuos de equipos de informática y telecomunicación generados en Catalunya, y realizar un estudio económico para evaluar su viabilidad.

Para poder alcanzar el objetivo principal, previamente se deben cumplir una serie de sub-objetivos. Estos sub-objetivos son los siguientes:

- Estimar la cantidad de residuos de equipos de informática y telecomunicaciones generados en Catalunya.
- Proponer el diseño de una planta de tratamiento de RAEE para la recuperación de metales que puedan ser empleados como fuente de materia prima secundaria.

-Estimar las cantidades, de metales comunes y metales preciosos, concretamente oro, que se pueden recuperar, teniendo en cuenta la estimación de la generación de los RAEE objeto de estudio y la propuesta de diseño planteada.

Una vez cumplidos estos sub-objetivos se dispone de la información necesaria para realizar el balance económico de la planta de tratamiento propuesta.

3 Marco normativo

En este apartado se lleva a cabo una revisión de las Directivas y Reales Decretos, específicos en materia de RAEE. Se pone especial énfasis en el Real Decreto 110/2015 (RAEE II), del cual se habla sobre su ámbito de aplicación, los objetivos, la clasificación y la novedades que incorpora respecto el anterior Real Decreto.

3.1 Directivas

Antes de empezar este capítulo es importante conocer la definición de RAEE y AEE recogida en la directiva.

Aparatos eléctricos y electrónicos: Aparatos que necesitan para funcionar corriente eléctrica o campos electromagnéticos, destinados a ser utilizados con una tensión nominal no superior a 1.000 V en corriente alterna y 1.500 V en corriente continua, y los aparatos necesarios para generar, transmitir y medir dichas corrientes y campos.

Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos: Aparatos eléctricos y electrónicos cuyos materiales, componentes, consumibles y subconjuntos proceden tanto de usos domésticos como de usos profesionales, a partir del momento en que pasan a ser residuos. Habitualmente se emplea la abreviatura en su descripción (RAEEs).

La primera regulación que se aprobó en la Unión Europea relativa al flujo de RAEE fue la Directiva 2002/96/CE del Parlamento Europeo y el Consejo, de 27 de enero, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos[7]. A través de esta directiva se asentaban las bases de un modelo de gestión que planteaba la necesidad de diseñar aparatos más eficientes, menos contaminantes y más fáciles de ser tratados una vez se convertían en residuos.

Por los motivos anteriormente citados, la cantidad de RAEE generados con el paso del tiempo ha seguido incrementando, de modo que se vio la necesidad de intensificar, en todos los estados miembro, las medidas y esfuerzos para la gestión de este tipo de residuos. Esta necesidad se acentuó por la peligrosidad de algunos componentes y materiales contenidos en los AEE, así como por los bajos índices de reciclaje. Si a todo esto, le sumamos la problemática asociada a la pérdida de fuentes de materias primas, de elevado valor económico, debido a la exportación no controlada de RAEE experimentada en los últimos años y la falta de herramientas para el control y trazabilidad, se justifica la aparición de la nueva directiva en materia de RAEE, la Directiva 2012/19/UE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de julio[8], que deroga la anterior.

La Directiva 2012/19/UE, incorpora los principios más actualizados de la directiva marco de residuos, la Directiva 2008/98/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, tales como el uso eficiente de los recursos, el avance hacia la

disociación del crecimiento económico respecto del incremento en la generación de residuos, así como el principio de jerarquía de residuos.

Con la vigente directiva se trata de mejorar el comportamiento medioambiental de todos los agentes que intervienen en el ciclo de vida de los AEE, desde productores, distribuidores, consumidores, hasta aquellos agentes directamente implicados en la recogida y tratamiento de RAEE.

Dicha directiva 2012/19/UE, pretende asegurar un tratamiento más adecuado y una mayor recuperación de los materiales contenidos, estableciendo directrices en la recogida, hecho que permite ser más exigente en cuanto a los objetivos a alcanzar y lograr un mayor control y trazabilidad de los residuos generados.

Se conserva el principio de responsabilidad ampliada del productor, quien contamina paga, de modo que el productor se hace cargo de la gestión de los RAEE que resultan de los AEE que pone en el mercado, pagando un monto proporcional a la cantidad, en peso, puesta en mercado. De esta manera lo que se pretende es incentivar la producción con diseños que faciliten su desmontaje, reparación y reciclado con el fin de alargar la vida útil de los productos.

3.2 Reales Decretos

RAEE I

El primer Real Decreto en España en materia de RAEE fue el Real Decreto 208/2005, de 25 de febrero, sobre aparatos eléctricos y electrónicos[9], también conocido como RAEEI, que incorporo al ordenamiento jurídico Español la Directiva 2002/96/CE.

Los importantes cambios de la Directiva 2012/19/UE, derivados de la necesidad de mejorar ciertos aspectos referentes a los RAEE y su gestión, recogidos en el Real Decreto 208/2005, ponían de manifiesto la necesidad de elaborar una norma que permitiera lograr las exigencias de la Directiva 2012/19/UE.

Algunos aspectos que no se contemplaron en el anterior Real Decreto 208/2005 eran la diversidad de fabricantes de AEE, los diversos tipos de operadores encargados de la recogida de estos residuo y los múltiples gestores que intervenían en el almacenamiento y tratamiento de RAEE. Todo ello condujo a una importante falta de concreción en los criterios básicos aplicables en todo el territorio del estado. Si además, tenemos en cuenta las dificultades de las administraciones competentes para obtener y controlar los datos sobre los residuos recogidos, recuperados y valorizados, por la ausencia de un instrumento de control y trazabilidad único y homogéneo en el ámbito estatal, se destacaba aun más la necesidad de un nuevo Real Decreto en esta materia.

Para solucionar la problemática asociada a la trazabilidad y control con el actual y reciente Real Decreto 110/2015, de 20 de febrero, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEEII)[10], se plantea un mayor control por parte de las autoridades competentes, así como la cooperación y coordinación entre todas ellas, y la conexión de diversas bases de datos para dar soporte a sus actividades.

RAEEII

Para superar los problemas detectados en la aplicación del anterior Real Decreto de 2005 en materia de RAEE, e incluir la experiencia adquirida en este ámbito, aparece el actual y reciente Real Decreto 110/2015, de 20 de febrero, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos[10], que incorpora al ordenamiento jurídico la directiva

2012/19/UE, incluye las novedades de la ley 22/2011, que traspone la directiva marco de residuos de 2008, y deroga el anterior Real Decreto 208/2005 en materia de RAEE.

Dentro de los objetivos inmediatos del Real Decreto pueden destacarse:

-Establecer una regulación más clara que aumente el nivel de seguridad jurídica y establezca una descripción detallada de las obligaciones de los usuarios, fabricantes, representantes autorizados, importadores, distribuidores y gestores;

-Integrar un único instrumento de control de datos de RAEE, de ámbito autonómico y estatal, que permita conocer el cumplimiento de los objetivos en esta materia y garantice la trazabilidad del residuo y su adecuada gestión;

-Promover la reutilización y la preparación para la reutilización, estimulando la creación de centros de reutilización y la generación de empleo en este sector;

-Aportar fiabilidad y sistematizar las obligaciones de información de los productores de AEE y gestores de RAEE sobre la recogida y valorización de los RAEE en todo el territorio, garantizando la homogeneidad de los criterios de gestión, así como la unidad de mercado;

-Optimizar económicamente y hacer eficiente la gestión de los RAEE bajo la responsabilidad ampliada del productor en un marco que garantice la competitividad del sector de los fabricantes de AEE y de los gestores de sus residuos.

gestión que garantice la protección medioambiental manteniendo los elementos que han constituido un claro éxito y evitando los errores cometidos previamente, todo ello con la finalidad de que España cumpla los objetivos y requisitos comunitarios.

El real decreto 110/2015 incorpora diversas novedades destacadas que se pueden agrupar en dos ámbitos, el institucional y el sustantivo.

- Desde un punto de vista institucional:

Destaca la constitución de un Grupo de trabajo dependiente de la Comisión de coordinación en materia de residuos, actuando a través de dos instrumentos: una Plataforma electrónica que sistematizará la información sobre los residuos, los computará y garantizará la trazabilidad de los mismos, permitiendo la participación de los agentes relacionados y una Oficina de asignación de recogidas, gestionada directamente por los productores de AEE .

- Des del punto de vista sustantivo:

-La incorporación y responsabilidad de los distribuidores como elemento clave en la recogida de RAEE;

-La regulación de requisitos técnicos homogéneos a exigir a las instalaciones de tratamiento de residuos en todo el territorio nacional, armonizando de este modo la concesión de autorizaciones por las autoridades competentes y evitando distorsiones de mercados;

-La unificación de criterios para la autorización de los sistemas colectivos de responsabilidad ampliada del productor

- La modificación de las categorías de los AEE (que pasan a agruparse en 7 categorías frente a las 10 previamente existentes);
- La imposición a los grandes distribuidores, con zona de ventas superior a 400 m², de la obligación de recoger RAEE muy pequeños,
- La incorporación de la distinción entre AEE usado y RAEE, y la previsión de entrega de los aparatos usados por los usuarios a los comercios de segunda mano.

En cuanto al ámbito de aplicación se debe destacar que el período comprendido entre el 21 de febrero de 2015 y el 14 de agosto de 2018 es el período de transición. Durante dicho período, el alcance del Real Decreto 110/2015 es idéntico al alcance del anterior Real Decreto 208/2005 (10 categorías de AEE) pero con la inclusión de los paneles fotovoltaicos en la categoría 4, junto a los aparatos electrónicos de consumo.

A partir del 15 de agosto de 2018 el alcance de la aplicación del Real Decreto se amplía, en el denominado ámbito abierto, a todos los AEE excepto aquellos que se encuentran explícitamente excluidos. La Directiva de 2012 clasifica los AEE en 6 categorías, pero se ha considerado adecuado separar los paneles fotovoltaicos en una categoría aparte (séptima categoría) dada la singularidad de este tipo de aparatos, de larga vida media y perfil profesional. La Figura 3.1, de manera resumida, muestra el ámbito de aplicación del Real Decreto 110/2015 [10]



Figura 3.1: Ámbito de aplicación del Real Decreto

Fuente: MAGRAMA (*2)

En la Tabla 3.1, se presentan los objetivos marcados por el Real Decreto de 2015 [10].

En dicha tabla figuran los objetivos de recogida, de recuperación y reciclaje. Sobre el total recogido, debe haber un porcentaje que se debe recuperar/valorizar, pudiendo ir el resto a eliminación, ya sea incineración o deposición en vertederos. De la recuperación/valorización un porcentaje debe ser valorización material, es decir reciclaje y el resto debe ir a valorización energética.

Los objetivos mínimos de recogida hasta el 31 de diciembre de 2018, son los que se presentan a continuación:

1. Durante el año 2015 se recogerán como mínimo cuatro kilos de RAEE domésticos por habitante.
2. Entre el 1 de enero de 2016 y el 31 de diciembre de 2018 se recogerán las siguientes cantidades mínimas de RAEE, por categorías:

a) hasta el 31 de diciembre de 2016, el 45% de la media del peso de AEE introducidos en el mercado español en 2013, 2014 y 2015;

b) hasta el 31 de diciembre de 2017, el 50% de la media del peso de AEE introducidos en el mercado español en 2014, 2015 y 2016;

c) hasta el 31 de diciembre de 2018, el 55% de la media del peso de AEE introducidos en el mercado español en 2015, 2016 y 2017.

También se fijan objetivos de valorización para cada categoría. A continuación se muestra la Tabla 3.1, un resumen de los objetivos de recogida, recuperación y reciclaje.

Tabla 3.1: Objetivos Real Decreto 110/2015

Categoría/ fecha/ objectiu	Hasta 14 de agosto 2015		2015	15 Agosto de 2015 - 14 Agosto de 2018		2016	2017	A partir del 15 Agosto de 2018		
	recuperar	reciclar	Recoger	recuperar	reciclar	Recoger	Recoger	recuperar	reciclar	Recoger
Categorías 1 i 10	80%	75%	4 Kg/hab.	85%	80%	45%	50%			
Categorías 3 i 4	75%	65%		80%	75%					
Categorías 2, 5, 6, 7, 8 i 9	70%	50%		75%	55%					
Lámparas de descarga de gas de gas		80%			80%					
Categorías 1, 4, 7								85%	80%	55%
Categoría 2								80%	70%	
Categoría 3									80%	
Categoría 5 i 6								75%	55%	

Elaboración propia, Fuente: Real Decreto 110/2015[10]

4 Caracterización

La gran variedad de RAEE y la gran diversidad de materiales que los componen, dificulta el hecho de establecer una caracterización generalizada, no solo dentro de una misma categoría o subcategoría, sino que incluso cuando se trata de aparatos que ofrecen la misma función, ya que la cantidad y tipos de materiales empleados por los distintos fabricantes varía.

La mayoría de artículos sobre caracterización de RAEE distinguen cuatro grupos principales de materiales presentes: metales, que se dividen en 2 grupos, férricos y no férricos (incluye los metales preciosos), vidrio, plástico y otros. Según la caracterización general de RAEE aproximada por el centro europeo de recursos y gestión de recursos, el hierro es el metal que se encuentra en mayor proporción y supone casi la mitad del peso total de los RAEE. Los plásticos son el segundo componente más abundante, representando cerca del 21% del peso total[11]. Los metales no férricos, incluyendo metales preciosos, representan un 13% del peso total de los RAEE, del cual el cobre representa el 7%. Con el paso del tiempo, los metales se han mantenido como la fracción de materiales dominantes, sin embargo los materiales peligrosos y tóxicos han ido disminuyendo (Ongondo et al. 2011)[12]

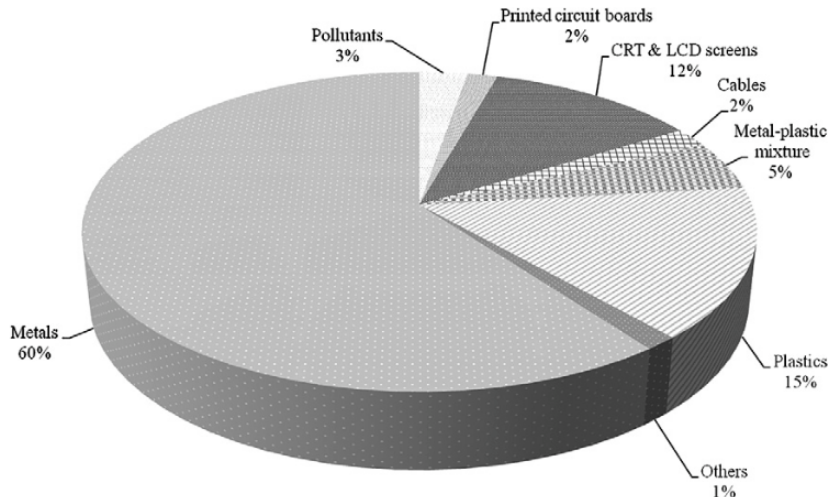


Gráfico 4.1 Caracterización general de los RAEE
Fuente: F.O. Ongondo et al. - Waste Management (2011)[12]

Algunos de los componentes de los AEE, como las pilas, baterías o cartuchos y tóners, entre otros, se consideran peligrosos por las sustancias que los componen. Los metales pesados, clorofluorocarburos, litio, mercurio, amianto y materiales ignífugos, como los piretardantes bromados, entre otros, tienen un impacto negativo sobre el medio ambiente y la salud humana, es por eso que resulta de gran importancia conocer la caracterización de los RAEE para poder llevar a cabo el tratamiento más adecuado.

Plásticos

Los plásticos representan entre el 20 y 25 % en peso de los AEE, dependiendo del aparato, y principalmente son empleados para la elaboración de las carcasas y como estructuras de soporte de algunos componentes que los integran. Según un estudio de la ONU el plástico se encuentra en mayor proporción en las categorías 2, 3, 4, 6 y 7. Con el paso de los años la presencia de plásticos en los AEE ha aumentado considerablemente y con ello también la heterogeneidad de este material dentro de un mismo equipo, ya que se pueden encontrar más de 15 tipos distintos de plásticos. Algunos de los aditivos empleados en el plástico, confieren propiedades que permiten reducir inflamabilidad, reducir del punto de fusión o aportar colorimetría, este es el caso de los retardantes de llama, sin embargo son altamente tóxicos y peligrosos. El reciclado de estos materiales y la recuperación de energía que supondría contribuye a reducir las emisiones de CO₂. Sin embargo, este reciclado suele ser difícil debido a la heterogeneidad de los polímeros presentes en las diferentes categorías de RAEE, por ello es necesario un tratamiento separado de los mismos.

Metales (férricos, no férricos)

Los metales contenidos en los RAEE pueden ser férricos (hierro, acero) o no férricos (aluminio, cobre, metales preciosos). Según las concentraciones de metales presentes en la composición de AEE, se pone de manifiesto la oportunidad de negocio que supone la recuperación de estos metales, sobre todo los metales preciosos.

El hecho de reciclar metales férricos como el acero, implica un ahorro energético importante y a su vez permite reducir la contaminación atmosférica. En cuanto a metales no férricos los que se suelen reciclar con mayor frecuencia son el cobre y el aluminio.

En los AEE encontramos metales preciosos como el oro la plata y el paladio que se emplean para dar un baño de protección a los contactos y conectores, sin embargo se encuentran en mayor proporción en la placas de circuitos impresos, sobre todo en las de los aparatos de categoría 3 y 4.

Vidrio

Los aparatos de tubo de rayos catódicos (TRC) son los que producen el mayor número de vidrio obtenido a partir de AEE. Las tecnologías están progresando y los televisores de pantalla plana están sustituyendo a los TRC. El destino principal que tiene el vidrio obtenido del reciclaje de un monitor TRC es precisamente fabricar nuevos monitores TRC. Sin embargo, debido a que la fabricación de éstos está en declive, se está evolucionando hacia nuevos mercados que den cabida a este tipo de vidrios como la fabricación de ladrillos o azulejos o utilizar el vidrio como material complementario en operaciones de fundición.

Tarjetas de circuitos impresos

Las tarjetas de circuitos eléctricos se suelen encontrar en aparatos dentro de las categorías 3 y 4 de la lista AEE, aunque también pueden encontrarse en lavadoras o variadores de velocidad de las aspiradoras. Contienen metales preciosos y sustancias peligrosas como arsénico, antimonio, berilio, cadmio, plomo, bromo de combustión lenta, entre otros.

Las tarjetas de circuitos impresos no son fáciles de reciclar debido a la presencia de materiales plásticos y sobre todo aquellos que contienen retardantes de llama bromados. Las tarjetas se construyen en base a plásticos termoestables con fibra de vidrio como material esquelético. Diferentes componentes eléctricos, tales como semiconductores, resistores, condensadores o chips son montados sobre las tarjetas e interconectados mediante soldadura de plomo y otros metales pesados.

Los conectores de borde, que se hacen en los lados de las tarjetas, a menudo se metalizan con oro, este metalizado a veces se hace en la tarjeta completa. También se utiliza un baño de pintura de plata conductora para facilitar la óptima conexión de los componentes. Los caminos son generalmente de cobre mientras que el sustrato se fabrica de resinas de fibra de vidrio reforzada, cerámica, plástico o teflón. Aproximadamente el 76% del valor del valor total del circuito electrónico se encuentra en el contenido del cobre y el oro.

Durante el proceso de tratamiento, los circuitos impresos son extraídos, almacenados y transferidos a valorizadores. Esto se debe al elevado contenido en metales preciosos, Au, Ag, Pd. La concentración de metales preciosos en las placas de circuitos impresos es más elevada que la concentración de metales preciosos en el mineral, por lo general de una tonelada de mineral se extrae menos de 10 gramos de metales preciosos (Hagelken et al, 2005), sin embargo si comparamos este dato, con el de la Tabla 8.4, donde figura que 1 tn de placas de circuitos impresos, procedentes de ordenadores portátiles, contiene 630 gramos de oro, 200 de paladio y 1100 de plata, resulta obvio la importancia de la recuperación de metales preciosos procedentes de las placas de circuitos impresos.

Por este motivo a día de hoy hay un creciente interés por el desarrollo de técnicas que permitan elevados ratios de recuperación de metales preciosos contenidos en las tarjetas de circuitos impresos, por su elevado valor de mercado.

Sustancias peligrosas

Las sustancias peligrosas más habituales que incorporan los AEE para su funcionamiento y que deben ser gestionadas y tratadas una vez que los aparatos se conviertan en RAEE son (*3):

- Cadmio: Más del 90% en las pilas recargables.
- Plomo: Más del 90% en las baterías, con pequeñas contribuciones por parte de las soldaduras para los circuitos impresos, lámparas y tubos fluorescentes.
- Óxido de plomo (utilizado en el vidrio): Más del 80% en los tubos de rayos catódicos mientras que el resto procede de las lámparas y los tubos fluorescentes.
- Mercurio: Más del 90% procede de las pilas y sensores de posición con una pequeña contribución por parte de los relés y lámparas fluorescentes.
- Cromo hexavalente: Utilizado como inhibidor de corrosión en el sistema de refrigeración de los refrigeradores por absorción.
- Níquel: Baterías Ni-Cd.
- PCB (Bifenilospoliclorados): Más del 90% provienen de los condensadores y transformadores.
- Compuestos bromados/retardantes de llama: TBBA (Tetra-bromo-bifenil A): Más del 90% proviene de los circuitos impresos, placas y carcasas. PBB (Polibromobifenilos) y PBDE (polibromodifenil-eteres): Componentes termoplásticos, cables, etc. Octa y deca BDE (octa y decabromodifenileter): Más del 80% dentro de los ordenadores, con menores contribuciones por parte de los aparatos de TV y aparatos eléctricos de cocinas domésticas.
- CFC, HCFC, HC: Unidades de refrigeración y espumas aislantes.
- Cloroparafinas: Más del 90% en el PVC de los cables.
- Plata, cobre, bario y antimonio.

5 Clasificación

La clasificación se considera un aspecto fundamental para que los sistemas de recogida y tratamiento sean eficientes, ya que permite establecer un orden y criterio indispensable para llevar a cabo una buena gestión. En otras palabras, la clasificación se entiende como una herramienta que facilita la armonización y identificación del tipo de gestión a llevar a cabo, en función de la categoría o grupo de RAEE.

La clasificación de los RAEE no es tarea fácil, ya que existen múltiples criterios a tener en cuenta. Considerando la heterogeneidad de RAEE y sus características, se pueden clasificar en grupos que presentan riesgos similares por su contenido en materiales peligrosos y tóxicos, por el valor potencial de los materiales que los componen, por peso y volumen, así como por su función y tipo de producto.

Cabe destacar que los AEE, desde el punto de vista de la producción, comercialización y consumo, generalmente se ordenan en distintas líneas de aparatos, línea blanca, marrón y gris.

-La línea blanca hace referencia a los electrodomésticos relacionados con el frío, la cocción, el lavado y el confort: lavadoras, frigoríficos, microondas etc

-La línea marrón comprende los aparatos de consumo: la televisión, la radio, cámaras de fotos etc.

-La línea gris abarca todos los equipos de informática y comunicación: ordenadores, teléfonos, impresoras etc.

5.1 Clasificación

Por lo general, cuando se hace una clasificación prestando atención al tipo de producto aparecen 10 categorías. Prestando atención al valor de los materiales que componen los RAEE, se pueden clasificar en 5 categorías. Cuando el criterio empleado es la capacidad de ser reciclado, se agrupan en 4 categorías, y cuando hablamos de potencial de toxicidad aparecen 7 categorías (Feng Wang et. Al 2013)[13].

La clasificación más reconocida es la presente en el anejo I de la Directiva de RAEE de 2002, expuesta en la Tabla 5.1. En dicha directiva los AEE se clasifican en 10 categorías, siguiendo principalmente un criterio de función del producto, sin embargo la clasificación basada en este criterio, no permite segregar en función del impacto económico o ambiental de los residuos derivados, lo cual se considera un aspecto relevante. Por ejemplo, dentro de la categoría de grandes electrodomésticos, aquellos que presentan CFC tienen un impacto mayor que otros productos de la misma categoría, con lo cual se destaca que aunque la clasificación de los RAEE facilite y mejore muchos aspectos de la gestión, la complejidad de estos residuos, en casos concretos, puede dar lugar a que equipos clasificados en una misma categoría, no sigan las mismas líneas de tratamiento o proceso. Por este motivo se considera que la clasificación, todo y ser un gran avance, requiere de otras herramientas que le den soporte, puesto que la clasificación puede ser "más general", pero el tratamiento debe ser estrictamente específico.

Un estudio de revisión de la clasificación de la Directiva de 2002, proponía una división en 6 categorías (Huisman et. Al 2008)[5]. Dicha clasificación, fue adoptada en la última Directiva de RAEE de 2012, presentada en la Tabla 5.2, la única diferencia es que se añade una séptima categoría, exclusiva, para los paneles fotovoltaicos.

A continuación se presenta la clasificación (Tabla 5.1) del Real Decreto de RAEE de 2005(RAEEI), que traspone la Directiva de RAEE de 2002, y la clasificación del Real Decreto de RAEE de 2015 (RAEEII), que traspone la directiva de 2012 (Tabla 5.2).

Tabla 5.1: Categorías y Subcategorías de AEE en el ámbito de aplicación del Real Decreto hasta el 14 de agosto de 2018

Categoría	Subcategoría
1. Grandes electrodomésticos.	1.1 Frigoríficos, congeladores y otros equipos refrigeradores. 1.2 Aire acondicionado. 1.3 Radiadores y emisores térmicos con aceite. 1.4 Otros grandes electrodomésticos.
2. Pequeños electrodomésticos.	
3. Equipos de informática y telecomunicaciones, excluyendo 4.1.	
4. Aparatos electrónicos de consumo y paneles fotovoltaicos.	4.1 Televisores, monitores y pantallas. 4.2 Paneles fotovoltaicos de silicio. 4.3 Paneles fotovoltaicos de telurio de cadmio. 4.4 Otros aparatos electrónicos de consumo.
5. Aparatos de alumbrado (con excepción de las luminarias domésticas).	5.1 Lámparas de descarga de gas. 5.2 Lámparas LED. 5.3 Luminarias profesionales. 5.4 Otros aparatos de alumbrado.
6. Herramientas eléctricas y electrónicas (con excepción de las herramientas industriales fijas de gran envergadura).	
7. Juguetes o equipos deportivos y de ocio.	
8. Productos sanitarios (con excepción de todos los productos implantados e infectados).	
9. Instrumentos de vigilancia y control.	
10. Máquinas expendedoras.	10.1 Máquinas expendedoras. 10.2 Máquinas expendedoras con gases refrigerantes. Resto de máquinas expendedoras.

Elaboración propia, Fuente Real Decreto 100/2015[10]

Tabla 5.2: Categorías y Subcategorías de AEE incluidas en el ámbito de aplicación del Real decreto a partir del 15 de agosto de 2018

Categoría	Subcategoría
1. Aparatos de intercambio de temperatura con excepción de 1.1, 1.2 y 1.3.	1.1 Aparato eléctrico de intercambio de temperatura clorofluorocarburos (CFC), hidroc fluorocarburos (HCFC), hidrofluorocarburos (HFC), hidrocarburos (HC) o amoníaco (NH ₃). 1.2 Aparato eléctrico de aire acondicionado. 1.3 Aparato eléctrico con aceite en circuitos o condensadores.
2. Monitores, pantallas, y aparatos con pantallas de superficie superior a los 100 cm ² .	2.1 Monitores y pantallas LED. 2.2 Otros monitores y pantallas.
3. Lámparas.	3.1 Lámparas de descarga (mercurio) y lámparas fluorescentes. 3.2 Lámparas LED.
4. Grandes aparatos (con una dimensión exterior superior a 50 cm).	Están incluidos, entre otros: Electrodomésticos, aparatos de consumo, equipos de informática y telecomunicaciones, luminarias, aparatos de reproducción de sonido o imagen, equipos de música, herramientas eléctricas y electrónicas, juguetes, equipos deportivos y de ocio, productos sanitarios, instrumentos de vigilancia y control, máquinas expendedoras y equipos para la generación de corriente eléctrica. Esta categoría no incluye los aparatos contemplados en las categorías 1 a 3 ni 7.
5. Pequeños aparatos (sin ninguna dimensión exterior superior a 50 cm).	Están incluidos, entre otros: electrodomésticos, aparatos de consumo, luminarias, aparatos de reproducción de sonido o imagen, equipos de música, herramientas eléctricas y electrónicas, juguetes, equipos deportivos y de ocio, productos sanitarios, instrumentos de vigilancia y control, máquinas expendedoras y equipos para la generación de corriente eléctrica. Esta categoría no incluye los aparatos contemplados en las categorías 3 y 6.
6. Equipos de informática y telecomunicaciones pequeños (sin ninguna dimensión exterior superior a los 50 cm).	
7. Paneles fotovoltaicos grandes (con una dimensión exterior superior a 50 cm).	7.1 Paneles fotovoltaicos grandes (con una dimensión exterior superior a 50 cm). 7.2 Paneles fotovoltaicos con silicio. Paneles fotovoltaicos con telurio de cadmio.

Elaboración propia, Fuente Real Decreto 100/2015[10]

6 Situación actual en España

En este apartado del trabajo, se presentan las cantidades de AEE puestos en el mercado en España, desagregadas por categorías, y también se muestran los porcentajes que representa cada una de ellas. Se dedica una sección a las cantidades recogidas de RAEE y se analiza el cumplimiento de los objetivos de Recogida.

Cabe mencionar que a la hora de referirse a las categorías en este capítulo, se hará siguiendo la clasificación empleada en la Directiva de 2002, clasificación vigente hasta 2018.

6.1 Puestos en mercado

Estimar las cantidades de RAEE generados no es tarea fácil ya que se requiere de gran cantidad de serie de datos, todo ello será explicado con más detalle en el capítulo 12.

A través del registro de aparatos eléctricos y electrónicos del Ministerio de Industria, Energía y Turismo (MINETUR) se dispone de los datos de AEE puestos en el mercado desagregados según las categorías contempladas en la Directiva de RAEE del 2002, los cuales nos pueden dar una ligera idea de qué tipo de RAEE se generan en mayores cantidades. En el Gráfico 6.1 se representa la evolución de las cantidades AEE puestas en mercado des de 2007 hasta 2015. En el anexo, en la Tabla 18.1 Tn RAEE recogidos

Tabla 18.2 encontrarán una tabla donde se recogen las cantidades puestas en mercado en Kg/hab/año.

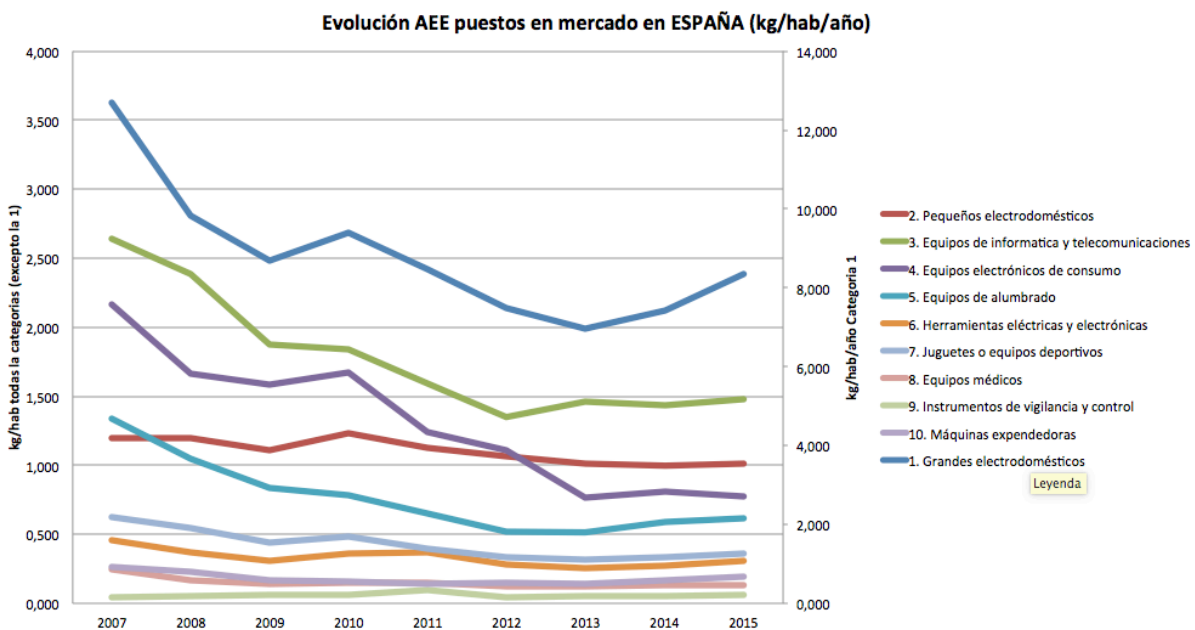


Gráfico 6.1: Evolución de los AEE puestos en mercado en España (2007-2015)

Elaboración propia. Fuente: MINETUR (*4)

Al analizar el Gráfico 6.1 vemos que entre 2007 y 2013 la tendencia de AEE puestos en el mercado ha sido decreciente, pero a partir de 2014 en adelante vuelven a incrementar o se

mantienen. Este comportamiento en gran parte de atribuye a la crisis económica. Los kg de puestos en el mercado de grandes electrodomésticos, categoría 1, representan la mayor cantidad, con un valor muy superior al resto, por ese motivo se representan en el eje vertical derecho.

En la Tabla 6.1 se recoge el porcentaje que de AEE puestos en el mercado de cada categoría respecto el total de AEE puestos en el mercado.

Tabla 6.1: Porcentajes de categorías de AEE puestos en mercado en España

Categorías de AEE puesto en el mercado	Porcentaje (%)
1. Grandes electrodomésticos	59,3%
2. Pequeños electrodomésticos	7,6%
3. Equipos de informática y telecomunicaciones	11,9%
4. Equipos electrónicos de consumo	8,6%
5. Equipos de alumbrado	5,0%
6. Herramientas eléctricas y electrónicas	2,2%
7. Juguetes o equipos deportivos	2,8%
8. Equipos médicos	1,0%
9. Instrumentos de vigilancia y control	0,4%
10. Máquinas expendedoras	1,2%

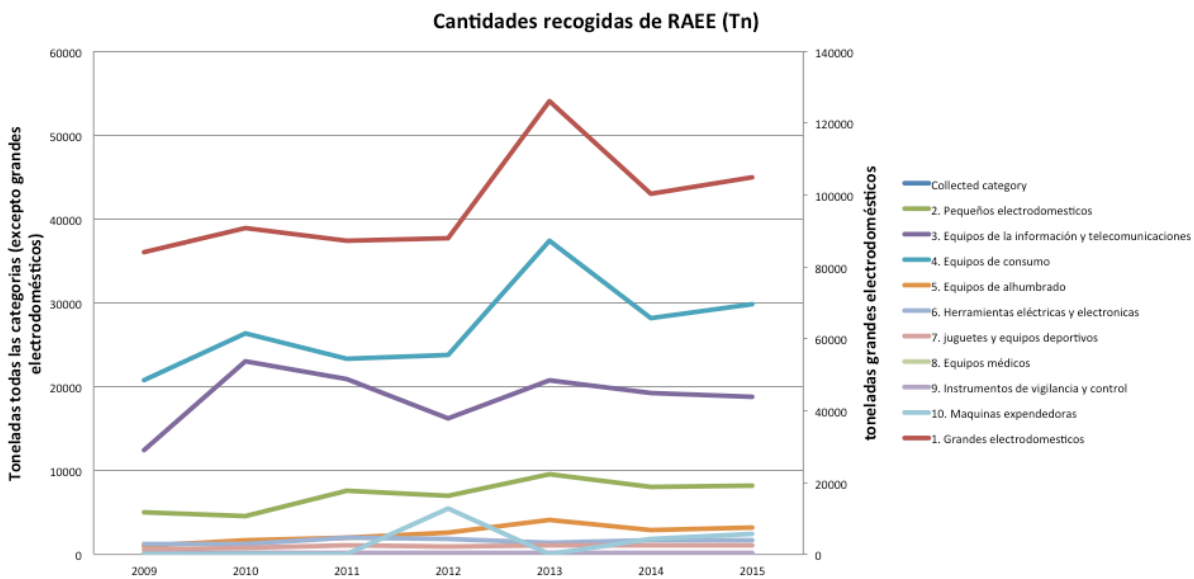
Elaboración propia. Fuente: MINETUR (*4)

La fracción más importante en peso son los grandes electrodomésticos con un 60% aproximadamente. La siguiente categoría más importante es la de equipos de informática y telecomunicaciones con un 12% aproximadamente, a las que le siguen los pequeños electrodomésticos y equipos electrónicos de consumo sucesivamente. Es importante prestar atención a estos datos, ya que cierto es que la categoría 1, en peso es la más importante, sin embargo las unidades puestas en mercado de la categoría 3 es muy superior. También se debe tener en cuenta que los AEE de categoría 3 se renuevan con mayor frecuencia, por lo tanto se convierten en residuo en un periodo de tiempo menor que los aparatos de categoría 1.

6.2 Recogida

Respecto a los datos de recogida de RAEE en España solo se han encontrado disponibles en el sistema estadístico Europeo (EUROSTAT), desde el año 2007 hasta el 2013. Para completar la serie de datos hasta 2015, se ha hecho una estimación basada en el promedio de las toneladas recogidas de cada categoría en los últimos tres años, y se han dividido entre la población de España en el año objeto de estudio, y multiplicado por mil para obtener los kg/hab año. En el anejo, en la Tabla 18.2 encontrarán las cantidades recogidas entre 2009 y 2015 desagregadas por categorías, donde las cantidades están expresadas en toneladas.

En el Gráfico 6.2 se presentan las cantidades recogidas de las diferentes categorías de RAEE, en España.

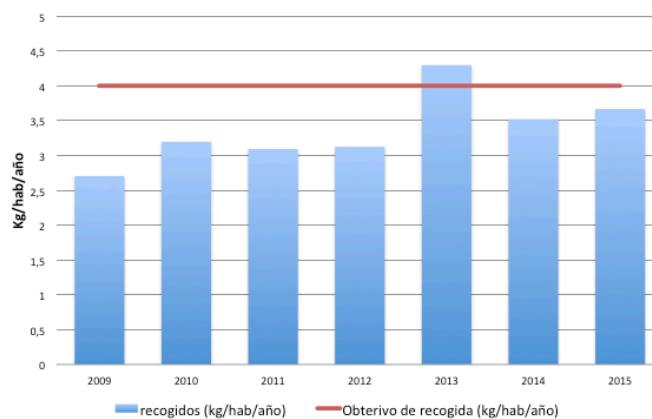


Elaboración propia, Fuente: EUROSTAT(*5)
Gráfico 6.2: Cantidad de RAEE recogidos en España

Analizando la tendencia del Gráfico 6.2, podemos observar con claridad que la categoría de la que se recoge mayor cantidad de toneladas es la categoría 1, grandes electrodomésticos, seguido de la categoría 4, equipos de consumo, y equipos de categoría 3, equipos de la información y telecomunicaciones. A estas categorías les siguen la de pequeños electrodomésticos y finalmente con valores más bajos y muy similares entre ellos, se encuentran el resto de categorías. Por lo tanto podemos confirmar, en cierta medida, que existe un relación entre los Kg puestos en el mercado de una categoría y la cantidad de RAEE generados de esa misma categoría. Un ejemplo de ellos es que la categoría 1, es de la que más Kg se recogen, pero también es de la que más kg se ponen en el mercado, sin embargo la categoría 3 es la tercera más importante en cuanto a recogida, pero la segunda en puestos en mercado. Este fenómeno se puede explicar por la tendencia que tienen los usuarios a conservar equipos tipo teléfonos u ordenadores, que aun y estar obsoletos y fuera de uso, por su tamaño reducido no generan molestias y suelen acumularse en los domicilios.

España en año 2015 debía lograr el objetivo de recogida doméstica de 4 kg/hab/año, pero tal y como se muestra en el Gráfico 6.3 los objetivos no se han alcanzado.

Gráfico 6.3: Cantidades recogidas frente objetivos de recogida
Recogida doméstica de RAEE



Elaboración propia Fuente: EUROSTAT(*5)

Según las estimaciones realizadas, España se ha quedado alrededor de los 3,6-3,7 kg/hab/año. Para lograr el objetivo de recogida de 4 kg/hab año, teniendo en cuenta que la población de España en el año 2015 era de 46.449.565 habitantes, se deberían haber recogido cerca de 186.000 toneladas de RAEE, sin embargo se recogieron alrededor de 170.000 toneladas.

Como aspecto positivo, se puede destacar, que aun no cumpliendo con los objetivos, la tendencia de recogida de RAEE va en aumento, incluso durante la época de crisis económica, en la que el número de exportaciones ilegales, de este tipo de residuos, ha sido importante. Estos resultados son una evidencia de que los sistemas integrales de gestión (SIG) cada vez son más efectivos. Gran parte de este progreso tiene su origen en los estrictos objetivos fijados por la comisión Europea.

7 Situación en Catalunya

Para Catalunya no se han encontrado las cantidades puestas en mercado, de modo que se han estimado a partir de los datos de España. Para hacer la estimación se han dividido los Kg de AEE puestos en el mercado en España en cada año de los que se disponen datos, entre la población de España en el año correspondiente. De este modo se obtienen los Kg/hab/año. Estas cantidades se multiplican por la población de Catalunya en el año correspondiente y se obtiene la cantidad de cada categoría puesta en el mercado en la Comunidad Autónoma. En el anexo, en la Tabla 18.3 se presentan los datos estimados para Catalunya.

Se ha considerado oportuno mostrar la evolución de las cantidades (Tn) de AEE de categoría 3, ya que será la categoría objeto de estudio, puestos en mercado entre 2009 y 2015 respecto las cantidades recogidas de esta misma categoría en el mismo periodo de tiempo. Los datos de recogida, solo disponibles entre el año 2009 y 2013 en España, se han obtenido de EUROSTAT, por este motivo se han hecho estimaciones para 2014 y 2015, siguiendo la misma metodología del promedio de los 3 años anteriores y se ha realizado la estimación para Catalunya, siguiendo el mismo procedimiento que para los puestos en mercado. A continuación se presenta que recoge los datos representados en el Gráfico 7.1. La Tabla 7.1 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y el Gráfico 7.1, muestran la evolución de los AEE puestos en el mercado frente a los RAEE recogidos, en Catalunya, para la categoría 3.

Tabla 7.1 AEE puestos en mercado y RAEE recogidos (categoría 3)en Catalunya

Año	Puestos en mercado (tn)	Recogida doméstica (tn)	Recogida doméstica (Kg/hab/año)
2009	14.032	2.009	2,7
2010	13.796	3.728	3,2
2011	12.031	3.372	3,1
2012	10.217	2.624	3,0
2013	11.035	3.356	4,3
2014	10.813	3.118	3,5
2015	11.112	3.032	3,6

Elaboración propia, Fuente: EUROSTAT^(*5) y MINETUR^(*4)

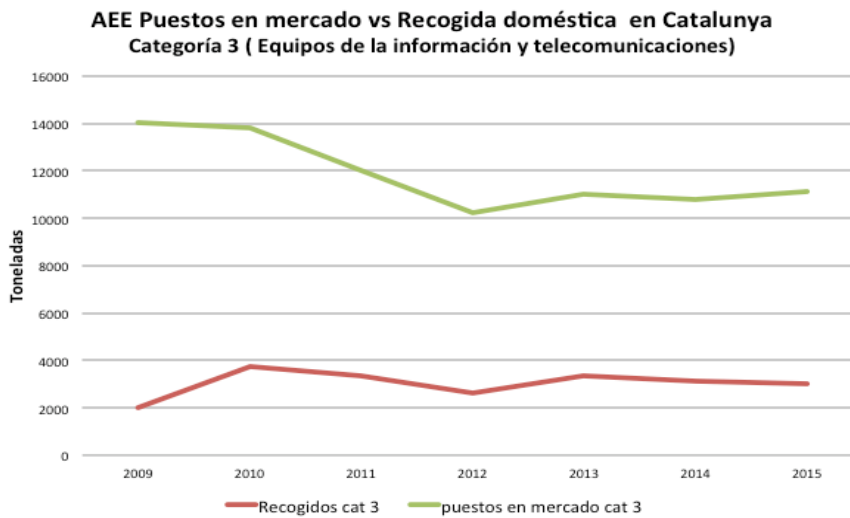


Gráfico 7.1: Evolución AEE puestos en mercado frente RAEE recogidos

Elaboración propia, Fuente: EUROSTAT y MINETUR

En cuanto a los AEE puestos en mercado, como ya se ha comentado antes, la cantidad ha disminuido mucho durante la época de crisis, pero la tendencia es que va a volver a aumentar, pero no de forma tan pronunciada puesto que con las nuevas regulaciones en materia de RAEE y con el sistema de responsabilidad del productor, lo que se pretende es intentar que se diseñe para alargar la vida útil y así conseguir una desaceleración en el consumo de este tipo de aparatos. Respecto a la recogida, durante la época de crisis, se vio afectada por todo el impacto asociado al tráfico ilegal de este tipo de residuos, de todos modos, con los sistemas integrales de gestión y con las crecientes exigencias de la Comisión Europea en materia de recogida de RAEE, es de esperar que la recogida aumente.

8 Clasificación y caracterización propuestas

La idea del trabajo es diseñar un proceso de recuperación de materias primas secundarias de RAEE de categoría 3 y para ello es muy importante conocer qué tipo de equipos se consideran dentro de esta categoría, y cuáles de ellos se van a tratar en la planta diseñada. Otro factor, igual o más importante, es conocer la caracterización detallada de los AEE, ya que junto a las tasas de recuperación del proceso, nos permitirá conocer que cantidad de cada material se puede obtener.

Dentro de la categoría 3 figuran los siguientes AEE:

Procesamiento de datos centralizado: Grandes ordenadores, miniordenadores, unidades de impresión, sistemas informáticos personales: ordenadores personales sin monitor (incluidos unidad central, ratón y teclado), ordenadores portátiles (incluidos unidad central, ratón, pantalla y teclado), ordenadores portátiles de tipo «notebook», impresoras, copiadoras, máquinas de escribir eléctricas y electrónicas, calculadoras de mesa y de bolsillo y otros productos y aparatos para la recogida, almacenamiento, procesamiento, presentación o comunicación de información de manera electrónica.

Sistemas y terminales de usuario: Terminales de fax, terminales de télex, teléfonos, teléfonos públicos, teléfonos inalámbricos, teléfonos móviles, contestadores automáticos y otros productos o aparatos de transmisión de sonido, imágenes u otra información por

telecomunicación, otros posibles equipos de informática y telecomunicaciones y ordenadores portátiles de tipo «tableta»(notepad).

En este trabajo sólo se tendrán en cuenta aquellos aparatos de categoría 3 que están bien definidos y de los cuales se conoce su caracterización. Sin embargo existen ciertos aparatos de esta categoría, de los que no se conoce su caracterización, pero como alternativa se plantea, siempre que sea posible, agrupar aquellos aparatos que no tienen caracterización detallada con los que si la disponen, bajo un criterio de semejanza en tamaño, peso y función.

En la Tabla 8.1 se muestra como se han hecho las agrupaciones, teniendo en cuenta los criterios mencionados previamente. Como se puede observar hay algún tipo de AEE que quedan excluidos de las categorías que se plantean en el trabajo, eso es debido a la falta de una caracterización y al bajo nivel de semejanza con otros AEE que si la tienen, los casos concretos son: máquinas de escribir, calculadoras, contestadores automáticos, teléfonos públicos y terminales télex.

Por otro lado, también quedan excluidos los equipos nombrados como:

- otros productos o aparatos de transmisión de sonido, imágenes u otra información por telecomunicación, otros posibles equipos de informática y telecomunicaciones; y
- otros productos y aparatos para la recogida, almacenamiento, procesamiento, presentación o comunicación de información de manera electrónica.

El motivo su exclusión es que al no estar definidos de manera concreta que tipos de AEEs se comprenden, se hace imposible conocer la caracterización para estimar que cantidad potencial de materias primas que se podrían recuperar.

La Tabla 8.2, muestra la caracterización de los aparatos de categoría 3 que van a ser objeto de estudio en este trabajo. Por lo tanto la presente caracterización será la que se tendrá en cuenta para todos los aparatos agrupados en las diferentes subcategorías propuestas. La tabla proporciona información sobre el peso de los RAEE, en el caso de las agrupaciones de más de un RAEE, por falta de caracterización, se hace una media del peso, expresada en kg. Se presenta de manera explícita el porcentaje en peso respecto el total de los siguientes materiales: férricos, aluminio, cobre, plástico y otros, y finalmente el contenido de metales preciosos en ppm, que representa el contenido de estos metales en conectores, contactos etc, pero sin tener en cuenta el contenido en los circuitos impresos.

El contenido de otros se desglosa en la Tabla 8.3, donde figura el % en peso de los componentes que incluyen los RAEE objeto de estudio. Los componentes considerados son la batería, el cable, los circuitos impresos, los cartuchos y tóner), y otros materiales entre los que se consideran vidrios y otras sustancias

En la tabla Tabla 8.4 se presenta las caracterizaciones de las tarjetas de circuitos impresos de los RAEE objeto de estudio. En este caso la tabla, presenta la composición detallada de metales comunes (Al, Cu, Fe, Pb, Sn, Zn), metales preciosos (Au, Ag y Pd) y metales menos comunes (Ba, Bi, Co, Ca, Sr, Ta). Sin embargo en este trabajo se emplearan como datos las concentraciones de cobre y la de metales preciosos (Au, Ag y Pd), por su elevado valor en el mercado y por su alta concentración en estos componentes.

Cabe destacar que esta caracterización juega un papel muy importante en el trabajo ya que influye y determina directamente sobre la cantidad de materiales que se pueden recuperar.

La fuente de datos empleada en la Tabla 8.2, es una de las caracterizaciones disponibles más recientes del trabajo *Collect more and treat better*[13]. Se ha considerado oportuno escoger la fuente reciente por el constante cambio de composición de los AEE con el paso de los años. Sin embargo de esta fuente no se ha podido obtener toda la información como el porcentaje de cables, el porcentaje de circuitos impresos o el de baterías y cartuchos de impresoras, todos ellos considerados dentro de la categoría otros.

Los porcentajes de los circuitos impresos y baterías, que figuran en la Tabla 8.3 se han extraído del trabajo *Preliminary categorization of WEEE (2011)* [14]. El peso aproximado del cartucho se ha extraído de la casa comercial H. Packard , y se ha presentado la media de los pesos más característicos. Finalmente no se ha encontrado información referente al contenido en cables, sin embargo en el trabajo de *How are WEEE doing (2011)* [12], del cual se extrae el Gráfico 4.1 se menciona que el contenido medio de cables en los RAEE es del 2%.

La caracterización de los circuitos impresos que figuran en la Tabla 8.4, se ha extraído del trabajo *Waste Management 31 (2011)*[14], pero en el caso del teclado y ratón los datos de metales preciosos se han obtenido del estudio *Substance flow analysis of the recycling of small WEEE* [15]

Todas la casillas de las tablas mencionadas, que contienen ND, significa que no hay datos disponibles.

Tabla 8.1: Clasificación en función de la caracterización disponible

AAE Categoría 3 : equipos de informática y telecomunicaciones (excluyendo 4.1 monitores, pantallas y Tv)	AEE de categoría 3 de los cuales hay una caracterización	Agrupaciones propuesta y AEE que los componen		AEE de categoría 3 que quedan excluidos de las agrupaciones propuestas
		Agrupación en Subcategorías	AEE	
<p><u>Procesamiento de datos centralizado:</u> Grandes ordenadores, miniordenadores, unidades de impresión, sistemas informáticos personales: ordenadores personales sin monitor (incluidos unidad central, ratón y teclado), ordenadores portátiles (incluidos unidad central, ratón, pantalla y teclado), ordenadores portátiles de tipo «notebook», impresoras, copiadoras, máquinas de escribir eléctricas y electrónicas, calculadoras de mesa y de bolsillo y otros productos y aparatos para la recogida, almacenamiento, procesamiento, presentación o comunicación de información de manera electrónica.</p> <p><u>Sistemas y terminales de usuario:</u> Terminales de fax, terminales de télex, teléfonos, teléfonos públicos, teléfonos inalámbricos, teléfonos móviles, contestadores automáticos y otros productos o aparatos de transmisión de sonido, imágenes u otra información por telecomunicación, otros posibles equipos de informática y telecomunicaciones y ordenadores portátiles de tipo «tableta».</p>	Ordenador personal de mesa	Ordenador de escritorio	-Grandes ordenadores -Ordenadores personal sin monitor	-Máquinas de escribir eléctricas y electrónicas -Calculadoras de mesa y de bolsillo -Otros productos y aparatos para la recogida, almacenamiento, procesamiento, presentación o comunicación de información de manera electrónica -Terminales télex -Contestadores automáticos. -Teléfonos públicos - Otros productos o aparatos de transmisión de sonido, imágenes u otra información por telecomunicación, otros posibles equipos de informática y telecomunicaciones
	Ordenador portátil	Ordenador portátil	-Ordenadores portátiles -Ordenadores portátiles tipo notebook -Miniordenadores	
	Teléfono móvil	Teléfono móvil y tableta	-Teléfonos móviles -Ordenadores portátiles tipo tableta (notepad)	
	Teléfonos	Otros teléfonos	-Teléfonos -Teléfonos inalámbricos	
	Impresoras	Impresora	-Impresoras -Copiadoras -Unidades de impresión	
	Fax	Fax	-Terminales Fax	

Elaboración propia

Tabla 8.2: Caracterización RAEE objeto de estudio

		Peso (kg/ud)	Metales comunes (%)			Plástico (%)	Total (otros %)	Metales preciosos (ppm) (NO PCB)		
			Fe	Cu	Al			Plata (Ag)	Oro (Au)	Paladio (Pd)
Ordenador de escritorio	Ratón	0,1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Unidad central teclado	8,8	70,1	3,5	6,2	15,8	4,4	ND	29	10
		0,8	7,4	4,3	0,1	86,9	1,3	3,6	0,4	0,9
Ordenador portátil		3,2	19,5	1	2,4	25,8	51,3	ND	151	86
Impresora		10,3	35,5	3,2	0,2	45,8	15,3	ND	52	2,8
Teléfono móvil y tableta		0,1	1,3	10,2	0,5	37,7	50,3	ND	1151	455
Otros teléfonos		0,5	1,9	7,4	0,8	57,3	35	ND	302,4	ND
Fax		5	33,3	1,7	6,1	49,1	19,8	ND	52	2,8

Elaboración propia. Fuente:
Feng Wang / Collect more treatbetter (2013).[13]

Tabla 8.3 Porcentaje en peso de los componentes

		Total otros (%)	Desglose otros % (COMPONENTES)				
			(b)	Cartuchos	Baterías (a)	Circuitos impresos (a)	Cable (c)
Ordenador de escritorio	Ratón	ND	ND	ND	8,2	2	ND
	Unidad central teclado	4,4	ND	ND	4,4	ND	0
		1,3	ND	ND	1,3	ND	0
Ordenador portátil		51,3	ND	14,4	13,7	2	21,2
Impresora		15,3	0,7	ND	7,4	2	5,2
Telefono móvil y tableta		50,3	ND	20	30,3	2	0
Otros telefonos		35	ND	20	12,6	2	0,4
fax		19,8	0,7	ND	12,2	2	4,9

Elaboración propia. Fuente:
a) Preliminary categorization of RAEE (2011)[14]
b)Feng Wang / Collect more treatbetter(2013).[13]
c) How are WEEE doing (2011)[12]

Tabla 8.4 Caracterización de las placas de circuitos impresos

AAE de categoría 3 Peso medio (kg)		Metales comunes: Contenido de metales en las placas de circuitos impresos (mg/kg)						Metales preciosos: Contenido de metales en las placas de circuitos impresos (mg/kg)			Metales poco comunes					
		Al	Cu	Fe	Pb	Sn	Zn	Ag	Au	Pd	Ba	Bi	Co	Ga	Sr	Ta
Ordenador de mesa	Ratón (b)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	700	70	30	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	U. Central (a)	18	200	13	23	18	2700	570	240	150	1900	50	48	11	380	7
	Teclado (b)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	700	70	30	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ordenador portátil (a)		18	190	37	9800	16	16	1100	630	200	5600	120	80	10	380	5800
Impresora (a)		180	140	17	10	16	4200	70	38	21	3000	9	39	3	170	ND
Teléfono (a)		67	96	150	19	34	8600	2400	50	241	4700	400	100	ND	300	ND
Teléfono móvil (a)		15	330	18	13	35	5000	3800	1500	300	19	440	280	140	430	2600
Fax (a)		37	120	11	19	7400	7700	69	35	110	4300	ND	420	ND	95	ND

Elaboración propia. Fuente:
(a) M. Oguchi et al. / Waste Management 31 (2011)[14]
(b) Substance flow analysis of the recycling of small WEEE (2010)[15]

9 Regulaciones aplicadas al proceso de tratamiento

Por los motivos mencionados a lo largo del trabajo, a nivel global, se ha establecido la necesidad de someter los RAEE a procesos de tratamiento, para fomentar la reparación y reutilización de aquellos aparatos y componentes que todavía son funcionales, la recuperación de aquellos materiales escasos y/o valiosos a través de su reciclaje mejorando la eficiencia en el uso de los recursos, y la minimización de la contaminación ambiental.

En este capítulo se pretenden explicar que aspectos referentes al proceso de tratamiento de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos se regulan bajo el Real Decreto de RAEE de 2015.

En cuanto a la preparación para la reutilización, tal y como se ha comentado en el capítulo 3, a nivel Europeo se han fijado unos objetivos para fomentar la preparación para la reutilización de equipos que todavía son útiles. Cabe destacar que tal como se establece la en el Real Decreto de 2015, la preparación para la reutilización se llevará a cabo en las etapas más próximas a la recogida inicial, por parte de gestores autorizados según los requisitos previstos en el anexo IX del mismo Real Decreto. De modo que se entiende que la evaluación de los equipos se lleva a cabo en la instalación de recogida.

Para evaluar qué equipos pueden ser reutilizados o preparados para la reutilización, existen unos criterios marcados en el anexo IX del Real Decreto de 2015.

- a) carcasas incompletas
- b) ausencia de componentes esenciales
- c) aparatos en deficientes condiciones generales
- d) aparatos muy oxidados y con numerosos daños superficiales

Si durante la inspección visual de los RAEE, alguno de los aparatos no cumple con ninguno de los criterios mencionados anteriormente, se deben separar del resto de RAEE y enviar a centros de preparación para la reutilización. Se aconseja que previamente al envío se compruebe el funcionamiento eléctrico de los aparatos.

En el anexo VIII del Real Decreto de 2015, donde se muestra la relación entre las categorías de RAEE, las fracciones de recogida, los grupos de tratamiento y los códigos LER-RAEE asociados. Esta relación nos da información sobre las sustancias y componentes peligrosos y tóxicos de los RAEE, de modo que nos permite identificar a partir de un código las especificidades de tratamiento de los RAEE.

En el anexo XIII del Real Decreto de 2015 existen diversas partes donde se mencionan los aspectos a tener en cuenta en las instalaciones y el proceso tratamiento de RAEE:

- Parte A. Requisitos generales comunes a todas las instalaciones
- Parte B. Requisitos operacionales comunes a todos los procedimientos de tratamiento de RAEE: condiciones de entrada, almacenamiento previo al tratamiento, y retirada y tratamiento de componentes, sustancias y mezclas.
- Parte C. Separación de fracciones y su destino.
- Parte D. Información: registro de peso de las fracciones resultantes
- Parte E. Comprobación de los requisitos básicos de la instalación de tratamiento.
- Parte F. Aspectos del balance de masas
- Parte G. Procedimientos específicos para el tratamiento de RAEE por tipos de aparato.

En el anejo XIII del Real Decreto de 2015, podrán consultar toda la información contenida en los apartados mencionados anteriormente.

En este capítulo se pone especial atención al apartado G, ya que establece los procedimientos específicos a seguir en función del grupo de tratamiento, que viene determinado por la fracción de recogida. En este trabajo los grupos de tratamiento que interesan son el 41, 42 (fracción de recogida 4) y 61 (fracción de recogida 6), que engloban todos los equipos objeto de estudio. Para estos grupos de tratamiento el procedimiento en la etapa de pre-proceso, consta de 3 fases, las cuales se tendrán en cuenta en proceso de tratamiento que se plantea más adelante.

Fase 0. Recepción de los aparatos y desmontaje previo.

Fase 1. Extracción de los componentes, sustancias y mezclas.

Fase 2. Separación del resto de fracciones.

Fase 0: Recepción de los aparatos y desmontaje previo.

- Se debe cumplir con los requisitos del apartado a) y b) de la parte B del anexo XIII

a) Requisitos a la entrada de las instalaciones: comprobación visual de los RAEE y correspondencia con la documentación que acompaña el residuos, agrupación por códigos LER-RAEE, operación de pesado, e incorporación de los datos en el archivo cronológico de la instalación y en la plataforma electrónica de gestión de RAEE.

b) Almacenamiento previo al tratamiento: Se indican las condiciones de aislamiento e impermeabilidad que deben alcanzar los contenedores que almacenan los RAEE, y se establece que las cantidades almacenadas deben cumplir con la cantidad indicada en la autorización de la instalación. También se menciona que los *stocks* y residuos almacenados deben ser registrados anualmente y tenerse en cuenta en el balance de masas de la instalación.

- Desmontaje de piezas o componentes que puedan prepararse para la reutilización, desensamblaje de piezas sueltas, en función de la información disponible de los productores de AEE.

Fase 1: Extracción de los componentes, sustancias y mezclas.

Durante esta fase se extraen, como mínimo, los componentes, sustancias y mezclas enumerados en el apartado c) de la parte B del anejo XIII.

c) Retirada y tratamiento de componentes, sustancias y mezclas : condensadores que contengan policlorobifenilos (PCB), componentes o RAEE que contengan mercurio, pilas y acumuladores, baterías, tarjetas de circuitos impresos, cartuchos de tóner, plásticos que contengan materiales pirorretardantes bromados, componentes que contengan amianto, clorofluorocarburos (CFC), hidroclorofluorocarburos (HCFC), hidrofluorocarburos (HFC), hidrocarburos (HC) y amoníaco (NH₃). También se deben retirar los tubos de rayos catódicos, lámparas de descarga de gas, pantallas de cristal líquido, cables eléctricos y componentes que contengan fibras cerámicas refractarias.

No se permite la separación mecánica de estos componentes, sustancias o mezclas, si ello conlleva el riesgo de liberación de sustancias peligrosas o contaminación del resto del RAEE. En estos casos, se recomienda la extracción manual.

Fase 2. Separación del resto de fracciones.

Durante esta fase, se separarán las fracciones valorizables aplicando procesos mecánicos. Todas las fracciones valorizables se deben separar debidamente a fin de facilitar el proceso de valorización que se lleve a cabo a cada uno de los materiales recuperados.

10 Etapas del proceso de tratamiento de RAEE: Recogida, pre-proceso y fin de proceso

Existen diversos procesos y tecnologías empleadas para en el reciclaje de RAEE. Generalmente las operaciones del pre-proceso, una vez el flujo de residuos ha llegado al destino de tratamiento, suelen seguir el mismo proceso empleando tecnologías comunes, sin embargo las últimas etapas de proceso, fin de proceso, requieren mayor sofisticación ya que están relacionadas con la recuperación y refinado de los metales. Destacar que esta etapa de fin de proceso suele variar dependiendo de la instalación y el material a tratar.

Cuando se habla del reciclaje de RAEE, se pueden distinguir 3 etapas generales[16], la recogida, el pre-proceso y el fin de proceso. Las fases mencionadas anteriormente en capítulo 10 sobre las que se regula en el Real Decreto, se encuentran dentro de la etapa del pre-proceso, sin embargo cabe destacar que el Real Decreto de RAEE no regula directamente sobre el proceso de tratamiento mecánico.

10.1 La recogida

La recogida se fomenta a través de políticas y regulaciones, concienciación de la sociedad y la instalación de puntos de recogida separativa en lugares públicos. Los RAEE son clasificados y agrupados, en función de las fracciones, en la instalación de recogida para su posterior traslado a la instalación de tratamiento.

10.2 El pre-proceso

Es uno de los puntos más importantes en el reciclaje, en la Figura 11.1 muestra los diferentes pasos que se llevan a cabo en esta etapa.

Los RAEE una vez llegan a la instalación de tratamiento son sometidos a un análisis visual para identificar y separar aquellos que no se pueden tratar en la instalación, el resto sufren un proceso de desmontaje manual donde se separan los componentes y sustancias peligrosas y/o tóxicas, y los componentes y piezas con un elevado potencial de valorización, para posteriormente ser sometidos a un tratamiento especializado, es decir, se separan todos los componentes, materiales y sustancias mencionadas en el apartado c) de la parte B del anejo XIII del Real Decreto de RAEE de 2015.

Se considera importante mencionar que en algunos casos al inicio del pre-proceso, antes de realizar la descontaminación los RAEE, estos pueden ser sometidos a un proceso de desmontaje mecánico, que tiene por objetivo romper las carcasas de los RAEE para de este modo agilizar el proceso manual de extracción de componentes valiosos y sustancias peligrosas. En los casos en que se lleva a cabo esta técnica, existe el riesgo de que se liberen sustancias peligrosas que puedan contaminar al resto del flujo, es por este motivo que cuando existe este riesgo se da prioridad al proceso manual de desmontaje y descontaminación. Por otra parte también se debe destacar que en el proceso de desmontaje mecánico se pueden fragmentar los circuitos impresos, situación no deseada cuando el objetivo es recuperar el máximo de metales preciosos contenidos en estos y con la mayor concentración. El hecho de que se fragmenten los circuitos impresos por lo general implica pérdida de metales preciosos

en corrientes de las que no se pueden volver a recuperar, generalmente las corrientes más abundantes como las de plástico y hierro[17]. Por lo tanto se debe priorizar el desmontaje y descontaminación manual, sobre todo cuando se trata de equipos pequeños con elevada concentración de materiales valorizables. Sin embargo el elevado consumo de tiempo del proceso manual sugiere que equipos de gran volumen, con grandes carcasas, donde el riesgo de liberación de sustancias peligrosas y fragmentación de circuitos impresos es menor, puedan someterse al proceso mecanizado ya que la ruptura es muy superficial y la mayoría de componentes internos se separan entre ellos sin sufrir grandes desperfectos.

El resto del flujo sufre un proceso de triturado para conseguir reducir el tamaño y de este modo facilitar el resto de operaciones que vienen a continuación. Cabe destacar que a veces previamente al proceso de triturado se puede optar por un proceso de pre-triturado, sin embargo cuando el proceso de desmontaje es mecánico, o cuando los equipos a tratar son de tamaño reducido, con una sola etapa de triturado puede ser suficiente. Las piezas de tamaño más reducido obtenidas a la salida del triturador reciben el nombre de *scrap*s. A continuación, se realiza un proceso de separación mecánica de *scrap*s con alto contenido en metales férricos, típicamente a través de separadores magnéticos, y posteriormente se realiza otro proceso de separación con separadores de corriente de Eddy o Foucault. Para lograr una mayor separación y clasificación de los *scrap*s, la corriente de metales no férricos y la corriente de no metales se introducen en un equipo de separación densimétrica que permite una segregación más afinada de los distintos metales y no metales.



Figura 10.1 Pre-proceso del tratamiento de RAEE. Fuente: Elaboración propia

10.3 Fin de proceso

Los *scraps* metálicos y componentes con elevado potencial de valorización, principalmente las tarjetas de circuitos impresos, se someten a un tratamiento adicional que consiste en la aplicación de tecnologías propias de la industria metalúrgica, principalmente técnicas pirometalúrgicas, hidrometalúrgicas, electrometalúrgicas y biometalúrgicas con el objetivo de poder recuperar y refinar los metales para que puedan volver a ser utilizados.

Los procesos más empleados son los hidrometalúrgicos y pirometalúrgicos para el reciclaje y recuperación de metales procedentes de RAEE, sin embargo estos procesos suelen combinarse con procesos electrometalúrgicos/electroquímicos para la separación y recuperación de determinados metales. A día de hoy la biometalúrgia es una técnica muy reciente y todavía no se conoce con exactitud los rendimientos.

A continuación se ha considerado oportuno hacer una breve descripción de las principales técnicas y procesos empleados para la recuperación de metales procedentes de RAEE.

Hidrometalúrgia

Las técnicas hidrometalúrgicas aplicadas para la extracción de metales de RAEE, se basan en la tecnología tradicional de extracción de metales de sus minerales primarios. Para la disolución selectiva de metales preciosos contenidos en los RAEE, se emplea normalmente la técnica de lixiviación, que consiste en someter los *scraps* a un baño ácido o cáustico para posteriormente separar el precipitado del lixiviado. Por último, los metales a recuperar se pueden extraer a través de la electro-refinería (electrometalurgia) o procesos de reducción química[18]. Una técnica que ofrece buenos resultados es el electrowining que consiste en un conjunto de celdas electrolíticas que permiten obtener el metal objeto de recuperación en estado puro, a través del paso de una corriente eléctrica por el electrólito (lixiviado).

Los disolventes más empleados para lograr la lixiviación de los metales preciosos son el cianuro, tiourea, tiosulfato y agua regia entre otros.[19]. Factores como el pH, la temperatura y la agitación permiten controlar el proceso de lixiviación.

Los procesos hidrometalúrgicos presentan ciertas ventajas en comparación con los procesos pirometalúrgicos. Se considera que los procesos hidrometalúrgicos son más exactos y fáciles de controlar, ofrecen un relativo bajo coste de capital, un menor impacto medio ambiental y altas tasas de recuperación del metal, siendo óptimos para aplicaciones a pequeña escala. Estas características hacen de los procesos hidrometalúrgicos una buena alternativa para la recuperación de metales, sin embargo se debe destacar que generalmente implican un elevado consumo de tiempo.

Pirometalúrgia

Los procesos pirometalúrgicos, incluyendo incineración, fundición en horno de arco eléctrico u altos hornos con formación de escorias y sinterización, han sido las principales técnicas empleadas en la recuperación de metales procedentes de RAEE en las últimas dos décadas.[20]

En la actualidad, el reciclaje de desechos electrónicos está dominado por técnicas pirometalúrgicas[16]. El proceso pirometalúrgico se basa en operaciones básicas que son muy similares a las empleadas con tecnologías hidrometalúrgicas, una operación de liberación, otra de separación y finalmente una de refinado. Sin embargo, en este caso la liberación de metales no se consigue por lixiviación, sino que por fundición a elevadas temperaturas. En los

procesos pirometalúrgicos se emplean equipos como hornos de fundición, hornos de reverbero, altos hornos u hornos ISA smelt, entre otros.

Actualmente los hornos de fundición se emplean como unidad operativa principal en la recuperación de metales procedentes de RAEE, en la vía pirometalúrgica. En el proceso los scraps se introducen en el horno de fundición, y según las propiedades de los metales, estos se agrupan en una de las dos fases que se suelen generar. Por ejemplo, los metales preciosos se segregan en una fase metálica disuelta de cobre o plomo, que posteriormente solidifica, y el resto de metales se agregan con las formas oxidadas formando una escoria.

Como resultado, del horno de fundición se obtiene un lingote, que consiste en una aleación de cobre y otros metales preciosos, y una escoria con elevado contenido en plomo y otros metales, entre ellos los metales especiales. El lingote y la escoria posteriormente son sometidos a un tratamiento adicional para lograr la recuperación y refinado de resto de metales contenidos.

11 Diseño del proceso y planta de tratamiento de RAEE

En el anexo se presenta el diseño de la planta de tratamiento, realizado en AUTOCAD.

Por lo general las plantas de tratamiento de RAEE suelen llevar a cabo la etapa de pre-proceso, ya que el tratamiento final de materiales con potencial de valorización se externalizan. En este caso, el diseño planteado consta de 3 líneas, la 1 y la 2 que son procesos mecánicos de los cuales se obtienen los *scraps* metálicos y otros componentes ricos en metales preciosos, y la línea 3 que a parte de un proceso mecánico incluye un proceso hidrometalúrgico para la recuperación de oro, procedente de los circuitos impresos, en condiciones óptimas para volver a ser utilizados como materias primas secundarias. Los flujos resultantes de la línea 1 y 2 se almacenan para su posterior venta y gestión externalizada por parte de un valorizador o gestor autorizado.

Se considera que el diseño de planta propuesto, gracias a incorporar la línea 3, en cierta medida implica un tratamiento integral, ya que hay una etapa de recepción y clasificación, una etapa de pre-proceso y una última etapa de tratamiento final.

Entre las distintas fases del proceso de tratamiento, como se ha podido percibir, existe un flujo de materiales. Cada fase cuenta con diferentes operaciones, donde la salida de materiales de una, sin contar los que se separan por motivos de peligrosidad o potencial de valorización, es la entrada de la siguiente. En este caso los componentes separados por motivos de potencial de valorización, es decir las placas de circuito impreso y los cables, se almacenan en unos contenedores distinguidos, puesto que también serán la entrada a tener en cuenta para la línea 3. Sin embargo los elementos tóxicos o peligrosos como por ejemplo las baterías, cartuchos de tinta o tóners, se almacenan para su posterior gestión externa.

Antes de empezar con la descripción de cada línea, se hace una pequeña introducción resumida donde se explica en qué consisten.

Línea 1: es la general, la de tratamiento manual y mecánico, conocida como pre-proceso. Por esta línea pasan todos los RAEE a tratar. Consta de 3 fases, la primera de recepción, inspección visual y clasificación, la segunda de desmontaje y descontaminación, y la tercera trituración y separación manual y mecánica. En las figuras recogidas en este capítulo se representa como se lleva a cabo la fase 1 y 2 de la línea 1 teniendo en cuenta las especificidades y características de cada RAEE a tratar.

Línea 2: destinada exclusivamente para el tratamiento de las placas de circuitos impresos extraídos en la Fase 1

Línea 3: Destinada para el tratamiento de los cables extraídos en la Fase 1.

11.1 Línea 1

FASE 0 – Recepción de RAEE, inspección visual y clasificación.

En esta fase del proceso, los camiones que se encargan del transporte de los RAEE desde las instalaciones de recogida hasta el centro de tratamiento llevan a cabo la descarga en una zona específica de la instalación que recibe el nombre de zona de descarga, donde se disponen distintos contenedores. Dicha zona cuenta con una báscula para camiones que permite realizar el pesaje de la partida que llega a la planta de tratamiento. Acto seguido según lo establecido en la Directiva, en esta fase se realiza una inspección visual y clasificación. En este caso la planta de tratamiento está pensada sólo para unos tipo de RAEE concreto, que pertenecen a los grupos de tratamiento 41, 42 y 62, los cuales deben cumplir los mismos requisitos a la hora de ser procesados, de modo que el análisis visual consiste simplemente en una comprobación para verificar que los aparatos que llegan cumplen con las características de admisión del proceso. Todos aquellos RAEE que no cumplen con las características de admisión se depositan en unas jaulas y se guardan en el almacén de gestión externa para devolverlos al centro de recogida del cual proceden.

La instalación cuenta con un espacio específico, anexo a la zona de descarga, donde se dispone de una mesa donde se lleva a cabo la tarea de clasificación. A medida que se van clasificando los RAEE, según el tipo de aparatos, se disponen en sus respectivas jaulas rodadas que facilitan el transporte hacia la zona de almacén. Una vez clasificados y almacenados los diferentes RAEE, se volverá a realizar el pesaje, de modo que se conocerá con certeza la cantidad total de RAEE que entran en la fase de desmontaje y descontaminación, quedando registrado en el archivo cronológico de la instalación.

La clasificación según el tipo de RAEE permite que la planta pueda operar durante franjas horarias con un solo tipo de equipos o varios de composición similar. Para la clasificación se tienen en cuenta las agrupaciones presentadas en la Tabla 8.1, ya que con ello se facilita la tarea de los operarios en la siguiente fase de descontaminación, donde se realiza el desmontaje manual para proceder a la retirada de los componentes con elevado potencial de valorización, y sustancias y materiales tóxicos y peligrosos. Sin embargo, por los motivos que se explicaran a continuación, no todos los grupos siguen el mismo recorrido en el tratamiento, de modo que se pueden agrupar teniendo en cuenta el proceso al que son sometidos.

A la hora de ser tratados, hay RAEE que sufren un proceso de desmontaje mecánico y grupos que siguen un desmontaje manual. También hay RAEE que después del desmontaje pasan por un proceso de pre-triturado + clasificación + triturado, sin embargo hay otros que directamente después del desmontaje pasan al proceso de triturado. Debido a estas especificidades en el proceso se hacen agrupaciones para el tratamiento:

-Unidades centrales Figura 11.4

-Impresoras y terminales fax Figura 11.2

-Teléfonos móviles y tabletas, Ratones y teclados, y Otros teléfonos Figura 11.3

-Ordenadores portátiles Figura 11.1

FASE 1 –Desmontaje y extracción de los componentes, sustancias y mezclas (descontaminación).

En esta fase del proceso se lleva a cabo una operación de desmontaje y separación manual, que precede a la siguiente fase de tratamiento mecánico, fase 2. Cabe mencionar que dependiendo del tipo de RAEE a tratar, el desmontaje puede ser mecánico o manual. Todo ello se visualiza en las figuras incluidas en este capítulo. Una vez desmontados los equipos, ya sea por la vía manual o mecánica se procede a retirar los componentes, sustancias y mezclas peligrosas citadas en el apartado c) de la parte B del anejo XIII del Real Decreto de 2015, también mencionados en el capítulo 10 del presente trabajo, en la mesa de descontaminación y se depositan en contenedores en la zona de almacén de gestión externa, para que los gestores autorizados para su tratamiento los recojan. En el desmontaje manual, primero se retiraran las carcasas de plástico de los equipos y del mismo modo, siempre que sea accesible, se retiraran los cables y las placas de circuitos impresos, por su elevado contenido en metales valiosos. Los circuitos impresos y los cables se almacenan en unos contenedores específicos, para llevar a cabo posteriormente su valorización material in situ. Las baterías de los ordenadores y teléfonos móviles e inalámbricos también se separan.

Estas tareas de desmontaje manual y descontaminación se llevan a cabo por un conjunto de operarios en unas mesas anchas que cuentan con todas las herramientas necesarias para desmontar distintos tipos de equipos. Cuando el desmontaje es mecánico, el flujo de salida se lleva a la mesa de descontaminación para que los operarios puedan proceder a la retirada de componentes y sustancias peligrosas. En este caso, todos los elementos separados, excepto los circuitos impresos y los cables, una vez están en sus respectivos contenedores, se almacenan en una zona específica de la instalación donde los gestores encargados de su gestión tendrán fácil acceso, para proceder a su recogida y posteriormente llevar a cabo el proceso de tratamiento adecuado.

Una vez retirados todos los componentes, sustancias y mezclas peligrosas, se llevara a cabo un pesaje del flujo material que entrara como input a la fase 2 de tratamiento mecánico, del mismo modo también se pesara el contenedor que contiene los cables y el contenedor de las tarjetas de circuitos impresos. Estos datos también se registraran en el en el archivo cronológico de la instalación.

FASE 2 – Trituración, separación manual y separación mecánica

Para explicar esta fase, y entender las especificidades de cada equipo durante el tratamiento es importante consultar la Figura 11.112.1, la Figura 11.212.2, la Figura 11.312.3, la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.12.4** y la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.12.5**, donde se representa el proceso seguido en función del equipo a tratar.

Una vez los RAEE están libres de contaminantes se hacen pasar por una cinta transportadora inclinada que hace llegar el flujo a tratar hasta el pre-triturador que consta de una tolva lo suficientemente ancha para la carga. El proceso de pre-triturado se realiza en seco de modo que se generan grandes cantidades de polvo, es por eso que el equipo de esta conectado a un sistema de extracción y eliminación del polvo, concretamente un filtro de mangas que evita la emisión de material particulado.

A la salida del pre-triturador se obtienen fracciones de distintos materiales que desplazan por una cinta transportadora, cinta de clasificación en la que los operarios separan y clasifican aquellos materiales que pueden identificar fácilmente, y los depositan en sus respectivos

contenedores. Esta cinta conecta con una cinta inclinada que transporta el flujo hacia la tolva del triturador, también conectado a un sistema de extracción y eliminación de polvo. A la salida del triturador se obtienen unas fracciones de tamaño más reducido conocidas con el nombre de *scraps*. Los *scraps* obtenidos principalmente son de metales férricos y no férricos, así como de materiales no metálicos, como plástico o vidrio, y mezclas de los anteriores.

La salida del triturador conecta con la cinta transportadora del equipo separador de metales férricos y no férricos de tipo overband. A medida que el flujo de metales va avanzando por la cinta transportadora, en la parte superior se encuentra otra cinta imantada que permite separar todos los *scraps* con alto contenido en metales férricos, desviándolos directamente a un contenedor que se lleva posteriormente al almacén para su gestión externa.

La cinta transportadora sigue avanzando, ahora con menor proporción en metales férricos, pero siempre quedan pequeñas trazas. Acto seguido la cinta se conecta con un equipo separador de corriente de Eddy o Foucault. Gracias a este equipo podemos separar tres grupos, los restos de *scraps* férricos no separados previamente, los *scraps* de metales no férricos y *scraps* de otros materiales no metálicos, entre los que se encuentran principalmente el plástico y el vidrio.

En el caso de los férricos se juntan con los *scraps* previamente separados, procedentes del separador de férricos y no férricos. Acto seguido los *scraps* de metales no férricos se pasan por una mesa de separación densimétrica donde se separan las fracciones pesadas con alto contenido en cobre, respecto las fracciones ligeras con alto contenido en aluminio, que se almacenan debidamente en sus contenedores correspondientes en la zona de almacén para la gestión externa. La mesa de separación densimétrica también está conectada a un sistema de extracción y eliminación de polvo. Destacar que esta separación de cobre y aluminio puede contener trazas de otros metales, no férricos, tales como metales preciosos o especiales. Lo mismo se realiza con los *scraps* no metálicos, que principalmente se dividen en *scraps* de plástico y otros, como pueden ser fracciones de vidrio, y se depositan en sus correspondientes contenedores y son mandados al almacén para la gestión externa.

Al final de esta fase obtenemos *scraps* de metales férricos, *scraps* de metales no férricos, separados por aluminio y cobre, *scraps* plásticos y otras fracciones. Todos estos materiales serán pesados, almacenados y posteriormente vendidos a un gestor autorizado que se encargara de llevar a cabo su tratamiento final.

Cabe destacar que aun y que la mayor parte de los metales preciosos se concentran en las placas de circuitos impresos extraídas al inicio del proceso, puede ser que hayan trazas de estos y también de metales especiales tanto en los *scraps* de cobre como en los de aluminio, ambos no férricos.

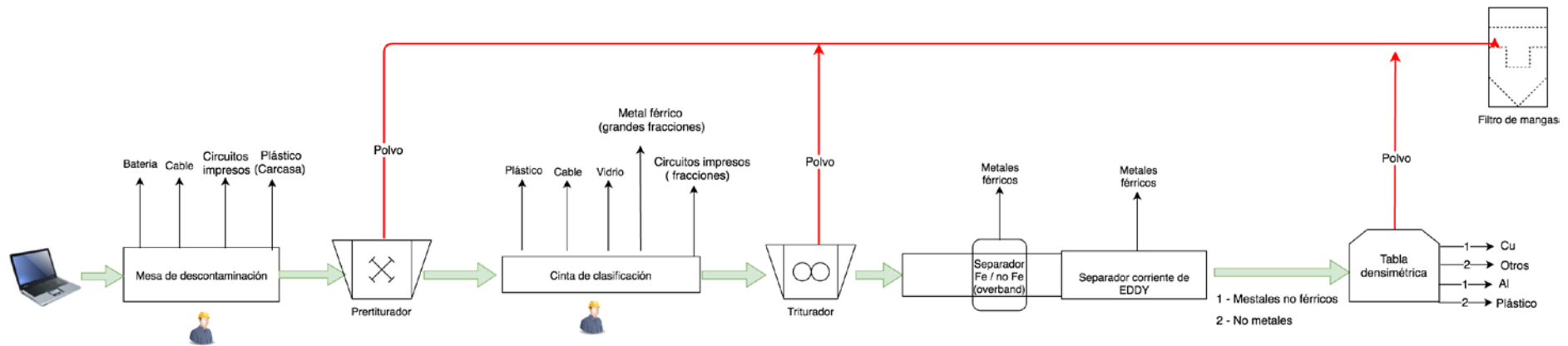


Figura 11.1 Pre-proceso de ordenadores portátiles. Elaboración propia

En cuanto al pre-proceso de los ordenadores portátiles, estos se someten a una descontaminación manual, en la mesa de descontaminación, de cual se extrae la carcasa, para proceder a la retirada de la batería, los circuitos impresos y cables. Una vez el equipo está descontaminado se introduce en el pre-triturador que permite generar fracciones más pequeñas que acaban en la cinta de clasificación, donde diversos operarios se encargan de separar y clasificar las diferentes fracciones, fácilmente identificables que van saliendo (plástico, restos de cable, fragmentos de vidrio, fracciones de metal férrico y posibles fragmentos de circuitos impresos).

Existen casos en que algunos modelos a tratar tienen muy encapsulados algunos componentes y resulta muy difícil extraerlos durante la fase de descontaminación, por este motivo a la salida del pre-triturador, en ocasiones, podemos encontrar algunos de los componentes que se deberían haber retirado previamente. El flujo no separado se introduce en el triturador a través de una cinta inclinada que está conectada en su inicio con la cinta de descontaminación. Del triturador se consiguen obtener los *scraps*, de metales férricos, no férricos y no metálicos. La salida del triturador está conectada con el equipo de separación de metales férricos y no férricos, de modo que cuando el flujo pasa por el separador magnético de tipo overband las fracciones férricas se separan. La siguiente unidad por la que pasa el flujo a tratar es el separador de corriente de EDDY, que permite separar 3 fracciones, restos de metales férricos, no separados en la unidad anterior, metales no férricos (principalmente cobre y aluminio) y no metales (principalmente plástico y fragmentos de otros materiales). Finalmente ambas corrientes entran a distintos tiempos en la mesa de separación densimétrica para lograr por un lado la separación del cobre y aluminio, y por otro lado la separación del plástico, otros materiales como el vidrio).

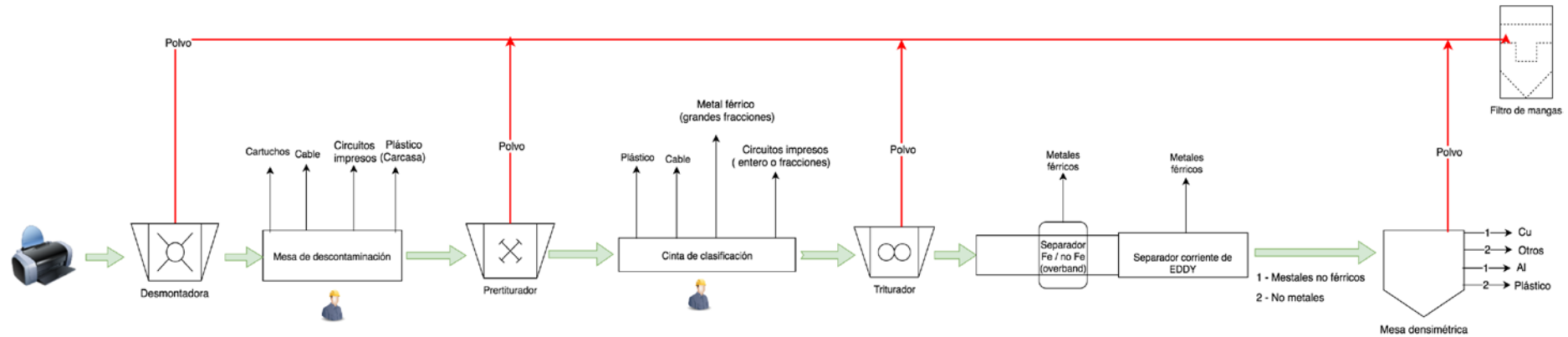


Figura 11.2 Pre-proceso de los terminales fax e impresoras

El pre-proceso de las impresoras (impresoras y terminales fax), al ser equipos más voluminosos y presentar gran superficie de carcasa plástica, se introducen previamente en el desmontador, de este modo se consigue que el proceso de desmontaje sea más rápido que el manual. El desmontador cuando se usa con RAEE grandes permite romper las carcasas y separar la mayoría de los componentes, sin prácticamente riesgos de liberación de sustancias tóxicas o fragmentación de circuitos impresos.

Los diferentes componentes separados son trasladados a la mesa de descontaminación, para que los operarios puedan proceder a la retirada de cartuchos de tinta y tóners, los fragmentos de carcasas, los circuitos impresos y los cables. Acto seguido el flujo a tratar, ya descontaminado, se introduce en el pre-triturador, y a su salida, en la cinta de clasificación, diversos operarios se encargan de la separación y clasificación los diferentes materiales fácilmente identificables como los plásticos y las fracciones férricas de mayor tamaño. A partir de este punto el flujo entra en la unidad de trituración, a través de la cinta transportadora inclinada, sigue el mismo proceso que en el caso del ordenador portátil.

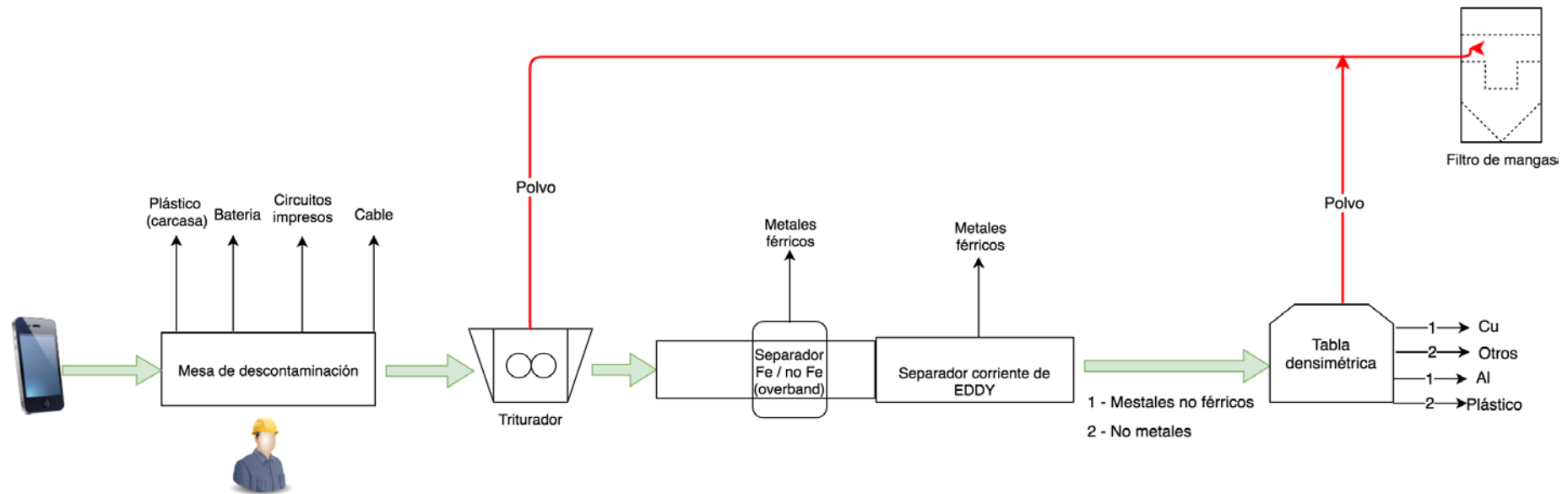


Figura 11.3 Pre-proceso de teléfonos y tabletas

Los teléfonos y tabletas, ratones y teclados, y otros teléfonos son RAEE de tamaño reducido, sin embargo presentan circuitos impresos con elevadas concentraciones de metales preciosos, sobretodo los móviles y tabletas, por este motivo es muy importante que se preste especial atención a la etapa de desmontaje y descontaminación, para poder retirar las carcasas y proceder a la extracción de los circuitos impresos, las baterías y los posibles cables presentes. Este proceso debe ser minucioso puesto que los teléfonos móviles y tabletas, por su reducido tamaño y su exhaustiva descontaminación previa, no pasan por el proceso de pre-triturado ni cinta de clasificación, de modo que todo el proceso que sigue es mecánico. Una vez descontaminados los RAEE de teléfonos móviles y tabletas se hacen pasar por el equipo de trituración, a través de la cinta transportadora inclinada, para obtener fracciones de tamaño más reducido, *scraps*. A partir de este punto el flujo sigue el mismo proceso que el resto de RAEE

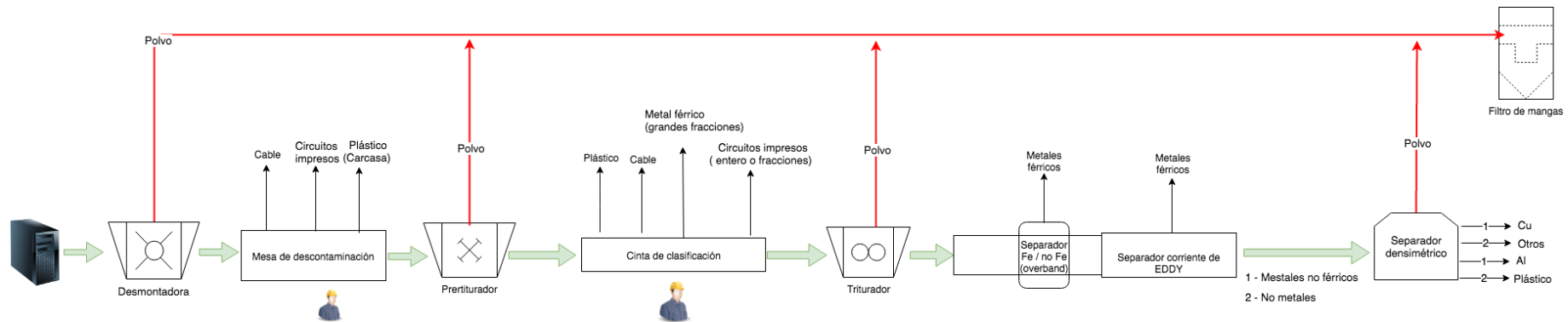


Figura 11.4 Pre-proceso de unidades centrales

En el caso de las unidades centrales, el proceso seguido es prácticamente el mismo que el de las impresoras. Debido a su tamaño se pueden introducir en el desmontador asegurando que no se dañan los componentes interesantes de retirar y se conseguirá un ahorro debido a la ausencia del desmontaje manual. A la salida del desmontador, se pasa por la mesa de descontaminación donde los diferentes componentes y materiales interesantes de separar como los cables y los circuitos impresos se separan manualmente. A continuación el resto del flujo pasa por el proceso de pre-triturado, y el flujo de salida se transporta por la cinta de clasificación, donde se separan y clasifican los diferentes materiales, como los plásticos y grandes fracciones de metales férricos. Acto seguido el flujo resultante entra en la unidad de trituración a través de la cinta transportadora inclinada y se obtienen los *scraps*. A partir de este punto el proceso sigue los mismos pasos que en los casos anteriormente explicados.

11.2 Línea 2 y 3. Recuperación del cobre procedente de cables y metales preciosos de las placas circuitos impresos.

En la línea 1 se separan los cables de los RAEE y las placas de circuitos impresos. En la línea 2 y 3 se llevan a cabo dos procesos, el primero para recuperar el cobre en estado puro, procedente de los cables y el segundo para recuperar los metales preciosos procedentes de las placas de circuitos impresos. En ambos casos se pretenden recuperar los metales en estado en condiciones optimas para poderse volver a emplear como materia prima de otro proceso productivo.

11.2.1 Línea 2 : Proceso de reciclaje de los cables.

Los cables son introducidos en un equipo reciclador de cable. Este equipo consta de una tolva de entrada al pre-triturador, del que se obtienen fragmentos de cable que se transportan hasta el triturador, que permite obtener partículas de tamaño reducido, de cobre y plástico. Este flujo de partículas pasa por la mesa de separación densimétrica y se obtienen por separado virutas de cobre, y fracciones de plástico, principalmente PVC y polietileno que se emplean en el recubrimiento del cable como material aislante. Mencionar que el flujo entre las distintas unidades que forman el equipo reciclador de cable, se realiza a través de un sistema neumático que incorpora el equipo. Todo el equipo en su conjunto esta conectado a un filtro de mangas que permite recoger las emisiones de partículas y polvo que se generan en pre-triturador, el triturador y la mesa de separación densimetría.

11.2.2 Línea 3: Placas de circuito impreso: recuperación del oro

Para llevar a cabo el tratamiento de las placas de circuitos impresos, se realiza un proceso mecánico de concentración del contenido de metales objetivo, seguido de un proceso de lixiviación y finalmente una etapa de recuperación.

En este trabajo toda la primera fase de concentración se realiza empleando un equipo reciclador de tarjetas de circuitos impresos de la casa comercial Vary Group^(*6). Dicho equipo consta de una cinta transportadora inclinada que permite transportar las tarjetas de circuitos impresos hacia la primera unidad donde se realizan 2 procesos de triturado, el primero con el que se consigue reducir bastante el tamaño del material, y el segundo con el que se logra obtener una corriente de polvo mixto, polvo metálico y no metálico. A continuación la corriente de polvo mixto pasa por un ciclón y acto seguido se lleva a cabo una separación por vibración que permite separar la corriente de polvo mixto en dos corrientes, la de polvo metálico y la de no metálico. Finalmente el aire que sale del ciclón, que puede contener polvo pasa por una torre de adsorción con carbono activo, de manera que se controlan las emisiones generadas a lo largo del proceso. Como resultado de esta primera fase, de tratamiento mecánico de las tarjetas de circuitos impresos, se obtiene una corriente de polvo metálico concentrado que se utilizara en la en la siguiente fase de lixiviación.

El proceso de lixiviación que se plantea, se basa en un estudio realizado a escala laboratorio recogido en el artículo *Selective recovery of gold from waste Mobile phone PCBs by hydrometallurgical process (2011)*[21]. Por lo tanto se plantea desarrollar el mismo proceso a escala semi-industrial. Se considera escala semi-industrial porque al tratar solo RAEE de categoría 3, generados en Catalunya, la cantidad de tarjetas de circuitos impresos a tratar no

es muy elevada y no se necesitan grandes equipos.

Para el proceso de lixiviación se emplea una celda electrolítica donde el ánodo y el cátodo están hechos de grafito. Dicha celda queda dividida por una membrana de intercambio aniónico. En la zona del ánodo se introduce una solución de ácido clorhídrico con una concentración de 4 mol/l y la zona del cátodo con la misma solución pero de concentración 6 mol/l. Una vez se empieza a suministrar corriente eléctrica de forma constante, en la zona del ánodo se forma $\text{Cl}_2(\text{gas})$, es por eso que el proceso se conoce como electro-generación de cloro. En la zona del cátodo se forma $\text{H}_2(\text{gas})$. La zona del ánodo está conectada con un reactor a través de una tubería permitiendo transportar el $\text{Cl}_2(\text{gas})$.

En la Figura 11.6 se puede apreciar como es el proceso de electro-generación de cloro en la celda electrolítica y como esta conecta con el reactor donde se lleva a cabo la lixiviación.

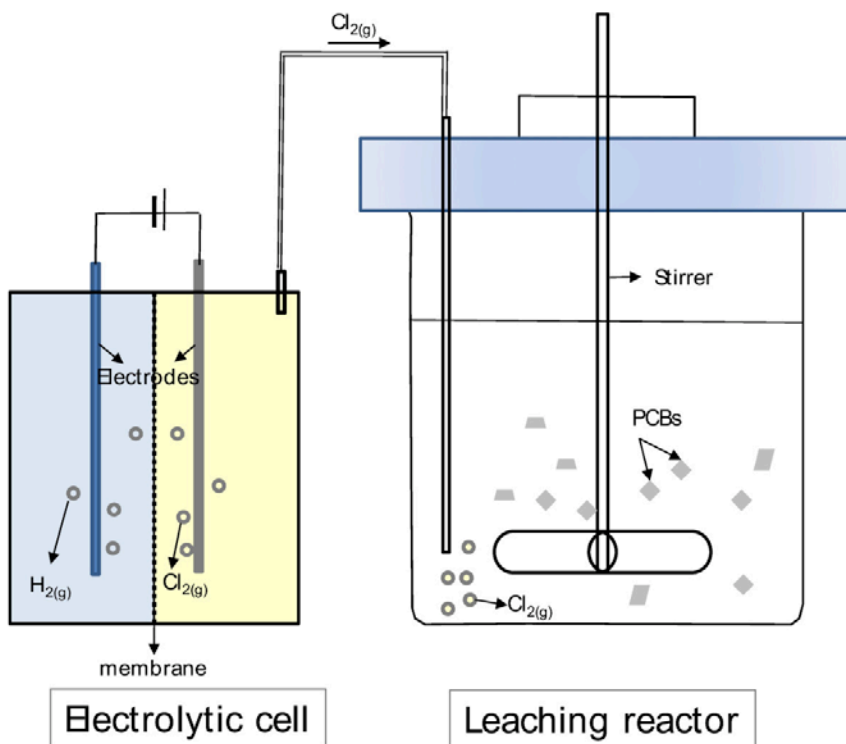


Figura 11.5 Equipo de electro-generación de cloro y reactor de lixiviación

Fuente: *Selective recovery of gold from waste Mobile phone PCBs by hydrometallurgical process (2011).*[21]

El reactor de lixiviación cuenta con un agitador de acero que funciona a 500 rpm. Con el fin de recuperar el oro, es necesario realizar dos fases de lixiviación, una primera para recuperación del cobre, en la que al reactor se le añade una solución de ácido clorhídrico (HCl), con una concentración de 2 mol/l. La primera fase de lixiviación dura 165 min a una temperatura de 25°C y se consigue una lixiviación de 97% del cobre, y alrededor del 5% del oro. A continuación se realiza un filtrado del que se obtiene el lixiviado con elevada concentración de cobre y un residuo que se somete a una segunda fase de lixiviación.

Para la segunda fase de lixiviación, se hace añade una solución de ácido clorhídrico (HCl) pero en concentración 0,1 mol/l, ya que tal como se demuestra en el estudio llevado a escala de laboratorio, el rendimiento de la lixiviación del oro es muy elevado a bajas concentraciones de HCl, mientras que para el cobre ocurre al revés. En el caso de la segunda lixiviación,

también se realiza a 25°C pero solamente durante 10 minutos, consiguiendo una lixiviación del 93% del oro y del 0,5% del cobre. Acto seguido se procede al proceso de filtrado, obteniendo un residuo y el lixiviado.

Para extraer el oro y el cobre de la solución de lixiviado, esta se hace pasar por una columna que contiene una resina de intercambio iónico. La resina utilizada es Amberlite XAD-7HP, ya que se ha demostrado que presenta buenos rendimientos en la adsorción del oro, y en el proceso de elución no se pierde capacidad de retención.

A continuación para poder recuperar el oro retenido en la resina, se realizan dos procesos de elución, uno para el cobre y otro para el oro. Para liberar el cobre se realiza una elución con HCL a concentración 0,1 mol/l, consiguiendo liberar todo el cobre retenido en la resina y manteniendo la carga de oro. Acto seguido, una vez la resina está libre de cobre, se pasa una solución de acetona y HCl a concentración 1 mol/l en una relación de 9:1. El oro que se obtiene con el eluyente, totalmente libre de cobre, presenta una pureza del 99,9%.

Finalmente la solución obtenida, con alta concentración de oro de 99'9% de pureza se somete a un proceso de electro-deposición, con un equipo de electrowinning. El equipo escogido es de la casa comercial SX KINETICS[22] y el modelo es el SXK-142. Este equipo consiste en un conjunto de celdas electrolíticas compuesto de 9 cátodos de acero inoxidable y 10 ánodos de acero inoxidable perforado. A medida que la corriente pasa por el electrolito, el oro se va depositando en los cátodos.

El equipo cuenta con un elevador automático que permite extraer el cátodo, para posteriormente proceder a la retirada del oro. El proceso de electro-deposición es lento, sin embargo el equipo tiene una capacidad de recuperación de 100kg de oro por semana. Aplicado el proceso de electrowining, según datos de la casa comercial se consigue recuperar aproximadamente el 95% del oro contenido en el electrólito.

En la figura se puede ver el diagrama de flujo del proceso de de doble lixiviación.

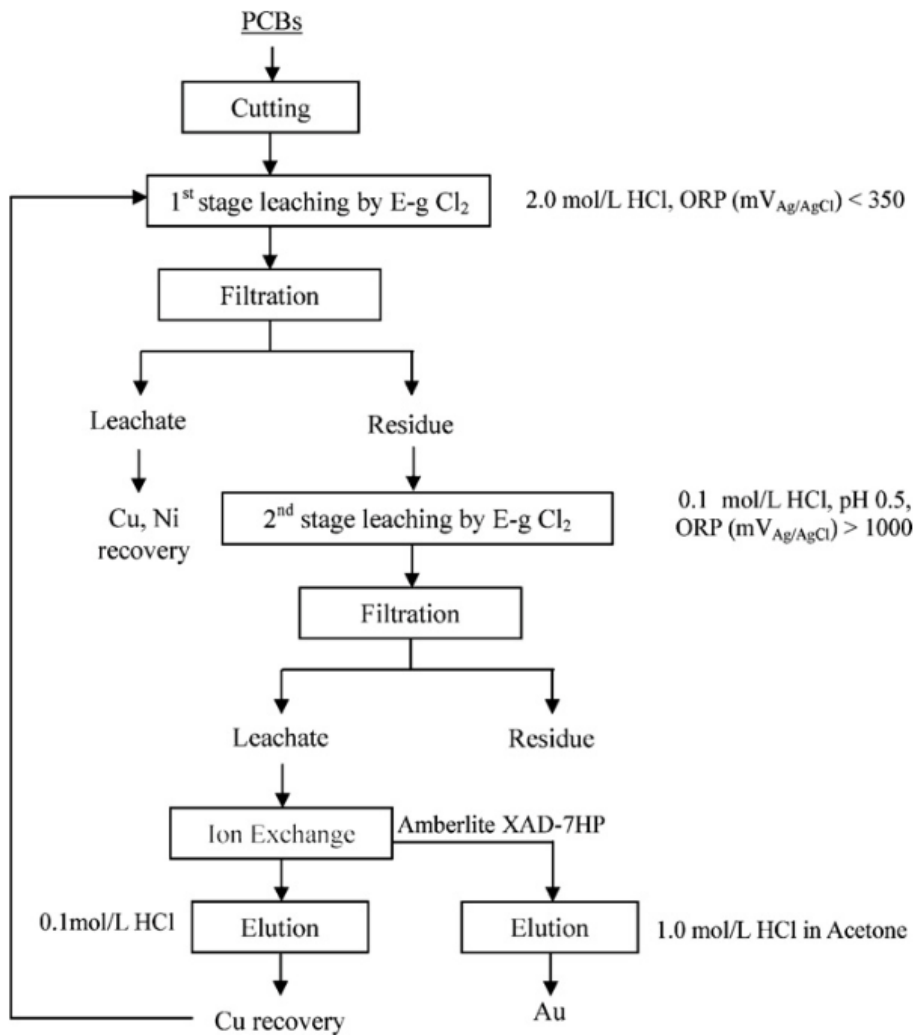


Tabla 11.1 Proceso hidrometalúrgico de recuperación del oro procedente de los PCBs

Fuente: [21]

12 Estimación de la cantidad de RAEE de categoría 3 generados en Catalunya.

12.1 Modelos de cálculo para estimar la generación

Existen diversos métodos y modelos para llevar a cabo el cálculo estimado de la cantidad de RAEE generados. Generalmente, los métodos se pueden clasificar en los siguientes cuatro grupos[13]:

Análisis relacionados con la disposición, se aplican las cifras de deshechos electrónicos obtenidas a partir de los canales de recogida, instalaciones de tratamiento y vertederos. Por lo general se requieren datos empíricos para estimar la generación total.

Análisis de series temporales (proyecciones), pronostica la tendencia de la generación de residuos electrónicos mediante la extrapolación de los datos históricos en el futuro.

Análisis de factores, usando determinados factores de correlación, este tipo de metodología se basa en relaciones entre factores como el tamaño de la población y el nivel de ingresos con la generación de residuos. Este es uno de los métodos menos empleado, debido a la incertidumbre de los patrones a largo plazo y el elevado número de requisitos necesarios para desarrollar el modelo

Input-Output análisis (IOA). El modelo de input output describe la dinámica, la magnitud y las interconexiones de tres variables básicas: las ventas de productos, la esperanza de vida y la generación de RAEE. Es uno de los métodos más frecuentemente utilizados para estimar la generación de residuos electrónicos.

En la Tabla 12.1, se determinan que variables y datos son necesarios para aplicar los modelos que existen dentro del método de input output análisis. Las variables que se contemplan son las ventas, el stock y el tiempo de vida.

Tabla 12.1: Parámetros y modelos para la estimación de generación de RAEE

Method	Calculation	Required data			Applicable to		Accuracy
		Sales	Stock*	Lifetime	Saturated markets	Dynamic markets	
Sales	Sales at t	X			X		Low
Simple delay	Sales at (t – lifetime)	X		X	X		Medium
Distribution delay	Sales in previous years and distribution of lifetime	X		X	X	X	High
Time step	Stock at (t-1) – Stock at t + (Sales - WEEE)until t	X	X		X	X	High
Carnegie Mellon	Includes data on behaviour of end user (hibernation / reuse / disposal)	X		X	X	(X)	High
Batch leaching (Stock & lifetime)	Stock at t / lifetime (or other parameter α)		X	X	X		Low
Econometric analysis	Depending on GDP or other parameters						Low

Fuente: Substance WEEE(2010) [15]

flow analysis of

En función de los datos disponibles, series históricas de cantidades de AEE puestos en mercado y distribución del tiempo de vida o tasa de obsolescencia, en este trabajo se ha escogido el modelo de *distribution delay*, que cómo se ha dicho previamente es uno de los modelos más aampliamente utilizado

La distribución del tiempo de vida se define como las probabilidades de fallo o error que tiene un aparato a lo largo de una serie de años desde su puesta en el mercado. Muchos autores respaldan la idea de que la mejor manera de aproximar el la distribución del tiempo de vida es a través de la *weibull distribution* [15]. Sin embargo cabe destacar que para trazar la distribución del tiempo de vida de los AEE, se requiere conocer los parámetros de escala y forma ($\alpha(t)$ y $\beta(t)$) que varían dependiendo del equipo y el año.

12.2 Análisis de los datos de AEE puestos en mercado en Catalunya

Como ya se ha explicado en el capítulo 7, los datos de AEE de categoría 3 puestos en mercado en Catalunya se han estimado para los años comprendidos entre 2007 y 2015, ambos

incluidos, a partir de las cantidades de AEE de categoría 3 puestos en mercado en España. La fuente de datos empleada para realizar la estimación es el registro de aparatos eléctricos y electrónicos del Ministerio de Industria, Energía y Turismo (MINETUR).

En el capítulo 0, se presenta una lista de todos los equipos que se consideran dentro de la categoría 3. Para todos estos equipos, de manera desagrada, en la Tabla 12.2 se presentan las cantidades puestas en mercado entre 2007 y 2015 en Cataluña y a continuación en el Gráfico 12.1 Kg de AEE de categoría 3 puestos en el mercado en Catalunya (2007-2015) Fuente: Elaboración propia se representan los datos de dicha tabla. En ambos casos figuran ciertos equipos marcados con un asterisco, concretamente las máquinas de escribir eléctricas o electrónicas, las calculadoras de mesa o de bolsillo, los teléfonos de pago (cabines), los terminales télex, los contestadores automáticos y otros productos o aparatos de transmisión de sonido, imágenes u otra información por telecomunicación, otros posibles equipos de informática y telecomunicaciones (otros 1) y Otros productos y aparatos para la recogida, almacenamiento, procesamiento, presentación o comunicación de información de manera electrónica (otros 2). Todos estos equipos mencionados no se tienen en consideración en este trabajo por los motivos explicados en el capítulo 9.

Tabla 12.2 Kg de AEE categoría 3 puestos en mercado en Catalunya (2007-2015)

AEE CATEGORIA 3	KG PUESTOS EN MERCADO (2007-2015)	%
Grandes ordenadores	4059916,776	3,439%
Ordenadores personales	31080845,37	26,326%
Miniordenadores	564281,961	0,478%
Ordenadores portátiles	1433926,263	1,215%
Portátiles notebook	8618905,278	7,300%
Teléfonos celulares	3933263,595	3,332%
Ordenadores portátiles tipo notepad (tableta)	900312,2771	0,763%
Teléfonos inalámbricos	1456513,536	1,234%
Teléfonos	1099703,624	0,931%
Unidades de impresión	1088507,16	0,922%
Impresoras	19039112,62	16,126%
Copiadoras	10080032,06	8,538%
Fax	1555243,71	1,317%
Télex (*)	320,3894425	0,000%
Contestadores automáticos(*)	3168,068793	0,003%
Teléfonos públicos(*)	276266,5613	0,234%
Máquinas de escribir(*)	175432,1285	0,149%
Calculadoras(*)	356692,1256	0,302%
Otros(1)(*)	15002559,32	12,707%
Otros(2)(*)	17336794,31	14,685%
TOTAL	118061797,1	100,000%
suma de los excluidos en trabajo(*)	33151232,91	28,080%

Elaboración propia, Fuente: MINETUR (*4)

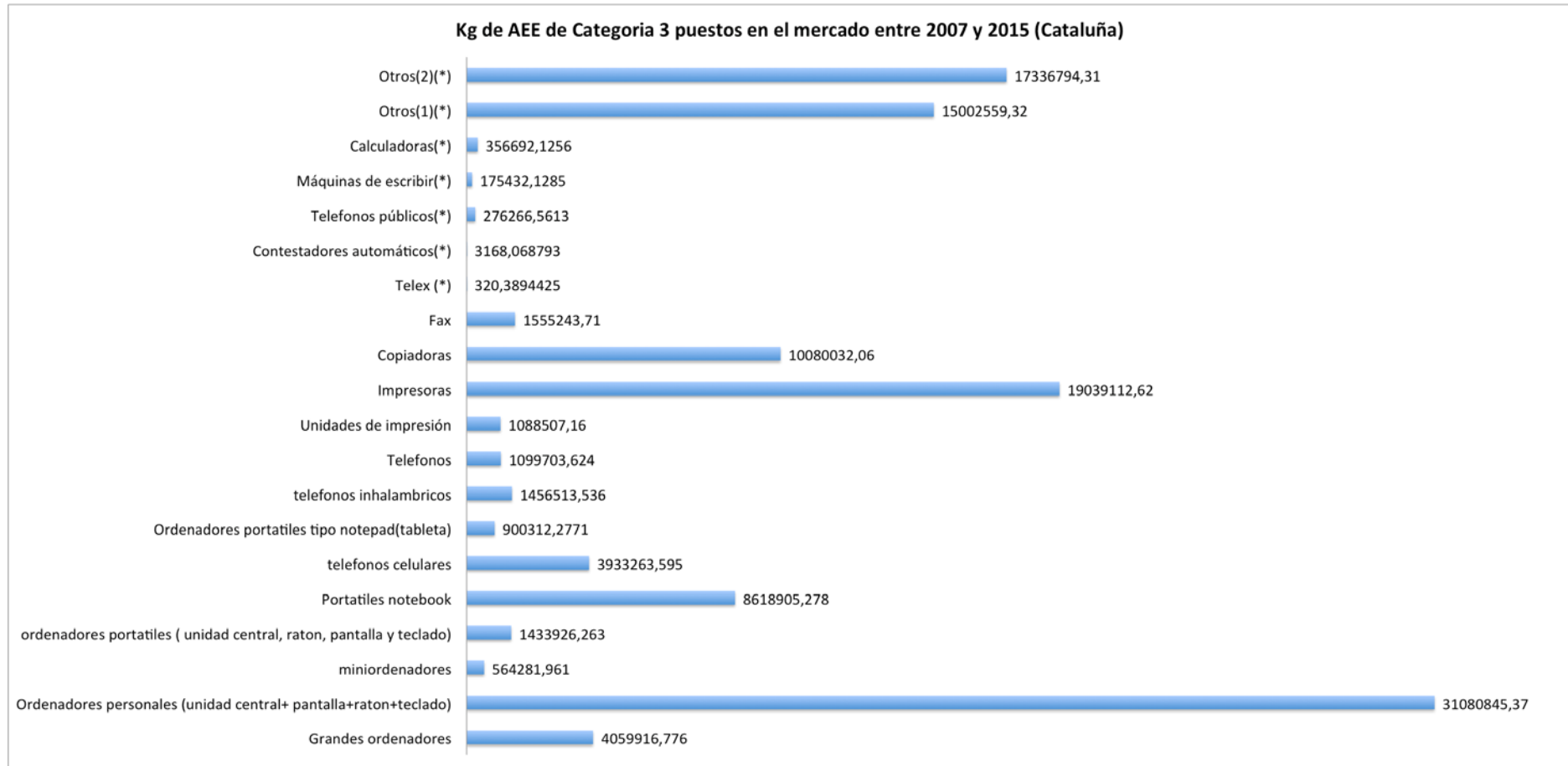


Gráfico 12.1 Kg de AEE de categoría 3 puestos en el mercado en Catalunya (2007-2015) Fuente: Elaboración propia

Fuente: Elaboración propia

12.3 Cantidad de RAEE de categoría 3 generados en Catalunya.

En este caso para estimar la cantidad de RAEE generados en Catalunya se ha utilizado la función de distribución del tiempo de vida, desarrollada en un estudio sobre la generación de RAEE en Holanda, a partir de los AEE puestos en mercado en 2005 [23][24]. Se ha considerado que al ser países Europeos, las tendencias de consumo y uso son semejantes, de modo que se ha aplicado esta distribución del tiempo de vida para calcular los RAEE generados en Catalunya a partir de los datos de los AEE puestos en mercado en los años 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013 2014, 2015, para todos los AEE objeto de estudio.

En el Gráfico 12.2 se muestra la distribución del tiempo de vida de los AEE objeto de estudio. En el eje de las X se representan los años desde la puesta en el mercado (n, n+1, n+2 n+3 etc), en el eje de las Y encontramos la tasa de obsolescencia o probabilidad de fallida del equipo.

Tal como se puede observar los móviles y tabletas, y ordenadores portátiles son los que presentan una mayor tasa de obsolescencia apenas un año más tarde de haber-se puesto en mercado. Le siguen los fax y los teléfonos, ya que en este caso, por falta de datos se ha empleado la misma distribución para ambos equipos, basándonos en que el del tiempo del vida medio es muy parecida. A estos le siguen las impresoras, y finalmente los ordenadores de escritorio son los que presentan una mayor distribución en el tiempo. A modo de resumen, podemos decir que los que tardan menos tiempo en presentar altas probabilidades de fallo son los teléfonos móviles, seguidos de los ordenadores portátiles. Los fax y los teléfonos suelen presentar su mayor probabilidad de fallo al quinto año de haberse puesto en el mercado, y finalmente las impresoras y los ordenadores de escritorio, que aun y no presentar una probabilidad de fallo pronunciada en un momento en concreto, presentan bajas probabilidades de fallo pero de manera muy prolongada en tiempo.

Teniendo en cuenta la distribución del tiempo de vida de los diferentes AEE y las cantidades puestas en el mercado, se ha estimado que cantidad de RAEE de categoría 3 que se generará en Catalunya. Los resultados, se representan en el Gráfico 12.3. En el anexo se presenta la Tabla 18.4 que muestra la cantidad de AEE puestos en mercado en Catalunya desagregados por aparatos. Estos valores son los empleados para estimar la generación de RAEE hasta 2020. En las siguientes tablas del anexo se presentan las cantidades estimadas de generación (kg) para cada una de las categorías propuestas:

Tabla 18.10 Fax - Generación RAEE (Kg) Catalunya

Tabla 18.8 Ordenador portátil - Generación RAEE (kg) Catalunya

Tabla 18.7 Otros teléfonos -- generación RAEE(KG) Catalunya

Tabla 18.6 Teléfonos móviles y tablets (kg) Catalunya

Tabla18.9Impresoras-GeneraciónRAEE(Kg)Catalunya

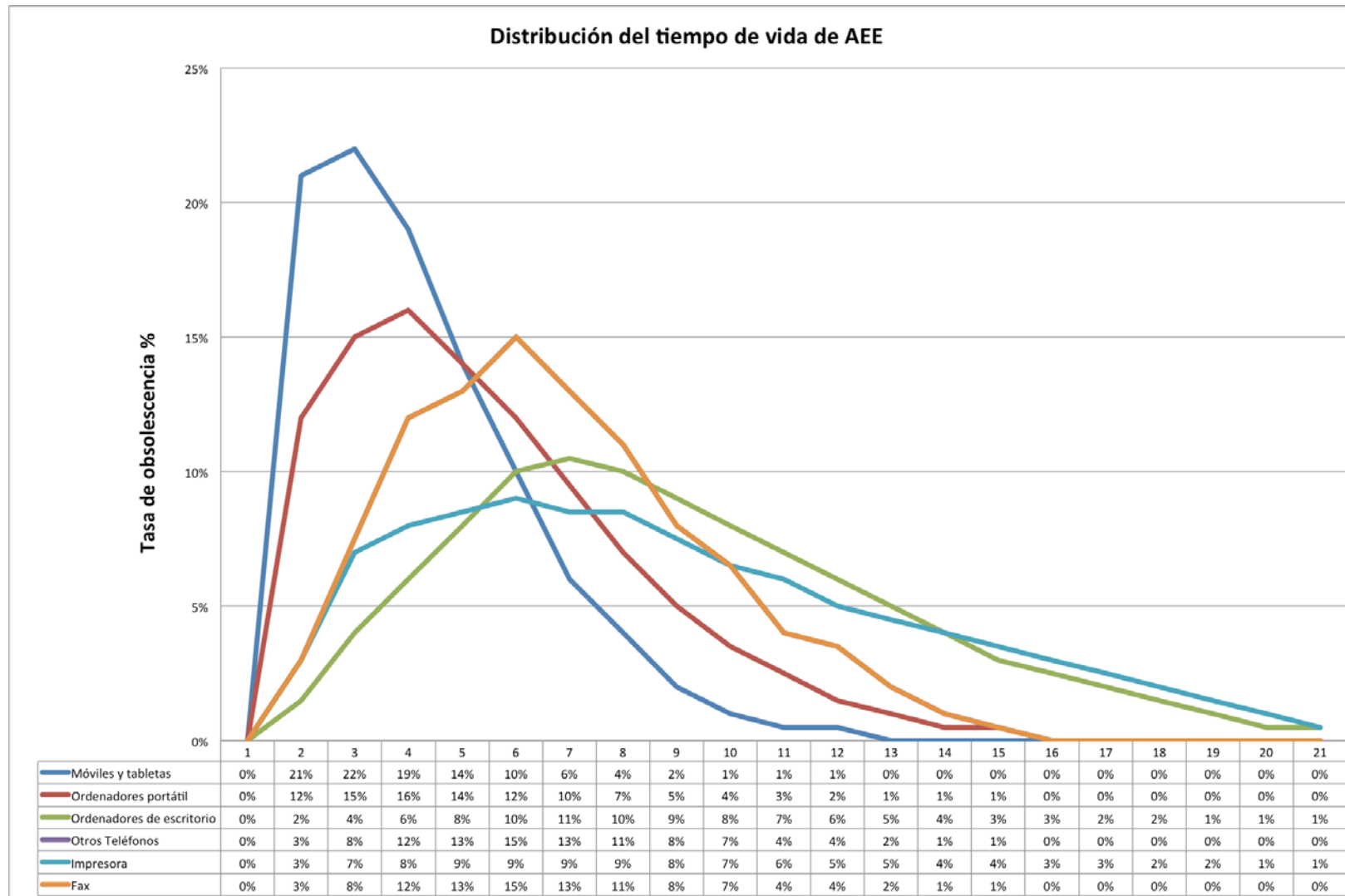
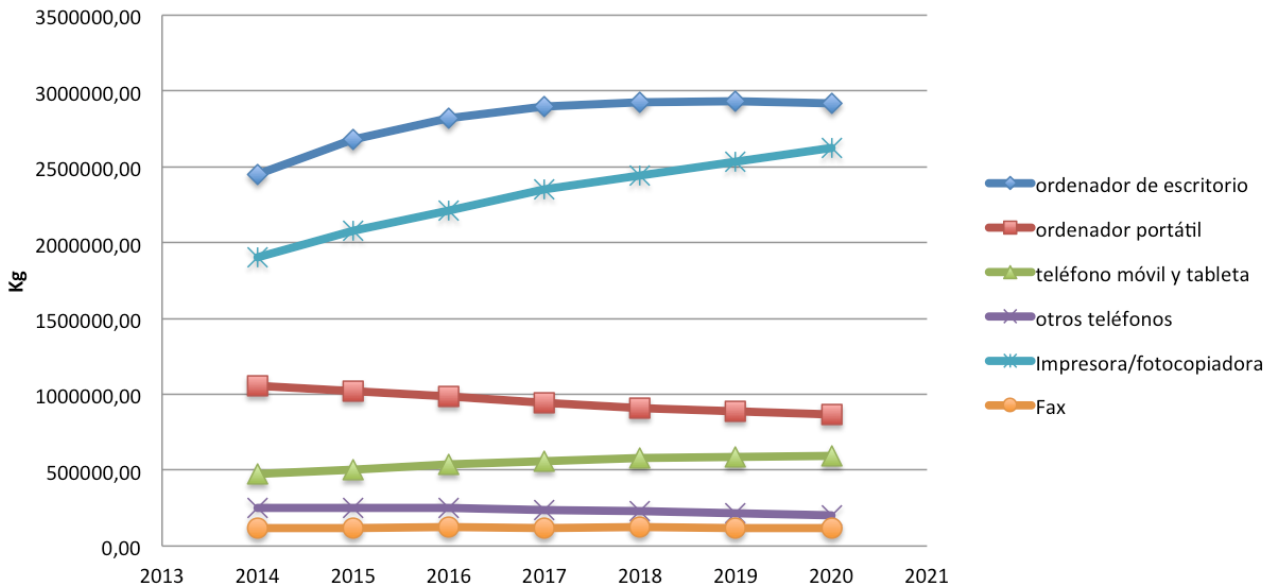


Gráfico 12.2 Distribución del tiempo de vida de los AEE
 Fuente: Study of the quantification of WEEE [24]. Elaboración propia

Evolución de la generación de RAEE de categoría 3 en Catalunya



Podemos ver como las estimaciones realizadas indican que el número de RAEE de ordenadores de escritorio aumenta, sin embargo a partir de 2018 su tendencia se estabiliza. En cuanto a los RAEE de impresoras también se interpreta una tendencia de aumento. Por lo que a teléfonos móviles y tabletas se refiere también se observa un aumento, sin embargo no tan pronunciado como los anteriores. El número de residuos de ordenadores portátiles, terminales fax y otros teléfonos presentan una tendencia decreciente.

Podríamos considerar que existen 3 posibles factores que hacen que la puesta en mercado de algunos AEE sea menor y por lo tanto los resultados obtenidos en las estimaciones presenten una disminución de la generación de RAEE.

Es bien conocido que existen aparatos que cada vez se utilizan menos, como los teléfonos conectados a la línea o los terminales fax, por este motivo es evidente que su generación de residuos de cara a futuro seguirá una tendencia decreciente.

También existe un factor que afecta temporalmente los resultados. Es evidente que cuando una parte importante de la sociedad adquiere un tipo de AEE, por lo general pasaran unos años, dependiendo del tiempo de vida útil, hasta que vuelvan a adquirir ese mismo tipo de AEE. Este comportamiento se ve reflejado en el número de AEE puestos en mercado y también en la generación de RAEE

Gráfico 12.3 Evolución de la generación de RAEE de categoría 3 en Catalunya. Fuente : elaboración propia

Otro factor muy importante que afecta el número de equipos puestos en mercado y consecuentemente los RAEE generados en un futuro, es la crisis económica. Durante esta época, tal como se muestra en el Gráfico 7.1, ha habido una decrecida de los AEE puestos en mercado.

En el caso de los ordenadores portátiles se podría entender que su disminución en la generación de residuos de este aparato, puede ser causa de los dos últimos factores explicados.

13 Cantidad de RAEE a tratar a la planta diseñada

Para estimar la cantidad de RAEE que se va a tratar en la planta propuesta es necesario previamente conocer cuál es la generación total de RAEE de categoría 3 en Catalunya. Se utilizan los datos de generación del año 2018, ya que es el año en que se calcula que la planta de tratamiento podría estar operativa. Para averiguar qué cantidad de los RAEE generados deben someterse a reciclaje, se ha asumido que se cumplen los objetivos marcados por el Real Decreto de RAEE de 2015, para el año 2018.

Destacar que también se asume que la planta de tratamiento, tratará todos los RAEE de categoría 3 generados en Catalunya. Para ello, los sistemas integrales de gestión que operan en Catalunya y que están autorizados para la recogida de RAEE de categoría 3 (ecotic, ecosimilec, ecofimatika, ecolec, european recycling platform, tragamovil y ecoraee), establecerán convenios con los puntos limpios, distribuidores, y puntos de venta autorizados a la recogida, a fin de garantizar su recogida y traslado a la planta de tratamiento que se presenta en este trabajo.

En la Tabla 13.0.1, se muestran los resultados. La primera columna hace referencia a los kg de RAEE de categoría 3 generados en Catalunya, desagregados por los tipos de equipos que se admiten en la planta. Del total generado el 55% se debe ser recogido, y de este 55% el 75% debe ser valorizado, quedando el 25% restante que puede ir a eliminación, ya sea deposición en vertedero o incineración. Del total recogido, el 55% debe reciclarse, y el 20% restante que queda entre el objetivo de valorización y el de reciclaje, debe ir a valorización energética.

Finalmente destacar que tal como exige el Real Decreto, del 55% de RAEE que deben ir a reciclaje, en el caso de RAEE de tamaño pequeño, indicado en color amarillo, un 4%, y en el caso de RAEE de mayor tamaño, indicado en color verde, un 3%, deben destinarse a preparación para la reutilización. En color marrón se muestra la cantidad de cada RAEE de categoría 3 generada en Catalunya en 2018, que entrara en la planta de reciclaje propuesta en este trabajo. Y para terminar, en color violeta se muestra la cantidad total anual de RAEE que se tratará en la planta de tratamiento propuesta.

Tabla 13.0.1 Cantidad de RAEE de categoría 3 generados en Catalunya en 2018 y su destino

GENERACIÓN DE RESIDUOS EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE VIDA (CATALUNYA)	RAEE cat 3 2018 (Catalunya)	55% RECOGIDA	75% valorización	PxR Y RECICLAJE (respecto recogida 55%)	3% PXR	4% PXR	51% RECICLAJE	52% RECICLAJE	20% VAL. ENER.	25% ELIMIN.
Grandes ordenadores	348090,08	191449,54	143587,16	105297,25	5743,49			99553,76	38289,91	47862,39
Ordenadores personales (unidad central+raton+teclado)	2575907,07	1416748,89	1062561,67	779211,89	42502,47			736709,42	283349,78	354187,22
miniordenadores	39050,93	21478,01	16108,51	11812,91		859,12	10953,79		4295,60	5369,50
ordenadores portátiles	161210,49	88665,77	66499,33	48766,17		3546,63	45219,54		17733,15	22166,44
Portátiles notebook	711642,98	391403,64	293552,73	215272,00		15656,15	199615,86		78280,73	97850,91
teléfonos celulares	414197,68	227808,73	170856,54	125294,80		9112,35	116182,45		45561,75	56952,18
Ordenadores portátiles tipo notepad(tableta)	163204,10	89762,26	67321,69	49369,24		3590,49	45778,75		17952,45	22440,56
teléfonos inalámbricos	138161,22	75988,67	56991,50	41793,77		3039,55	38754,22		15197,73	18997,17
Teléfonos	89340,99	49137,54	36853,16	27025,65		1965,50	25060,15		9827,51	12284,39
Unidades de impresión	83206,36	45763,50	34322,62	25169,92	1372,90			23797,02	9152,70	11440,87
Impresoras	1553517,12	854434,42	640825,81	469938,93	25633,03			444305,90	170886,88	213608,60
Copiadoras	808308,54	444569,70	333427,27	244513,33	13337,09			231176,24	88913,94	111142,42
FAX	122147,27	67181,00	50385,75	36949,55		2687,24	34262,31		13436,20	16795,25
CANTIDAD TOTAL A RECICLAR							2051,37			

Elaboración propia

14 Resultado del proceso: Cantidad de metales recuperados.

Los resultados obtenidos de las líneas de tratamiento 1 2 y 3, presentadas en el capítulo 11 se presentan respectivamente en las tablas presentadas al final de este capítulo en la Tabla 14.1, Tabla 14.2, y la Tabla 14.3. Cabe destacar que para poder conocer la cantidad de metales recuperados, por un lado se han empleado los resultados de cantidad de RAEE de categoría 3 a tratar en la planta (Tabla 13.0.1), las caracterizaciones de los equipos y las placas de circuitos impresos (Tabla 8.2, Tabla 8.3, Tabla 8.4) y todas asunciones que se mencionan a continuación, entre las cuales se encuentran los ratios de recuperación en función del proceso.

Para a la estimación de las cantidades de metales que se pueden recuperar con el proceso de tratamiento propuesto, se han tenido en cuenta las siguientes suposiciones:

-Se cumplen los mismos grados de recuperación de cobre, aluminio, plástico y metales férricos que los que se presentan en el artículo *Assessment of precios metals flows during Preprocessing of Waste Electrical and Electronic Equipment*. [17].

En dicho artículo se analizan los resultados obtenidos del tratamiento de RAEE en la instalación de un planta de tratamiento Alemana, donde se trata una partida de 1000kg de RAEE de categoría 3. Los RAEE, al igual que se plantea en este trabajo, son sometidos a un proceso de clasificación inicial, luego pasan por un proceso de descontaminación manual, y acto seguido se someten a una etapa de pre-triturado. Al salir del pre-triturador, se realiza otra etapa de separación y clasificación manual para entrar en un equipo de trituración. A continuación del triturador se lleva a cabo la separación mecánica con separadores de metales Fe/no Fe y corriente de Eddy. Las recuperaciones logradas son Hierro (95%), Plástico (80%), Aluminio (75%) y Cobre (60%)

-En este trabajo solo se tienen en cuenta y se analizan las cantidades de metales preciosos contenidas en las placas de circuitos impresos, ya que realmente es donde se encuentran en concentraciones elevadas. Para recuperar estos metales del resto de componentes del equipo, se debería destinar demasiados esfuerzos y supondría un coste muy elevado.

-No hay información sobre la cantidad de cables en estos equipos, pero según el trabajo *How are WEE doing? (2011)* [12], un 2% del peso de los RAEE se atribuye a los cables. Por este motivo, el % de otros componentes que figura en la Tabla 8.3, un 2% se le atribuye a los cables. De estos cables se considera que el 50% del peso es plástico del aislamiento y el otro 50% es cobre, pero el equipo destinado al tratamiento del cable, de la casa Recovery SA, permite recuperar el 90% del input, por lo tanto este porcentaje también se tiene en cuenta a la hora de realizar el cálculo.

-También comentar que se han establecido unas tasas de recuperación de los circuitos impresos y cables, dependiendo de si los equipos se someten o no a un proceso de desmontaje mecánico. Cuando no se someten a desmontaje mecánico se les asigna una tasa de recuperación del 75%, de lo contrario se les asigna una tasa del 50%. Esto se debe a que el desmontaje manual es más meticuloso y estricto. Sin embargo, no se ha considerado oportuno dar un tasa del 100% de recuperación a los de desmontaje manual, porque siempre puede haber cables y circuitos impresos a los cuales es difícil acceder para proceder a su extracción. De todos modos, al someterse después a un proceso de pre-triturado y separación manual en la cinta de clasificación, es cierto que se pueden recuperar algunos de

estos materiales a los que es difícil acceder, pero siempre existe el error humano y pueden pasar desapercibidos debido a las grandes cantidades de material a procesar.

-Para estimar la cantidad de oro recuperado en el proceso de tratamiento de las placas de circuitos impresos (línea 3), se han considerado las tasas de recuperación aportadas por la bibliografía[21], en el caso de la lixiviación (93%). En cuanto a las tasas de recuperación ofrecidas por el equipo de pre-tratamiento de tarjetas de circuitos impresos (90%), se han extraído de la ficha técnica del equipo, de la casa comercial vary group (*6). Las tasas de recuperación del equipo electrowinning, para la electro-deposición del oro se han obtenido de la casa comercial SX Kinetics (90%).[22]

-En lo referente a las baterías, se les aplica una tasa de recuperación de 90%, ya que su identificación y extracción es relativamente sencilla, pero el error humano siempre es un factor a tener en cuenta y por eso se le atribuye una recuperación del 90.

Destacar que en las figuras que se presentan a continuación, los diferentes equipos objeto de estudio, ya se agrupan según las agrupaciones propuestas para este trabajo en la Tabla 8.1.

Tabla 14.1 Kg de metales y componentes recuperados (Línea 1)

		INPUT (KG)	Hierro	Recuperado	Cobre	Recuperado	Aluminio	Recuperado
Ordenador de escritorio	Ratón	8.621,27	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	U. central	758.671,76	531.828,90	505237,46	26.553,51	15932,10	47.037,65	35278,24
	Teclado	68.970,16	5.103,79	4848,60	2.965,72	1779,43	68,97	51,73
Ordenador portátil		255789,1824	49.878,89	47384,95	2.557,89	1534,73	6.138,94	4604,21
Impresora		699279,1577	248.244,10	235831,90	22.376,93	13426,15	1.398,56	1048,92
teléfono móvil y tableta		161961,2001	2.105,50	2000,22	16.520,04	9912,02	809,81	607,35
otros teléfonos		63814,3702	1.212,47	1151,85	4.722,26	2833,35	510,51	382,89
Fax		34262,30869	11.409,35	10838,88	582,46	349,47	2.090,00	1567,50
TOTAL RECUPERADO (kg)				807293,8515		45767,29094		43540,83

		INPUT (KG)	Plástico	Recuperado	Baterías	Recuperado	PCB	Recuperado	Cable	Recuperad
Ordenador de escritorio	Ratón		ND	ND			706,94	530,20	172,42	129,31
	U. central	8.621,27	119870,13	95896,10			33381,55	16690,77	ND	ND
	Teclado	758.671,76	59935,06	47948,05			896,61	672,45	ND	ND
Ordenador portátil		255789,18	65993,60	52794,88	36833,64	33150,27	35043,11	26282,33	5115,78	3836,83
Impresora		699279,15	320269,85	256215,88			51746,65	25873,32	13985,58	10489,18
teléfono móvil y tableta		161961,20	61059,37	48847,49	32392,24	29153,01	49074,24	36805,68	3239,22	1619,61
otros teléfonos		63814,37	36565,63	29252,50	12762,87	11486,58	8040,61	6030,45	1276,28	957,21
Fax		34262,30	16822,79	13458,23			4180,00	2090,00	685,24	513,93
TOTAL RECUPERADO (kg)				544413,17		73789,88		114975,25		17546,10

Elaboración propia

Tabla 14.2 Recuperación de oro (Línea 3)

		Circuitos Imp. Recuperados (Kg)	Contenido de oro (g)	Recuperación con pre-proceso (mecánico) (g)	Proceso lixiviación 1(g)	Proceso lixiviación 2(g)	Electro-deposición (g)
ordenador de escritorio	Ratón	530,21	37,11	33,40	31,73	29,51	26,56
	U. central	16690,78	4005,79	3605,21	3424,95	3185,20	2866,68
	Teclado	672,46	47,07	42,36	40,25	37,43	33,69
ordenador portátil		26282,34	16557,87	14902,09	14156,98	13165,99	11849,39
Impresora		25873,33	983,19	884,87	840,62	781,78	703,60
teléfono móvil y tableta		36805,68	55208,52	49687,67	47203,29	43899,06	39509,15
otros teléfonos		6030,46	301,52	271,37	257,80	239,76	215,78
Fax		2090,00	73,15	65,84	62,54	58,17	52,35
Total recuperado (kg)							55,26 kg

		Cables recuperados (kg)	Recuperación con equipo reciclador de cable(kg)	Plastico recuperado del cable(kg)	cobre recuperado del cable(kg)
ordenador de escritorio	Ratón	129,32	116,39	58,19	58,19
	U. central	-	-	-	-
	Teclado	-	-	-	-
ordenador portátil		3.836,84	3.453,15	1.726,58	1.726,58
Impresora		10.489,19	9.440,27	4.720,13	4.720,13
teléfono móvil y tableta		1.619,61	1.457,65	728,83	728,83
otros teléfonos		957,22	861,49	430,75	430,75
Fax		513,93	462,54	231,27	231,27
Total recuperado (kg)				7.895,75	7.895,75

Tabla 14.3 Recuperación de plástico y cobre procedente de cable (Línea3)

15 Estudio económico

Una vez realizado el diseño de la planta y conociendo las cantidades de metales que se pueden recuperar con los procesos propuestos, se procede a realizar un balance económico para averiguar la viabilidad del proyecto. Para llevar a cabo el estudio económico, este capítulo se dividirá en diferentes apartados:

- inversión inicial
- Amortizaciones
- Ingresos
- Gastos
- Cuentas de gastos e ingresos
- Cash-flow
- Rentabilidad

15.1 Inversión inicial

La inversión inicial es necesaria para cubrir los costes de la instalación donde se establecen los procesos de tratamiento, costes de maquinaria, costes de otros materiales necesarios para el funcionamiento de la planta, costes de equipos informáticos para la oficina y costes de puesta en marcha

Instalación (Nave industrial)

En este caso debido a la dificultad de encontrar unos costes representativos de lo que podría implicar la construcción de una nave industrial de unos 4000m² aproximadamente, en la provincia de Barcelona, se ha optado por buscar precios de naves en venta, de obra nueva, con las dimensiones deseadas y con las instalaciones básicas de suministro de agua, electricidad, con acceso para camiones, equipo contra incendios, zona de oficinas y baños. A través de distintos portales de búsqueda especializadas en naves industriales se ha encontrado que en provincia de Barcelona, concretamente en la comarca del Vallés Occidental una nave de 4000m² aproximadamente con las prestaciones deseadas tiene un coste aproximado de 2.800.000€. Para determinar el tamaño que debe tener la nave se ha escogido como referencia las dimensiones de la planta de tratamiento de RAEE de Electrorecycling, ubicada en Pont de Vilomara i Rocafort, Catalunya.

Tabla 15.1 Inversión inicial Nave

Instalación	€	Fuente
Nave industrial 4000m ²	2.800.000€	Minave.es, espaiempresa.es, interempresas.net Poligons.com
TOTAL		2.800.000€

Fuente: Elaboración propia

Maquinaria

En la siguiente tabla se reflejan los precios de la maquinaria necesaria para el proceso que se plantea en este trabajo. La primera columna menciona los diferentes equipos, la segunda

los precios, con IVA incluido, y la tercera la fuente. Cabe destacar que el hecho de encontrar los precios de algunos de los equipos, resulta bastante complejo porque la mayoría de casas comerciales no suelen presentarlos en sus páginas web, sin embargo se ha contactado con la mayoría de estas empresas para la facilitación de precios aproximados.

Tabla 15.2 Inversión inicial - Maquinaria

Equipos (Maquinaria)	€	fuente
Desmontadora (crack-o-mate) E12 (incluye cinta inclinada + filtro de mangas)	300.000 €	Recovery SA ^(*7)
Pre-triturador de 2 ejes WJ 200E (1300) (incluye Cinta inclinada + filtro de mangas)	90.000€	Recovery SA ^(*7)
Triturador mono-rotor 142 (Incluye cinta inclinada + filtro de mangas)	90.000 €	Recovery SA ^(*7)
Separador de metales Fe/noFe (Incluye cinta transportadora, separador tipo overband)	95.000 €	Recovery SA ^(*7)
Equipo de reciclado de cable (compuesto por pre-triturador, triturador, sistema neumático, mesa densimétrica, filtro de mangas)	30.000 €	Recovery SA ^(*7)
Separador corrientes de Eddy (focault)	45.000 €	Regulatorcetrisa ^(*8)
Mesa de separación densimétrica (KDM 750)	35.000 €	Darktek vibración ^(*9)
Cinta transportadora plana (15 +10) zona clasificación, salida trituradora	25.000 €	Cintasa ^(*10)
Equipo de tratamiento de gases tóxicos (scrubber)	30.000 €	Gemata ^(*11)
Equipo tratamiento de PCBs (incluye triturador, pre-triturador, ciclón, separador por vibración y torre de adsorción)	295.000 €	Vary group ^(*6)
Tanques lixiviación	500€	Vary group ^(*6)
Equipo electro-recuperación (electrowinning)	100.000€	SX KINETICS [22]
Celda electrolítica (electro-generación de cloro)	50.000€	
Herramientas para descontaminación	2.500€	
TOTAL	1.139.000€	

Fuente: Elaboración propia

Otros equipos.

En este caso los precios se han podido encontrar directamente a través de páginas web.

Tabla 15.3 Inversión inicial otros equipos

Otros equipamientos	€	Fuente
Básculas digitales(x2)	1200 €	balanzasdigitales.com (*12)
Báscula para pesaje de camiones	1.500 €	balanzasdigitales.com (*12)
Contenedores de 30 m3 para la recepción del material (x3)	8500 €	treguicontenedores.com (*13)
Contenedor trapezoidal para el almacenaje (x8)	9000 €	treguicontenedores.com (*13)
Contenedores tipo big box (x10)	700 €	treguicontenedores.com (*13)
Jaulas de almacenaje (x14)	3500 €	treguicontenedores.com (*13)
Mesa descontaminación (x2)	1.000 €	mesasaceroinoxidable.com(*14)
Carretilla elevadora hyster (motor diesel)	14.000 €	Hyster.com (*15)
Traspales	500€	traspaletas.com(*16)
Contenedores reactivos químicos(x3)	750€	treguicontenedores.com(*13)
TOTAL		40.650€

Fuente: Elaboración propia

Equipos informáticos de oficina

Tabla 15.4 Inversión inicial Equipos informática

Equipo	€	FUENTE
Ordenadores (3x)	3.000 €	Mediamarkt(*17)
Impresora/scanner/copiadora	1.000 €	
Otros equipos de oficina	1.000 €	
TOTAL		5.000 €

Fuente: Elaboración propia

Montaje y puesta en marcha

En este caso la fuente de información para obtener este dato, más complejo de hallar, ha sido un proyecto de diseño de una planta de tratamiento de RAEE, de la Universidad Pontificia Comillas de Madrid [25]

Tabla 15.5 Inversión inicial Montaje y puesta en marcha

Concepto	€
Montaje y puesta en marcha	60.000 €
TOTAL	60.000 €

Fuente: Elaboración propia

A modo de resumen en la siguiente tabla se muestra la inversión necesaria para poder llevar a cabo el proyecto

Tabla 15.6 Inversión Inicial RESUMEN

Concepto	Subtotal (€)	Total inversión (€)
Instalación (nave industrial)	2.800.000 €	4.098.650 €
Equipos (maquinaria)	1.193.000 €	
Equipos informáticos	5.000 €	
Otros equipos	40.650 €	
montaje y puesta en marcha	60.000	

Fuente: Elaboración propia

15.2 Amortizaciones

Es necesario calcular las amortizaciones de los distintos equipos presentes en la planta de tratamiento, ya que sufren un desgaste y se produce una depreciación a lo largo de los años, de modo que es un factor a tener en cuenta.

A través de la amortización se refleja la depreciación sufrida por el inmovilizado de la planta. Para calcular los distintos valores anuales de amortización, se opta por amortizar lo más rápido posible, para ello se calcula la amortización teniendo en cuenta el coeficiente lineal máximo establecido en la tabla de coeficientes de amortización del anexo del Real Decreto 1777/2004[26]. De este modo, en este proyecto se calcula un periodo de amortización de 10 años, sin embargo existen casos excepcionales como la nave industrial que tiene un coeficiente de amortización del 3%, o los equipos informáticos que tienen un coeficiente del 25%. Esto significa que al cuarto año los equipos informáticos ya se habrán amortizado, y al final del periodo de 10 años todavía quedará un valor residual bastante elevado de amortización para la nave industrial.

En el anexo se presenta la Tabla 18.11 con los resultados del cálculo de la amortización a 10 años.

15.3 Ingresos

La planta de tratamiento que se diseña tiene dos fuentes de ingresos, la primera es la venta de materiales recuperados, entre los que se considera, la venta de *scraps* de hierro, cobre, aluminio y plástico mixto, la venta del oro recuperado y la venta de las baterías extraídas de

los teléfonos móviles, ordenadores portátiles y teléfonos inalámbricos. La segunda fuente de ingresos es la tasa que pagan los SIG, en función de los kg de RAEE tratados.

Ingresos por venta de materiales recuperados

Para conocer la cantidad ingresada gracias a la venta de materiales recuperados se deben conocer los precios de estos materiales recuperados, puesto que las cantidades ya las conocemos. Una buena referencia para encontrar los precios de venta es el portal de *London Metal Exchange* (*18), sin embargo el precio que allí aparece es el precio de cotización en bolsa del metal puro. En este caso estamos hablando de un material recuperado, por lo tanto su precio debe ser un porcentaje del precio de cotización en bolsa. Este porcentaje depende de varios factores, sin embargo uno de los más importantes es la calidad del material recuperado.

Se contactó con el Gremio de Recuperadores de Catalunya para averiguar precios representativos, sin embargo no estaban autorizados para facilitar dicha información por su influencia en los precios de mercado. Se recomendó que se buscaran los precios orientativos a través del portal *Metalday* (*19), donde se encontraron los precios que figuran en la Tabla 15.7 donde se calculan los ingresos conseguidos con la venta de todos los materiales recuperados. Con los precios actuales, a día de hoy se conseguirían unos ingresos anuales por la venta de materiales de 2.530.000€ aproximadamente, cabe destacar que el 75% aproximadamente de todos los ingresos por venta de materiales hacen referencia a la venta del oro. Hay que tener presente que el precio de los metales es muy volátil, y los ingresos que se generan a día de hoy, pueden variar mucho en el tiempo, en función de la cotización en bolsa de los diferentes metales.

Tabla 15.7 ingresos material recuperado

Material recuperado	Cantidad	Precio del recuperado	unidad	Ingreso anual
Scrap de Cobre	45767,29	3,2	€/kg	146455,33
Scrap Acero/hierro	807293,85	0,13	€/kg	104948,20
Scrap Aluminio	43540,82	0,5	€/kg	21770,41
Scrap plástico mixto	544413,17	0,04	€/kg	21776,52
Cobre (cable)	7895,74	0,04	€/kg	315,82
Plástico (cable)	7895,74	3,2	€/kg	25266,39
Oro(PCB)	55,25	35.000	€/kg	1934002,2
Baterías	73789,88	0,4	€/kg	29515,95
TOTAL		2.530.215,17		€

Fuente: Elaboración propia

Ingresos por tarifa de reciclaje

Por lo que a la segunda fuente de ingresos se refiere, es decir la tarifa que pagan los sistemas integrales de gestión por cada Kg de RAEE tratado, se conoce que el precio por kg de RAEE tratado oscila entre 0,12 €/Kg y 0,15 €/Kg. En este trabajo se ha optado por un valor conservador de 0,12€/Kg tratado. Entonces conociendo que en la planta se tratan 2051,3 Tn el primer año, el ingreso anual procedente de la tasa de reciclaje es de 246.164,32 €.

Tabla 15.8 Ingresos tasa de reciclaje

Concepto	Cantidad tratada(tn)	Tarifa por kg reciclado(€)	Ingreso anual(€)
RAEE	2051,3 Tn	0,12	246164,3285
TOTAL	246.164,33 €		

Fuente: Elaboración propia

Un factor importante a tener en cuenta es que a todos los ingresos mencionados, por venta y por tasa de reciclaje, se les aplica el IPRI, índice de precios industriales, que mide la evolución mensual del precio de venta de los productos industriales. Estos valores se pueden consultar en Instituto Nacional de Estadística, sin embargo el valor del IPRI, ha variado mucho en los últimos años, de modo que para ser lo más representativos posible, se ha calculado el valor medio desde inicios de 2008 hasta inicios de 2016, y se ha obtenido un valor de 1,23%.

En el anejo se encuentra la tabla Tabla 18.12 de ingresos, que muestra los resultado de las ventas a lo largo de los 10 primeros años aplicando el índice de precios industriales calculado.

15.4 Gastos

Los gastos proceden de los distintos costes que se dividen en gastos generales (gastos de mantenimiento y administrativos), gastos de personal de la plantilla de trabajadores, gastos de gestión de los residuos, gastos de electricidad (potencia contratada, energía consumida en iluminación, energía consumida por la maquinaria y gastos asociados al consumo de combustible) y gastos financieros.

En anejo x se puede consultar la tabla que recoge todos los cálculos y resultados de los gastos de la planta en los próximos 10 años desde su puesta en marcha. Cabe mencionar que se ha tenido en cuenta el índice de precios de consumo (IPC), sobre los gastos de gestión de los residuos, los gastos energéticos, gastos generales y gastos de personal. El IPC es el índice de precios al consumo, que permite reflejar las variaciones que experimentan los precios en un periodo de tiempo determinado, siendo así un indicador de la inflación de los precios.

Al igual que sucede con el IPRI, el valor de IPC es fluctuante, por este motivo se ha calculado el valor medio desde inicios de 2008 hasta inicios de 2016 y valor obtenido es de 1,05%.

Gastos financieros

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15.9 Gastos financieros

Concepto		Gasto anual (€)
Mantenimiento	Nave industrial (1% del coste inicial)	28.000 €
	Equipos (2% del coste inicial)	23.860 €
Administrativos	Auditoria y programa de vigilancia ambiental	60.000 €
TOTAL		111.860 €

Para poder materializar este proyecto se pide un crédito. Como se ha visto en el apartado de amortizaciones el tiempo de vida útil de la mayoría de los equipos es de 10 años, tal como se establece en Real Decreto 1777/2004, es por este motivo que se plantea devolver la cantidad financiada más los intereses en un periodo de 10 años. Se considera que el banco da el crédito con un 7% de interés. Cabe destacar que para el calcular el capital a devolver anualmente se emplea el método de cuotas de amortización constante. Éste consiste en descontar cada año al capital residual a devolver una cuota fija, pagando los intereses del capital pendiente junto con la cuota fija de amortización. De esta manera las cuotas totales anuales son cada vez menores.

Gastos generales

Los costes de mantenimiento se han asociado al mantenimiento general de la nave industrial y al mantenimiento de los equipos que hay en ella. Para estimar los costes de mantenimiento anual de la nave industrial se ha considerado que representan un 1% de coste de nave. Para el mantenimiento de la maquinaria anual se ha considera un 2% del coste de adquisición.

Como costes administrativos se han considerado las auditorias y programas de vigilancia ambiental. En este caso la fuente de información ha sido un proyecto de estudio de viabilidad de una planta de tratamiento de RAEE [25]

Gastos de personal

Los salarios de la plantilla que forma el equipo de trabajo de la planta de tratamiento, se han obtenido de la distribución salarial por ocupación (2014), del Instituto Nacional de Estadística[27]. Cabe destacar que los salarios que figuran en la siguiente tabla son salarios brutos.

Tabla 15.10 Gastos de personal

Cargo	número de trabajadores	sueldo (€)	Gasto anual (€)
Gerente/director	1	3.962 €	47.544 €
Jefe/Técnico de planta	2	2.856 €	68.544 €
Técnico de residuos	1	2.228 €	26.736 €
Administrativo	2	1.814 €	43.536 €
Operarios	10	1.757 €	210.840 €
TOTAL			397.200 €

Fuente: Elaboración propia

Gastos de gestión de residuos

Para averiguar los costes de gestión de los residuos se ha utilizado el canon sobre los residuos, concretamente la última actualización de la Agencia de Residuos de Catalunya^(*20), por la cual se establece que el tratamiento final, que consiste en deposición de residuos industriales en vertedero, implica un coste de 11,85€/tn.

Tabla 15.11 Gastos gestión de residuos

Concepto	tn	coste unitario(€/tn)	coste total (€)
Residuos a vertedero	404,00	11,85 €	4787,4
TOTAL		4.787 €	

Fuente: Elaboración propia

Gastos asociados al consumo energético.

En cuanto a los costes asociados al consumo energético se habla sobre el consumo de energía de la maquinaria, el consumo energético vinculado a la iluminación, el coste anual de la potencia contratada y coste asociado al consumo de combustible.

En cuanto a la energía eléctrica, los precios actualizados de Endesa establecen 0,14€/kwh, y el precio del Kw contratado (instalado) es de 15€/Kw. La tabla de consumo de energía por equipos, nos da una idea de la cantidad de potencia que se debe de contratar. Para esta instalación la potencia contratada será de 365Kw.

Para calcular los gastos de combustible se ha considerado el consumo medio de carretilla elevadora, según la casa comercial Hyster, es de 3l/h, y se supone que la carretilla operara 3 horas al día. El precio del combustible, al ser un motor diesel es de 1,2€/l.

Para realizar los cálculos es importante conocer que la planta estará operativa 250 días al año durante 8 horas al día. Sin embargo a la hora de establecer los consumos de la maquinaria, en función de su capacidad de tratamiento y la cantidad de RAEE a tratar, se ha estimado las horas de operación "real", para tratar de ser lo más representativo posible. Los consumos de la maquinaria se han extraído de las fichas técnicas de los equipos que figuran en los portales webs de cada una de las casas comerciales.

- **Consumo de energía eléctrica de los equipos**

Tabla 15.12 Coste energía, consumo equipo

Equipo	Horas/día	Potencia (Kw)	Consumo anual (Kwh)	Coste (€)	Fuente
Desmontadora (crack-o-mate) E12 (incluye cinta inclinada + filtro de mangas)	3	15	11.250	1.575 €	Recovery SA ^(*)
Pre-triturador de 2 ejes WJ 200E (1300) (incluye Cinta inclinada + filtro de mangas)	5	42,5	53.125	7.438 €	Recovery SA ^(*)
Triturador mono-rotor 142 (Incluye cinta inclinada + filtro de mangas)	6	30	45.000	6.300 €	Recovery SA ^(*)
Separador de metales Fe/noFe (Incluye cinta transportadora, separador tipo overband)	6	5,5	8.250	1.155 €	Recovery SA ^(*)

Equipo de reciclado de cable (compuesto por pre-triturador, triturador, sistema neumático, mesa densimétrica, filtro de mangas)	1	11	2.750	385 €	Recovery SA ^(*7)
Separador corrientes de Eddy (focault)	6	7	12.000	1.680 €	Regulatorcetri sa ^(*8)
Mesa de separación densimétrica (KDM 750)	5	11,5	14375	2.013 €	Darktek vibración ^(*9)
Equipo tratamiento de PCBs (incluye triturador, pre-triturador, ciclón, separador por vibración y torre de adsorción)	5	85	106.250	14.875 €	Vary group ^(*6)
Cinta transportadora plana (15 +10) zona clasificación, salida trituradora	6	10	15.000	2.100 €	Cintasa.com ^(*7)
Equipo de tratamiento de gases tóxicos (scrubber)	8	23	46000	6.440 €	gemata ^(*11)
Equipo electro-recuperación	8	99	198000	27.720 €	SX KINETICS[22]
Celda electrolítica	6	25	37.500	5250 €	
TOTAL	76.931 €				

Fuente: Elaboración propia

- **Consumo energético en iluminación**

Tabla 15.13 Gasto iluminación

Equipo	Unidades	Potencia por unidad (w)	Consumo anual (Kwh)	Coste (€)
tubos tipo LED de 150 cm	80	25	4.000	560 €
TOTAL	560 €			

Fuente: Elaboración propia

- **Potencia contratada**

Tabla 15.14 gasto potencia contratada

Concepto	(kw)	unidad	Precio (€)	Coste (€)
Potencia contratada	365	€/ kw	15	5475€
TOTAL	5475 €			

Fuente: Elaboración propia

- **Consumo de combustible**

Tabla 15.15 Gasto combustible

Concepto	Consumo (l/h)	Consumo anual (L)	Precio (€/L)	Coste (€)
Combustible	3	2250 L	1,2	2.700 €
TOTAL				2700 €

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de apartado de gastos se muestran en la Tabla 18.13 del anexo.

15.5 Cuentas de gastos e ingresos

La cuenta de gastos e ingresos contiene todos los ingresos y gastos de la empresa.

Para realizar la cuenta de gastos e ingresos se debe calcular el EBITDA, siglas que provienen del término anglosajón *Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation, and Amortization*. por lo tanto es el resultado de la resta de los gastos a los ingresos, sin contabilizar los intereses, impuestos y amortizaciones. El siguiente paso es restar la amortización al EBITDA, obteniendo de este modo los resultados de la explotación.

A los resultados de la explotación se le debe sumar los ingresos financieros, que en este caso son cero, y restar los costes financieros, obteniendo ahora el resultado financiero.

Acto seguido, al resultado de la explotación se le resta el resultado financiero, y se obtienen el resultado de antes de impuesto de sociedades. Finalmente se resta el impuesto de sociedades, que actualmente el tipo general de impuesto de sociedades en España es del 30%, y se obtiene el balance entre los costes e ingresos anuales.

El resultado de la cuenta de gastos e ingresos a lo largo de los 10 años se incluyen en la Tabla 18.14 del anexo

15.6 CASH-FLOW

Para poder proceder al último apartado del estudio económico, la rentabilidad, es necesario conocer el *cash-flow*. El *cash-flow* representa la cantidad de dinero disponible para la instalación de tratamiento, por lo tanto en esta apartado se quiere calcular la cantidad disponible de dinero en cada año.

Para poder calcular el *cash-flow* se necesita el resultado de después de la aplicación del impuesto, que se ha obtenido en el apartado de cuenta de gastos e ingresos, los valores de la amortización del inmovilizado y la cuota de amortización, que es la cantidad de dinero a devolver al banco dividida de manera proporcional a lo largo de los 10 años. En este apartado también se calcula el valor de *cash-flow* acumulado para cada año.

Cabe destacar que los valores de amortización se tienen en cuenta ya que se consideran un artificio contable y no se traducen en efectivo que entre o salga de la planta de tratamiento.

Los resultados de apartado se muestran en la Tabla 18.15 del anexo.

15.7 Rentabilidad

La rentabilidad permite ver el atractivo de una inversión. Existen diversos métodos de cálculo, sin embargo en este trabajo se utilizará el VAN y el TIR, ambos parámetros que sirven para estudiar la viabilidad de un proyecto.

Para calcular el VAN se utiliza el *cash-flow* neto, dinero disponible para la planta de tratamiento, y se descuenta dicho *cash-flow* mediante el WACC, que es la tasa de rentabilidad o descuento, que permite ajustar el valor futuro del dinero al presente. Para calcular la tasa de descuento se utiliza la siguiente ecuación:

$$WACC = K_e \cdot \frac{CAA}{CAA + D} + K_d (1 - T) \cdot \frac{D}{CAA + D}$$

Tabla 15.16 Parámetros cálculo WACC

Parámetro	Valores
Ke: coste de oportunidad	0,17
D: Deuda financiera	4.385.555,5 €
T: impuesto sobre sociedades	30%
CAA: Inversión inicial	4.098.650 €
Kd: tipo de interés	7%
Tasa de rentabilidad (WACC)	10,7

Fuente: Elaboración propia

Una vez se obtiene la tasa de rentabilidad (WACC), se calcula el valor actual neto (VAN). Para el cálculo se emplea Excel, sin embargo también se puede calcular manualmente a través de la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t} - I_o$$

En la siguiente tabla se muestran los datos empleados para calcular el VAN.

Tabla 15.17 Parámetros cálculo VAN

Parámetro	Valores
CFt : Cash flow en cada periodo t	Consultar los datos del apartado de cash-flow (ANEXO)
I: tasa de descuento a los cash-flows (WACC)	10,7%
n: número de periodos considerado	10 años
I _o : desembolso inicial de la inversión	4.098.650 €

Fuente: Elaboración propia

Para saber si el proyecto es rentable, se debe comprobar que el valor de VAN sea superior a 0, en el caso de ser inferior se determinaría la no rentabilidad.

Por lo que a la Tasa Interna de Retorno (TIR) se refiere, mencionar que es la tasa a la cual el VAN se hace cero. El TIR es también un indicador de la rentabilidad de un proyecto, de manera que si el TIR es mayor que la tasa de rentabilidad (WACC) calculada previamente, el proyecto se acepta, mientras que si no lo es, se rechaza. Para poder calcular el TIR se han utilizado el *cash-flow* de cada año y el valor de inversión inicial, a diferencia del cálculo del VAN, para el TIR no se utiliza la tasa de descuento.

Los cálculos del VAN y el TIR se ha realizado con Excel, y los resultados se exponen en el siguiente capítulo, en la Tabla 16.1 y también se recoge en la Tabla 18.16 del anexo

16 Resultados del estudio económico

Teniendo en cuenta todos los factores mencionados a lo largo del estudio económico, se procede a comentar los resultados obtenidos y presentados en el anexo. Destacar que se pondrá especial atención a los resultados de la rentabilidad del proyecto, ya que se obtienen a partir de los resultados de los distintos apartados del estudio económico, permitiendo determinar finalmente si el proyecto es rentable o no.

Empezando por los ingresos, ante todo se debe destacar que los ingresos que proceden de la venta de materiales recuperados, dependen directamente de la cantidad de RAEE que llegan a la planta de tratamiento. En este trabajo se ha considerado que el flujo de entrada de RAEE es constante a lo largo de los 10 años, empleando el valor de generación de RAEE estimado para el año 2018, año en que la planta de tratamiento puede estar operativa. Tal como se ha visto en el capítulo de la estimación de generación de RAEE, la tendencia es de aumento, por lo tanto a efectos reales se podría considerar que se ha subestimado la cantidad de metales recuperados y por lo tanto también los ingresos asociados a dicha recuperación y venta. Otro aspecto importante a destacar, que afecta directamente a los ingresos, es que se ha considerado que el precio de los materiales recuperados a lo largo de los 10 años, se mantienen prácticamente constante, simplemente se ha aplicado el IPRI, por lo tanto se ha tenido en cuenta la inflación de los precios. De todos modos, analizando la tendencia del precio de los metales en los últimos años, es de esperar que siga aumentando, por lo tanto en este sentido también se ha producido una subestimación.

Los metales que más ingresos generan son el cobre y el oro. De oro se recuperan solamente 55,3 Kg al año pero como su precio de mercado es muy elevado, es el metal que más ingresos genera a lo largo de los años que se plantea el estudio económico. En cuanto al cobre, su precio es también elevado, pero mucho menor que el de oro, sin embargo la cantidad recuperada es mayor. Mencionar que el tercer mayor ingreso por venta de materiales es debido al acero/hierro, no por su valor, sino por su cantidad.

En cuanto a los ingresos por tasa de reciclaje, anualmente son la fuente que genera más ingresos después del oro.

Por lo que a gastos se refiere, el mayor gasto en los primeros años se asocia al gasto financiero, ya que se debe devolver el préstamo al banco, aunque debido a la aplicación del método de cuotas de amortización constante a lo largo de los años, se va reduciendo hasta el año 10, en el que se ha devuelve todo el préstamo e intereses. El segundo gasto más importante es el del personal, que aun y considerando la inflación no se contemplan incrementos de sueldo a lo largo de los 10 años. El tercer gasto más importante es el eléctrico, seguido de los gastos generales (mantenimiento y administrativos) y en último lugar los gastos de gestión de residuos generados en el proceso.

Respecto a la cuenta de gastos e ingresos como se puede ver, muestra el balance de los gastos e ingresos después de tener en cuenta las amortizaciones, los intereses y el impuesto de sociedades. El balance es positivo y va aumentando a lo largo de los 10 años en que se plantea el estudio económico.

Los resultados del Cash-flow, dinero del que dispone la planta al final de cada ejercicio experimenta un crecimiento a lo largo de los 10. Este resultado es muy importante a la hora de calcular la rentabilidad de la planta.

Para poder determinar la rentabilidad del proyecto se han calculado los valores del VAN y el TIR. Los resultados del estudio de la rentabilidad se presentan en la siguiente Tabla 16.1

Tabla 16.1 Cálculo VAN y TIR

CALCULO DE VAN Y TIR		AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
INVERSIÓN	4.098.650										
CASHFLOW		758.584 €	796.084 €	833.585 €	871.086 €	906.453 €	943.953 €	981.454 €	1.018.955 €	1.056.455 €	1.093.956 €
TASA DE RENTABILIDAD		10,7%	10,7%	10,7%	10,7%	10,7%	10,7%	10,7%	10,7%	10,7%	10,7%
FACTOR DE DESCUENTO (WACC)		1	0,8975	0,795	0,6925	0,59	0,4875	0,385	0,2825	0,18	0,0775
CASHFLOW X FACTOR DE DESCUENTO		758.584 €	714.486 €	662.700 €	603.227 €	534.807 €	460.177 €	377.860 €	287.855 €	190.162 €	84.782 €
PAYBACK		-3.340.066 €	-2.625.581 €	-1.962.881 €	-1.359.654 €	-824.847 €	-364.669 €	13.190 €	301.045 €	491.207 €	575.989 €
VAN	1.241.591,77 € El proyecto es rentable	VAN > 0									
TIR	17% Se acepta el proyecto	TIR > Tasa de rentabilidad (WACC)									

Fuente: Elaboración propia

Empleando el valor de la tasa de descuento calculado previamente (10,7%) se obtiene un Valor Actual Neto (VAN) de 1.241.591,77€, cifra superior a 0, lo que significa que el proyecto es rentable. El valor del TIR obtenido es del 17%, por tanto es superior a la tasa de rentabilidad (WACC) que es del 10,7%. De acuerdo a estos resultados el proyecto se acepta. Por lo tanto se concluye que empleando diferentes métodos para estudiar la rentabilidad del proyecto, en ambos casos se obtiene un resultado que determina que el proyecto de la planta de tratamiento de RAEE de categoría 3 en Catalunya, es viable.

Adicionalmente se ha calculado el payback, que permite determinar el tiempo necesario para retornar la inversión inicial. Se calcula destinando todo el cash-flow anual al retorno de la inversión. De este modo se obtiene que al cabo de los 6 años desde el inicio del funcionamiento de la planta de tratamiento de RAEE, se consigue retornar la inversión inicial al completo.

17 Conclusiones

En este capítulo final se exponen las conclusiones del trabajo realizado.

Los elevados costes asociados al proceso de obtención de metales procedentes del mineral, la escasez de algunos de ellos, la gran cantidad de metales contenidos en los AEE y el constante aumento de la generación de RAEE, pone de manifiesto la necesidad de entender este flujo de residuos como una fuente potencial de metales recuperados, contribuyendo de esta manera al uso eficiente de los recursos.

Los AEE en las últimas dos décadas se han convertido en un elemento indispensable en la vida cotidiana de las personas. Los avances tecnológicos constantes y los ciclos de vida cortos implican un mayor consumo, que se traduce en una mayor generación de RAEE.

Según las estimaciones realizadas sobre la generación de RAEE de categoría 3 en Catalunya, la cantidad generada sigue una tendencia general de aumento. Los RAEE que se generan en mayores cantidades son los de categoría 1, sin embargo cuando hablamos en términos de unidades o equipos, es evidente que la categoría de la que más RAEE se genera es la última mencionada, por su constante innovación y su tiempo de vida reducido.

En cuanto al tratamiento, hay dos factores indispensables, la clasificación y la caracterización. Cuando se pretende recuperar metales para su posterior uso como materias primas secundarias, es muy importante conocer las características y condiciones de los equipos a tratar, para agruparlos o segregarlos y así someterlos al tratamiento más adecuado y específico posible.

Gran parte del peso de los RAEE se asocia al contenido de metales, que pueden ser férricos y no férricos, por eso son un residuo interesante en términos de recuperación de este material. No obstante, los RAEE de categoría 3 van un poco más allá, ya que aparte de ser un flujo que se genera en abundancia, presenta mayores concentraciones de metales preciosos, normalmente asociados a las tarjetas de circuitos impresos, tanto es así que los RAEE de categoría 3 se consideran un residuo muy atractivo.

Según el proceso diseñado, la línea de pre-tratamiento general, de la cual se obtienen los *scraps* de diferentes metales y no metales, es común y a la vez totalmente necesaria, no solo por el tratamiento del residuo en sí, sino por la cantidad de materias primas secundarias que se pueden recuperar. Sin embargo, lo que no es común es una línea de tratamiento de tarjetas de circuitos impresos que permita la recuperación del oro, u otros metales preciosos.

La línea 3 de tratamiento de tarjetas de circuitos impresos, tiene capacidad para tratar cantidades mayores de estos componentes, de modo que podría ser interesante que la planta de tratamiento pudiera absorber flujos externos procedentes de otras plantas que no incluyen el proceso final.

A día de hoy se debe apostar por plantas que, en la medida de lo posible, cuenten con proceso final de tratamiento. Tal cómo se ha podido constatar en este trabajo la recuperación del oro es la mayor fuente de ingresos, contribuyendo de manera notoria a que el proyecto sea rentable.

Teniendo en cuenta la estimación sobre la cantidad de RAEE de categoría 3 que se generan en Catalunya, y el diseño de proceso y planta presentado, se concluye que es viable ejecutar un proyecto de estas características.

Este proyecto, más allá de los resultados obtenidos, va en la línea de los principios que se tratan de transmitir desde la Unión Europea a los diferentes estados miembro, ya que consiste en un proyecto basado en un modelo circular y sostenible, que fomenta el uso eficiente de los recursos.

18 ANEXOS

kg /hab/Any d'AEE posats mercat a Espanya.	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1. Grandes electrodomésticos	12,690	9,819	8,678	9,388	8,477	7,479	6,952	7,433	8,339
2. Pequeñas electrodomésticos	1,201	1,193	1,108	1,232	1,131	1,064	1,012	0,997	1,013
3. Equipos de informática y telecomunicaciones	2,644	2,387	1,877	1,837	1,596	1,350	1,461	1,438	1,480
4. Equipos electrónicos de consumo	2,164	1,661	1,584	1,673	1,240	1,105	0,762	0,814	0,778
5. Equipos de alumbrado	1,336	1,046	0,834	0,780	0,648	0,520	0,514	0,588	0,616
6. Herramientas eléctricas y electrónicas	0,460	0,366	0,306	0,363	0,372	0,282	0,253	0,271	0,305
7. Juguetes o equipos deportivos	0,626	0,547	0,439	0,484	0,400	0,331	0,313	0,330	0,361
8. Equipos médicos	0,244	0,164	0,144	0,148	0,150	0,120	0,119	0,133	0,133
9. Instrumentos de vigilancia y control	0,047	0,051	0,059	0,064	0,095	0,043	0,056	0,050	0,058
10. Máquinas expendedoras	0,262	0,226	0,167	0,158	0,141	0,153	0,142	0,165	0,197
KG/HAB	21,674	17,460	15,194	16,126	14,249	12,448	11,584	12,220	13,279

Tabla 18.2 AEE Puestos en mercado en España

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Tn RAEE Recogida							
1. Grandes electrodomesticos	83940	90678	87205,00	87986	126115	100435,33	104845,44
2. Pequeños electrodomesticos	4963	4564	7559	7019	9619	8065,67	8234,56
3. Equipos de la información y telecomunicaciones	12426	23074	20875	16230	20761	19288,67	18759,89
4. Equipos de consumo	20775	26298	23293	23842	37419	28184,67	29815,22
5. Equipos de alhumbado	1.003	1.659	2.049	2.591	4106	2915,33	3204,11
6. Herramientas eléctricas y electronicas	1221	1246	2017	1885	1343	1748,33	1658,78
7. juguetes y equipos deportivos	551	717	1109	1002	1139	1083,33	1074,78
8. Equipos médicos	78	122	57	77	88	74,00	79,67
9. Instrumentos de vigilancia y control	74	157	138	148	172	152,67	157,56
10. Maquinas expendedoras	8	8	6	5466	4	1825,33	2431,78

Tabla 18.1 Tn RAEE recogidos

tn AEE puestas en mercado en CATALUNYA	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1. Grandes electrodomésticos	91.505	72.310	64.868	70.523	63.915	56.626	52.516	55.888	62.613
2. Pequeños electrodomésticos	8.661	8.788	8.283	9.252	8.526	8.058	7.642	7.499	7.603
3. Equipos de informática y telecomunicaciones	19.062	17.579	14.033	13.797	12.032	10.217	11.035	10.814	11.112
4. Equipos electrónicos de consumo	15.606	12.235	11.841	12.571	9.347	8.365	5.758	6.120	5.842
5. Equipos de alumbrado	9.635	7.702	6.232	5.861	4.887	3.938	3.885	4.419	4.623
6. Herramientas eléctricas y electrónicas	3.317	2.695	2.284	2.726	2.802	2.138	1.909	2.036	2.287
7. Juguetes o equipos deportivos	4.511	4.026	3.278	3.638	3.015	2.508	2.362	2.483	2.712
8. Equipos médicos	1.758	1.209	1.073	1.111	1.128	909	897	1.004	997
9. Instrumentos de vigilancia y control	336	373	439	478	716	327	426	376	437
10. Máquinas expendedoras	1.891	1.664	1.249	1.187	1.066	1.160	1.071	1.244	1.477
total tn en catalunya	156.282	128.580	113.581	121.143	107.435	94.246	87.501	91.883	99.704

Tabla 18.3 Tn AEE en mercado en Catalunya

AEE puestos en mercado en Cataluña (kg) (FUENTE MINETUR)	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Grandes ordenadores	639729,64	565629,97	366391,73	445625,17	500804,25	405754,84	318670,12	298898,39	518412,66	378660,39	398657,15
Ordenadores personales (unidad central+raton+teclado)	5672927,79	5651555,14	4248644,34	4218687,76	2832053,73	2103005,74	1822295,36	2211505,83	2320169,69	2117990,29	2216555,27
miniordenadores	84657,82	178174,36	67917,62	42459,92	51664,78	40933,30	50246,89	29519,39	18707,89	32824,72	27017,33
ordenadores portatiles (unidad central, raton, y teclado)	273400,68	135123,90	131932,57	139608,58	138636,07	99305,57	121066,25	158929,26	235923,39	171972,96	188941,87
Portatiles notebook	1055987,70	1521495,98	1269103,83	1383800,85	893738,25	709341,07	538533,93	643725,72	603177,95	595145,87	614016,51
telefonos celulares	663018,87	586914,38	432033,06	358113,71	352840,75	314996,22	338065,75	389955,26	497325,60	408448,87	431909,91
Ordenadores portatiles tipo notepad(tableta)	21892,19	41180,94	1360,11	1442,31	129592,02	173552,13	207405,47	181199,91	142687,19	177097,52	166994,87
telefonos inalambricos	223950,89	189879,76	204712,69	195488,01	162359,60	132661,69	125724,41	114768,02	106968,48	115820,30	112518,93
Telefonos	261941,71	225505,98	128719,42	110213,30	99025,56	81538,65	68262,02	59070,95	65426,04	64253,00	62916,67
Unidades de impresión	197926,53	216113,06	166820,25	100847,92	107742,12	79558,69	73464,95	81519,42	64514,23	73166,20	73066,61
Impresoras	3054019,15	3091733,71	2208282,94	1924369,12	1719371,07	1561542,46	1546072,59	1851818,90	2081902,69	1826598,06	1920106,55
Copiadoras	1790329,07	1395460,25	997134,74	1274175,62	1052854,50	1019539,71	936088,05	760601,87	853848,24	850179,39	821543,17
Fax	234675,53	185137,74	210187,74	277537,45	251892,12	51829,06	107459,36	130221,86	106302,85	114661,36	117062,02
										Promedio de los 3 años anteriores	

Tabla 18.4 AEE puestos en mercado en Catalunya desagregados

Recuperación de materias primas secundarias de RAEE
Máster de ingeniería ambiental
Universidad Politécnica de Cataluña (UPC)

Grandes ordenadores	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
POM 2007	9595,944626	25589,18567	38383,7785	51178,37134	63972,96417	67171,61238	63972,96417	57575,66775	51178,37134	44781,07492	38383,7785	31986,4821	25589,1857
POM 2008		8484,449597	22625,19892	33937,79839	45250,39785	56562,99731	59391,14718	56562,99731	50906,69758	45250,39785	39594,09812	33937,7984	28281,4987
POM 2009			5495,875912	14655,6691	21983,50365	29311,3382	36639,17275	38471,13139	36639,17275	32975,25547	29311,3382	25647,4209	21983,5036
POM 2010				6684,377576	17825,00687	26737,5103	35650,01374	44562,51717	46790,64303	44562,51717	40106,26546	35650,0137	31193,762
POM 2011					7512,063689	20032,16984	30048,25476	40064,33968	50080,42459	52584,44582	50080,42459	45072,3821	40064,3397
POM 2012						6086,322663	16230,19377	24345,29065	32460,38754	40575,48442	42604,25864	40575,4844	36517,936
POM 2013							4780,051756	12746,80468	19120,20702	25493,60937	31867,01171	33460,3623	31867,0117
POM 2014								4483,475906	11955,93575	17933,90363	23911,8715	29889,8394	31384,3313
POM 2015									7776,189921	20736,50646	31104,75968	41473,0129	51841,2661
POM 2016										5679,905861	15146,41563	22719,6234	30292,8313
POM 2017											5979,857229	15946,2859	23919,4289
POM 2018												6478,651	17276,4027
POM 2019													6046,13803
						205901,9507	246711,7981	278812,2245	306908,0295	330573,101	348090,0793	362837,357	376257,636
Ordenadores personale	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
POM 2007	85093,91688	226917,1117	340375,6675	453834,2234	567292,7792	595657,4182	567292,7792	510563,5013	453834,2234	397104,9454	340375,6675	283646,39	226917,112
POM 2008		84773,32703	226062,2054	339093,3081	452124,4109	565155,5136	593413,2892	565155,5136	508639,9622	452124,4109	395608,8595	339093,308	282577,757
POM 2009			63729,6651	169945,7736	254918,6604	339891,5472	424864,434	446107,6557	424864,434	382377,9906	339891,5472	297405,104	254918,66
POM 2010				63280,3164	168747,5104	253121,2656	337495,0208	421868,776	442962,2148	421868,776	379681,8984	337495,021	295308,143
POM 2011					42480,80589	113282,149	169923,2236	226564,2981	283205,3726	297365,6412	283205,3726	254884,835	226564,298
POM 2012						31545,08616	84120,22975	126180,3446	168240,4595	210300,5744	220815,6031	210300,574	189270,517
POM 2013							27334,43035	72891,81426	109337,7214	145783,6285	182229,5356	191341,012	182229,536
POM 2014								33172,5874	88460,23307	132690,3496	176920,4661	221150,583	232208,112
POM 2015									34802,54541	92806,78775	139210,1816	185613,576	232016,969
POM 2016										31769,85439	84719,61169	127079,418	169439,223
POM 2017											33248,32906	88662,2108	132993,316
POM 2018												33273,5763	88729,5368
POM 2019													32763,9199
							2204443,407	2402504,491	2514347,166	2564192,959	2575907,072	2569945,61	2545937,1

Tabla 18.5 - Grandes ordenadores- Generación RAEE (kg) Catalunya

telefonos inhalambricos	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
POM 2007	6718,52671	16796,3168	26874,1069	29113,6158	33592,6336	29113,6158	24634,5979	17916,0712	14556,8079	8958,03562	7838,28116	4479,01781	2239,5089
POM 2008		5696,39272	14240,9818	22785,5709	24684,3685	28481,9636	24684,3685	20886,7733	15190,3806	12342,1842	7595,1903	6645,79151	3797,59515
POM 2009			6141,38068	15353,4517	24565,5227	26612,6496	30706,9034	26612,6496	22518,3958	16377,0152	13306,3248	8188,50758	7164,94413
POM 2010				5864,64031	14661,6008	23458,5612	25413,4413	29323,2016	25413,4413	21503,6811	15639,0408	12706,7207	7819,52041
POM 2011					4870,7879	12176,9698	19483,1516	21106,7476	24353,9395	21106,7476	17859,5556	12988,7677	10553,3738
POM 2012						3979,8507	9949,62674	15919,4028	17246,0197	19899,2535	17246,0197	14592,7859	10612,9352
POM 2013							3771,73216	9429,3304	15086,9286	16344,1727	18858,6608	16344,1727	13829,6846
POM 2014								3443,04052	8607,60129	13772,1621	14919,8422	17215,2026	14919,8422
POM 2015									3209,05436	8022,63591	12836,2175	13905,9022	16045,2718
POM 2016										3474,60901	8686,52253	13898,4361	15056,6391
POM 2017											3375,56796	8438,91991	13502,2719
POM 2018												3353,07711	8382,69278
POM 2019													1913,68239
							138643,822	144637,217	146182,569	141800,497	138161,223	132757,302	125837,962
telefonos	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
POM 2007	7858,25129	19645,6282	31433,0052	34052,4223	39291,2565	34052,4223	28813,5881	20955,3368	17026,2111	10477,6684	9167,95984	5238,83419	2619,4171
POM 2008		6765,1794	16912,9485	27060,7176	29315,7774	33825,897	29315,7774	24805,6578	18040,4784	14657,8887	9020,2392	7892,7093	4510,1196
POM 2009			3861,58252	9653,95631	15446,3301	16733,5243	19307,9126	16733,5243	14159,1359	10297,5534	8366,76213	5148,7767	4505,17961
POM 2010				3306,39896	8265,9974	13225,5958	14327,7288	16531,9948	14327,7288	12123,4628	8817,06389	7163,86441	4408,53194
POM 2011					2970,7667	7426,91675	11883,0668	12873,3224	14853,8335	12873,3224	10892,8112	7922,04453	6436,66118
POM 2012						2446,15947	6115,39868	9784,63788	10600,0244	12230,7974	10600,0244	8969,25139	6523,09192
POM 2013							2047,86063	5119,65159	8191,44254	8874,06275	10239,3032	8874,06275	7508,82232
POM 2014								1772,1286	4430,32151	7088,51441	7679,22394	8860,64301	7679,22394
POM 2015									1962,78115	4906,95287	7851,12459	8505,38497	9813,90574
POM 2016										1927,59013	4818,97532	7710,36051	8352,89055
POM 2017											1887,49996	4718,7499	7549,99984
POM 2018												1925,95708	4814,8927
POM 2019													1913,68239
							111811,333	108576,254	103591,957	95457,8132	89340,9877	82930,6387	76636,4188

Tabla 18.7 Otros teléfonos -- generación RAEE(KG) Catalunya

Recuperación de materias primas secundarias de RAEE
Máster de ingeniería ambiental
Universidad Politécnica de Cataluña (UPC)

miniordenadores	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
POM 2007	10158,9385	12698,6731	13545,2513	11852,0949	10158,9385	8042,49297	5926,04745	4232,89104	2963,02373	2116,44552	1269,86731	846,5782072	423,289104
POM 2008		21380,923	26726,1537	28507,8973	24944,4102	21380,923	16926,564	12472,2051	8908,71791	6236,10254	4454,35896	2672,615373	1781,74358
POM 2009			8150,11461	10187,6433	10866,8195	9508,46705	8150,11461	6452,17407	4754,23352	3395,88109	2377,11676	1697,940544	1018,76433
POM 2010				5095,18988	6368,98735	6793,58651	5944,3882	5095,18988	4033,69199	2972,1941	2122,99578	1486,097049	1061,49789
POM 2011					6199,77327	7749,71659	8266,36436	7233,06882	6199,77327	4908,15384	3616,53441	2583,238864	1808,2672
POM 2012						4911,99564	6139,99455	6549,32753	5730,66158	4911,99564	3888,66322	2865,330792	2046,66485
POM 2013							6029,62704	7537,03381	8039,50273	7034,56489	6029,62704	4773,454744	3517,28244
POM 2014								3542,32705	4427,90881	4723,10273	4132,71489	3542,32705	2804,34225
POM 2015									2244,94633	2806,18292	2993,26178	2619,104056	2244,94633
POM 2016										3938,96681	4923,70851	5251,955746	4595,46128
POM 2017											3242,08006	4052,600081	4322,77342
POM 2018												3141,997736	3927,49717
POM 2019													3441,01487
							57383,1003	53114,2173	47302,4599	43043,5901	39050,9287	35533,24024	32993,5447
ordenadores portátiles (unidad central, raton, pantalla y teclado)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
POM 2007	32808,0821	41010,1027	43744,1095	38276,0958	32808,0821	25973,065	19138,0479	13670,0342	9569,02396	6835,01711	4101,01027	2734,006845	1367,00342
POM 2008		16214,8675	20268,5843	21619,8233	18917,3454	16214,8675	12836,7701	9458,67269	6756,19478	4729,33635	3378,09739	2026,858434	1351,23896
POM 2009			15831,9088	19789,886	21109,2117	18470,5602	15831,9088	12533,5944	9235,28011	6596,62865	4617,64006	3298,314326	1978,9886
POM 2010				16753,029	20941,2863	22337,372	19545,2005	16753,029	13262,8146	9772,60026	6980,42876	4886,30013	3490,21438
POM 2011					16636,3284	20795,4105	22181,7712	19409,0498	16636,3284	13170,4267	9704,52491	6931,803506	4852,26245
POM 2012						11916,6687	14895,8359	15888,8916	13902,7802	11916,6687	9434,02939	6951,390077	4965,27863
POM 2013							14527,9495	18159,9368	19370,5993	16949,2744	14527,9495	11501,29332	8474,63718
POM 2014								19071,5111	23839,3889	25428,6815	22250,0963	19071,51111	15098,2796
POM 2015									28310,8064	35388,5081	37747,7419	33029,27419	28310,8064
POM 2016										20636,7557	25795,9446	27515,67423	24076,2149
POM 2017											22673,0244	28341,28051	30230,6992
POM 2018												23873,52884	29841,9111
POM 2019													22394,4363
							118957,484	124944,72	140883,217	151423,897	161210,487	170161,2355	176431,971
Portátiles notebook	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
POM 2007	126718,524	158398,155	168958,032	147838,278	126718,524	100318,832	73919,1391	52799,3851	36959,5696	26399,6925	15839,8155	10559,87702	5279,93851
POM 2008		182579,518	228224,397	243439,357	213009,437	182579,518	144542,118	106504,719	76074,799	53252,3593	38037,3995	22822,43971	15214,9598
POM 2009			152292,459	190365,574	203056,612	177674,536	152292,459	120564,863	88837,2678	63455,1913	44418,6339	31727,59564	19036,5574
POM 2010				166056,102	207570,127	221408,136	193732,119	166056,102	131461,08	96866,0593	69190,0424	48433,02965	34595,0212
POM 2011					107248,59	134060,738	142998,12	125123,355	107248,59	84905,1339	62561,6776	44686,91259	31280,8388
POM 2012						85120,9278	106401,16	113494,57	99307,7491	85120,9278	67387,4012	49653,87456	35467,0533
POM 2013							64624,072	80780,0901	86165,4294	75394,7507	64624,072	51160,72371	37697,3754
POM 2014								77247,0865	96558,8581	102996,115	90121,6009	77247,08649	61153,9435
POM 2015									72381,3542	90476,6927	96508,4722	84444,9132	72381,3542
POM 2016										71417,5042	89271,8803	95223,33898	83320,4216
POM 2017											73681,9816	92102,47704	98242,6422
POM 2018												72493,61335	90617,0167
POM 2019													72531,0331
							878509,187	842570,171	794994,698	750284,427	711642,977	680555,8819	656818,156

Tabla 18.8 Ordenador portátil - Generación RAEE (kg) Catalunya

Recuperación de materias primas secundarias de RAEE
Máster de ingeniería ambiental
Universidad Politécnica de Cataluña (UPC)

Unidades de impresión	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
POM 2007	5937,7959	13854,857	15834,122	16823,755	17813,388	16823,755	16823,755	14844,49	12865,2245	11875,592	9896,3265	8906,6939	7917,0612
POM 2008		6483,3918	15127,914	17289,045	18369,61	19450,176	18369,61	18369,61	16208,4796	14047,349	12966,784	10805,653	9725,0878
POM 2009			5004,6075	11677,417	13345,62	14179,721	15013,822	14179,721	14179,7211	12511,519	10843,316	10009,215	8341,0124
POM 2010				3025,4375	7059,3541	8067,8332	8572,0728	9076,3124	8572,07282	8572,0728	7563,5937	6555,1145	6050,8749
POM 2011					3232,2637	7541,9485	8619,3697	9158,0804	9696,79096	9158,0804	9158,0804	8080,6591	7003,2379
POM 2012						2386,7607	5569,1082	6364,6951	6762,48856	7160,282	6762,4886	6762,4886	5966,9017
POM 2013							2203,9484	5142,5463	5877,19581	6244,5206	6611,8453	6244,5206	6244,5206
POM 2014								2445,5826	5706,35934	6521,5535	6929,1506	7336,7477	6929,1506
POM 2015									1935,42682	4515,9959	5161,1382	5483,7093	5806,2805
POM 2016										2194,9859	5121,6339	5853,2958	6219,1268
POM 2017											2191,9984	5114,663	5845,3292
POM 2018												2107,4704	4917,4309
POM 2019													2164,8183
							75171,687	79581,038	81803,7595	82801,951	83206,355	83260,231	83130,833
Impresoras	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
POM 2007	91620,574	213781,34	244321,53	259591,63	274861,72	259591,63	259591,63	229051,44	198511,244	183241,15	152700,96	137430,86	122160,77
POM 2008		92752,011	216421,36	247338,7	262797,37	278256,03	262797,37	262797,37	231880,028	200962,69	185504,02	154586,69	139128,02
POM 2009			66248,488	154579,81	176662,63	187704,05	198745,46	187704,05	187704,05	165621,22	143538,39	132496,98	110414,15
POM 2010				57731,074	134705,84	153949,53	163571,38	173193,22	163571,375	163571,38	144327,68	125083,99	115462,15
POM 2011					51581,132	120355,97	137549,69	146146,54	154743,396	146146,54	146146,54	128952,83	111759,12
POM 2012						46846,274	109307,97	124923,4	132731,109	140538,82	132731,11	132731,11	117115,68
POM 2013							46382,178	108225,08	123685,807	131416,17	139146,53	131416,17	131416,17
POM 2014								55554,567	129627,323	148145,51	157404,61	166663,7	157404,61
POM 2015									62457,0807	145733,19	166552,22	176961,73	187371,24
POM 2016										54797,942	127861,86	146127,84	155260,84
POM 2017											57603,197	134407,46	153608,52
POM 2018												58286,073	136000,84
POM 2019													56895,737
							1177945,7	1287595,7	1384911,41	1480174,6	1553517,1	1625145,4	1693997,8
Copiadoras	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
POM 2007	53709,872	125323,04	143226,33	152177,97	161129,62	152177,97	152177,97	134274,68	116371,39	107419,74	89516,454	80564,808	71613,163
POM 2008		41863,807	97682,217	111636,82	118614,12	125591,42	118614,12	118614,12	104659,519	90704,916	83727,615	69773,012	62795,711
POM 2009			29914,042	69799,432	79770,779	84756,453	89742,126	84756,453	84756,4527	74785,105	64813,758	59828,084	49856,737
POM 2010				38225,269	89192,294	101934,05	108304,93	114675,81	108304,928	108304,93	95563,172	82821,415	76450,537
POM 2011					30586,191	71367,78	81563,177	86660,876	91758,5741	86660,876	86660,876	76465,478	66270,081
POM 2012						30586,191	71367,78	81563,177	86660,8756	91758,574	86660,876	86660,876	76465,478
POM 2013							28082,642	65526,164	74887,0443	79567,485	84247,925	79567,485	79567,485
POM 2014								22818,056	53242,1311	60848,15	64651,159	68454,169	64651,159
POM 2015									25615,4471	59769,377	68307,859	72577,1	76846,341
POM 2016										25505,382	59512,557	68014,351	72265,248
POM 2017											24646,295	57508,022	65723,453
POM 2018												25255,708	58929,985
POM 2019													25135,795
							649852,75	708889,33	746256,361	785324,54	808308,54	827490,51	846571,17

Tabla18.9Impresoras-GeneraciónRAEE(Kg)Catalunya

fax	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
POM 2007	7040,26578	17600,6645	28161,0631	30507,8184	35201,3289	30507,8184	25814,3079	18774,0421	15253,9092	9387,02104	8213,64341	4693,51052	2346,75526
POM 2008		5554,13226	13885,3307	22216,529	24067,9065	27770,6613	24067,9065	20365,1516	14811,0194	12033,9532	7405,50968	6479,82097	3702,75484
POM 2009			6305,63235	15764,0809	25222,5294	27324,4068	31528,1617	27324,4068	23120,6519	16815,0196	13662,2034	8407,5098	7356,57107
POM 2010				189,16897	472,922426	756,675882	819,732205	945,844852	819,732205	693,619558	504,450588	409,866103	252,225294
POM 2011					7556,76371	18891,9093	30227,0548	32745,9761	37783,8186	32745,9761	27708,1336	20151,3699	16372,988
POM 2012						1554,87182	3887,17954	6219,48727	6737,77787	7774,35908	6737,77787	5701,19666	4146,32484
POM 2013							3223,78087	8059,45218	12895,1235	13969,7171	16118,9044	13969,7171	11820,5299
POM 2014								3906,65572	9766,6393	15626,6229	16928,8415	19533,2786	16928,8415
POM 2015									3189,08536	7972,71341	12756,3414	13819,3699	15945,4268
POM 2016										3439,84065	8599,60163	13759,3626	14905,9762
POM 2017											3511,86058	8779,65145	14047,4423
POM 2018												3380,2622	8450,65549
POM 2019													3443,98781
							119568,124	118341,017	124377,757	120458,843	122147,268	119084,916	119720,479

Tabla 18.10 Fax - Generación RAEE (Kg) Catalunya

Recuperación de materias primas secundarias de RAEE
Máster de ingeniería ambiental
Universidad Politécnica de Cataluña (UPC)

	T. VIDA	C. LINEAL	COSTE	AÑO 1	RESIDUAL	AÑO 2	RESIDUAL	AÑO 3	RESIDUAL	AÑO 4	RESIDUAL	AÑO 5	RESIDUAL	AÑO 6	RESIDUAL	AÑO 7	RESIDUAL	AÑO 8	RESIDUAL	AÑO 9	RESIDUAL	AÑO 10	RESIDUAL	
Nave industrial 4000m2	34	3%	2.800.000 €	84.000 €	2.716.000 €	84.000 €	2.632.000 €	84.000 €	2.548.000 €	84.000 €	2.464.000 €	84.000 €	2.380.000 €	84.000 €	2.296.000 €	84.000 €	2.212.000 €	84.000 €	2.128.000 €	84.000 €	2.044.000 €	84.000 €	1.960.000 €	
Desmontadora/crack-o-mate E12 +cinta inclinada + filtro de mangas	10	10%	300.000 €	30.000 €	270.000 €	30.000 €	240.000 €	30.000 €	210.000 €	30.000 €	180.000 €	30.000 €	150.000 €	30.000 €	120.000 €	30.000 €	90.000 €	30.000 €	60.000 €	30.000 €	30.000 €	30.000 €	30.000 €	0 €
Pre-triturador de 2 ejes WJ	10	10%	90.000 €	9.000 €	81.000 €	9.000 €	72.000 €	9.000 €	63.000 €	9.000 €	54.000 €	9.000 €	45.000 €	9.000 €	36.000 €	9.000 €	27.000 €	9.000 €	18.000 €	9.000 €	9.000 €	9.000 €	9.000 €	0 €
Triturador monorotor 142 (cinta inclinada + filtro de mangas)	10	10%	90.000 €	9.000 €	81.000 €	9.000 €	72.000 €	9.000 €	63.000 €	9.000 €	54.000 €	9.000 €	45.000 €	9.000 €	36.000 €	9.000 €	27.000 €	9.000 €	18.000 €	9.000 €	9.000 €	9.000 €	9.000 €	0 €
Separador de metales Fe/noFe	10	10%	95.000 €	9.500 €	85.500 €	9.500 €	76.000 €	9.500 €	66.500 €	9.500 €	57.000 €	9.500 €	47.500 €	9.500 €	38.000 €	9.500 €	28.500 €	9.500 €	19.000 €	9.500 €	9.500 €	9.500 €	9.500 €	0 €
Equipo de reciclado de cable (pretriturador, triturador, sistema eumático, tabla densimétrica, filtro de mangas)	10	10%	30.000 €	3.000 €	27.000 €	3.000 €	24.000 €	3.000 €	21.000 €	3.000 €	18.000 €	3.000 €	15.000 €	3.000 €	12.000 €	3.000 €	9.000 €	3.000 €	6.000 €	3.000 €	3.000 €	3.000 €	3.000 €	0 €
Separador corrientes de Eddy (focault)	10	10%	45.000 €	4.500 €	40.500 €	4.500 €	36.000 €	4.500 €	31.500 €	4.500 €	27.000 €	4.500 €	22.500 €	4.500 €	18.000 €	4.500 €	13.500 €	4.500 €	9.000 €	4.500 €	4.500 €	4.500 €	4.500 €	0 €
Mesa de separación	10	10%	35.000 €	3.500 €	31.500 €	3.500 €	28.000 €	3.500 €	24.500 €	3.500 €	21.000 €	3.500 €	17.500 €	3.500 €	14.000 €	3.500 €	10.500 €	3.500 €	7.000 €	3.500 €	3.500 €	3.500 €	3.500 €	0 €
CINTA TRANSPORTADORA plana (15 +10) zona clasificación, salida trituradora	10	10%	25.000 €	2.500 €	22.500 €	2.500 €	20.000 €	2.500 €	17.500 €	2.500 €	15.000 €	2.500 €	12.500 €	2.500 €	10.000 €	2.500 €	7.500 €	2.500 €	5.000 €	2.500 €	2.500 €	2.500 €	2.500 €	0 €
Equipo de tratamiento de gases tóxicos (scrubber)	10	10%	30.000 €	3.000 €	27.000 €	3.000 €	24.000 €	3.000 €	21.000 €	3.000 €	18.000 €	3.000 €	15.000 €	3.000 €	12.000 €	3.000 €	9.000 €	3.000 €	6.000 €	3.000 €	3.000 €	3.000 €	3.000 €	0 €
Equipo tratamiento de PCBs (triturador, pre-triturador, ciclon, separador por vibración y torre de adsorción)	10	10%	295.000 €	29.500 €	265.500 €	29.500 €	236.000 €	29.500 €	206.500 €	29.500 €	177.000 €	29.500 €	147.500 €	29.500 €	118.000 €	29.500 €	88.500 €	29.500 €	59.000 €	29.500 €	29.500 €	29.500 €	29.500 €	0 €
Tanques lixiviación	10	10%	500 €	50 €	450 €	50 €	400 €	50 €	350 €	50 €	300 €	50 €	250 €	50 €	200 €	50 €	150 €	50 €	100 €	50 €	50 €	50 €	50 €	0 €
Equipo electrorecuperación (electrowinning)	10	10%	100.000 €	10.000 €	90.000 €	10.000 €	80.000 €	10.000 €	70.000 €	10.000 €	60.000 €	10.000 €	50.000 €	10.000 €	40.000 €	10.000 €	30.000 €	10.000 €	20.000 €	10.000 €	10.000 €	10.000 €	10.000 €	0 €
Celda electrolítica (electrogenación de cloro)	10	10%	50.000 €	5.000 €	45.000 €	5.000 €	40.000 €	5.000 €	35.000 €	5.000 €	30.000 €	5.000 €	25.000 €	5.000 €	20.000 €	5.000 €	15.000 €	5.000 €	10.000 €	5.000 €	5.000 €	5.000 €	5.000 €	0 €
Herramientas para descontaminación	10	10%	2.500 €	250 €	2.250 €	250 €	2.000 €	250 €	1.750 €	250 €	1.500 €	250 €	1.250 €	250 €	1.000 €	250 €	750 €	250 €	500 €	250 €	250 €	250 €	250 €	0 €
Tanques lixiviación	10	10%	5.000 €	500 €	4.500 €	500 €	4.000 €	500 €	3.500 €	500 €	3.000 €	500 €	2.500 €	500 €	2.000 €	500 €	1.500 €	500 €	1.000 €	500 €	500 €	500 €	500 €	0 €
Ordenadores (3x)	4	25%	3.000 €	750 €	2.250 €	750 €	1.500 €	750 €	750 €	750 €	0 €													
Impresora/scanner/copiadora	4	25%	1.000 €	250 €	750 €	250 €	500 €	250 €	250 €	250 €	0 €													
Otros equipos de oficina	4	25%	1.000 €	250 €	750 €	250 €	500 €	250 €	250 €	250 €	0 €													
Básculas digitales(x2)	10	10%	1.200 €	120 €	1.080 €	120 €	960 €	120 €	840 €	120 €	720 €	120 €	600 €	120 €	480 €	120 €	360 €	120 €	240 €	120 €	120 €	120 €	120 €	0 €
Báscula para pesaje de	10	10%	1.500 €	150 €	1.350 €	150 €	1.200 €	150 €	1.050 €	150 €	900 €	150 €	750 €	150 €	600 €	150 €	450 €	150 €	300 €	150 €	150 €	150 €	150 €	0 €
Contenedores de 30 m3 para la recepción del material (x3)	4	25%	8.500 €	2.125 €	6.375 €	2.125 €	4.250 €	2.125 €	2.125 €	2.125 €	0 €													
Contenedor trapezoidal para el almacenaje (x8)	4	25%	9.000 €	2.250 €	6.750 €	2.250 €	4.500 €	2.250 €	2.250 €	2.250 €	0 €													
Contenedores tipobig box (x10)	4	25%	700 €	175 €	525 €	175 €	350 €	175 €	175 €	175 €	0 €													
Jaulas de almacenaje (x14)	4	25%	3.500 €	875 €	2.625 €	875 €	1.750 €	875 €	875 €	875 €	0 €													
Mesa descontaminación (x2)	4	25%	1.000 €	250 €	750 €	250 €	500 €	250 €	250 €	250 €	0 €													
Carretilla elevadora hyster (motor diesel)	10	10%	14.000 €	1.400 €	12.600 €	1.400 €	11.200 €	1.400 €	9.800 €	1.400 €	8.400 €	1.400 €	7.000 €	1.400 €	5.600 €	1.400 €	4.200 €	1.400 €	2.800 €	1.400 €	1.400 €	1.400 €	1.400 €	0 €
Traspales	10	10%	500 €	50 €	450 €	50 €	400 €	50 €	350 €	50 €	300 €	50 €	250 €	50 €	200 €	50 €	150 €	50 €	100 €	50 €	50 €	50 €	50 €	0 €
Contenedores reactivos químicos(x3)	4	25%	750 €	188 €	563 €	188 €	375 €	188 €	188 €	188 €	0 €													
montaje y puesta en marcha	10	10%	60.000 €	6.000 €	54.000 €	6.000 €	48.000 €	6.000 €	42.000 €	6.000 €	36.000 €	6.000 €	30.000 €	6.000 €	24.000 €	6.000 €	18.000 €	6.000 €	12.000 €	6.000 €	6.000 €	6.000 €	6.000 €	0 €
AMORTIZACIÓN INMOBILIZADO			4.098.650 €	218.133 €	218.133 €	218.133 €	218.133 €	218.133 €	218.133 €	218.133 €	211.020 €	211.020 €	211.020 €	211.020 €	211.020 €	211.020 €	211.020 €	211.020 €	211.020 €	211.020 €	211.020 €	211.020 €	211.020 €	

Tabla 18.11 Amortizaciones

Material recuperado	Cantidad	Precio del recuperado	unidad	Ingreso anual	AÑO1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO5	AÑO6	AÑO7	AÑO8	AÑO9	AÑO10
Scrap de cobre	45767,3	3,2	€/kg	146455,3	146455,3	146455,3	146455,3	146455,3	146455,3	146455,3	146455,3	146455,3	146455,3	146455,3
Scrap acero/hierro	807293,9	0,1	€/kg	104948,2	104948,2	104948,2	104948,2	104948,2	104948,2	104948,2	104948,2	104948,2	104948,2	104948,2
Scrap Aluminio	43540,8	0,5	€/kg	21770,4	21770,4	21770,4	21770,4	21770,4	21770,4	21770,4	21770,4	21770,4	21770,4	21770,4
Scrap plástico mixto	544413,2	0,0	€/kg	21776,5	21776,5	21776,5	21776,5	21776,5	21776,5	21776,5	21776,5	21776,5	21776,5	21776,5
Cobre (cable)	7895,7	0,0	€/kg	315,8	315,8	315,8	315,8	315,8	315,8	315,8	315,8	315,8	315,8	315,8
Plastico (cable)	7895,7	3,2	€/kg	25266,4	25266,4	25266,4	25266,4	25266,4	25266,4	25266,4	25266,4	25266,4	25266,4	25266,4
Oro(PCB)	55,3	35000,0	€/kg	1934002,2	1934002,2	1934002,2	1934002,2	1934002,2	1934002,2	1934002,2	1934002,2	1934002,2	1934002,2	1934002,2
Baterias	73789,9	0,4	€/kg	29516,0	29516,0	29516,0	29516,0	29516,0	29516,0	29516,0	29516,0	29516,0	29516,0	29516,0
TASA DE RECICLAJE	2051369,4	0,1	€/kg	246164,3	246164,3	246164,3	246164,3	246164,3	246164,3	246164,3	246164,3	246164,3	246164,3	246164,3
TOTAL ANUAL					2530215,2	2530215,2	2530215,2	2530215,2	2530215,2	2530215,2	2530215,2	2530215,2	2530215,2	2530215,2
IPRI %					0,0	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
MULTIPLICADOR DE INFLACIÓN					1,000	1,007	1,014	1,022	1,029	1,036	1,043	1,050	1,058	1,065
TOTAL INGRESO VENTAS					2530215,2	2548432,7	2566650,3	2584867,8	2603085,4	2621302,9	2639520,5	2657738,0	2675955,6	2694173,1

Tabla 18.12 Cálculo de Ingresos

Recuperación de materias primas secundarias de RAEE
Máster de ingeniería ambiental
Universidad Politécnica de Cataluña (UPC)

Gastos financieros					AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Capital pendiente de pagar	4.098.650				3.688.785	3.278.920	2.869.055	2.459.190	2.049.325	1.639.460	1.229.595	819.730	409.865	0
Cuota de amortización	409865				409865	409865	409865	409865	409865	409865	409865	409865	409865	409865
Interes a aplicar	7%				7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%
Interes anual					258214,95	229524,4	200833,9	172143,3	143452,75	114762,2	86071,65	57381,1	28690,55	0
Quota anual					668079,95	639389,4	610698,9	582008,3	553317,75	524627,2	495936,65	467246,1	438555,55	409865
Costes de vertederos					AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Residuos	cantidad (tn)	Unidad	Coste €	Coste anual €	4787,4	4787,4	4787,4	4787,4	4787,4	4787,4	4787,4	4787,4	4787,4	4787,4
	404	€/tn	11,85	4787,4	4787,4	4787,4	4787,4	4787,4	4787,4	4787,4	4787,4	4787,4	4787,4	4787,4
COSTES GEST. RESIDUOS					4787,4	4787,4	4787,4	4787,4	4787,4	4787,4	4787,4	4787,4	4787,4	4787,4
IPC %					1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
MULTIPLICADOR DE INFLACIÓN					1	1,0105	1,021	1,0315	1,042	1,0525	1,063	1,0735	1,084	1,0945
TOTAL COSTE GEST. RESIDUOS					4787,4	4837,6677	4887,935	4938,2031	4988,4708	5038,7385	5089,0062	5139,2739	5189,5416	5239,8093
Gastos de electricidad					AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Potencia contrada (instalada)	Kwh/año	€/kw	Coste €		5.475	5.475	5.475	5.475	5.475	5.475	5.475	5.475	5.475	5.475
	365	15	5.475		5.475	5.475	5.475	5.475	5.475	5.475	5.475	5.475	5.475	5.475
Energía consumida iluminación	4000	0,14	560		560 €	560 €	560 €	560 €	560 €	560 €	560 €	560 €	560 €	560 €
Energía consumida maquinaria	512.000	0,14	71680		71.680 €	71.680 €	71.680 €	71.680 €	71.680 €	71.680 €	71.680 €	71.680 €	71.680 €	71.680 €
Combustible consumido			2.700 €		2.700 €	2.700 €	2.700 €	2.700 €	2.700 €	2.700 €	2.700 €	2.700 €	2.700 €	2.700 €
TOTAL CONSUMO					80.415 €	80.415 €	80.415 €	80.415 €	80.415 €	80.415 €	80.415 €	80.415 €	80.415 €	80.415 €
IPC %					1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
MULTIPLICADOR DE INFLACIÓN					1	1,0105	1,021	1,0315	1,042	1,0525	1,063	1,0735	1,084	1,0945
COSTE ACTUALIZADO					80.415 €	81.259 €	82.104 €	82.948 €	83.792 €	84.637 €	85.481 €	86.326 €	87.170 €	88.014 €
impuesto de electricidad (5,13%)					4.239 €	4.239 €	4.239 €	4.239 €	4.239 €	4.239 €	4.239 €	4.239 €	4.239 €	4.239 €
IVA (21%)					17.354 €	17.354 €	17.354 €	17.354 €	17.354 €	17.354 €	17.354 €	17.354 €	17.354 €	17.354 €
TOTAL COSTES					182.426	183.270	184.115	184.959	185.803	186.648	187.492	188.336	189.181	190.025
Gastos de personal					AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Gerente/director	Número	Sueldo	meses	Coste anual €	47.544 €	47.544 €	47.544 €	47.544 €	47.544 €	47.544 €	47.544 €	47.544 €	47.544 €	47.544 €
	1	3.962	12	47.544 €	47.544 €	47.544 €	47.544 €	47.544 €	47.544 €	47.544 €	47.544 €	47.544 €	47.544 €	47.544 €
Jefe/Técnico de planta	2	2856	12	68.544 €	68.544 €	68.544 €	68.544 €	68.544 €	68.544 €	68.544 €	68.544 €	68.544 €	68.544 €	68.544 €
Técnico de residuos	1	2228	12	26.736 €	26.736 €	26.736 €	26.736 €	26.736 €	26.736 €	26.736 €	26.736 €	26.736 €	26.736 €	26.736 €
Administrativo	2	1.814	12	43.536 €	43.536 €	43.536 €	43.536 €	43.536 €	43.536 €	43.536 €	43.536 €	43.536 €	43.536 €	43.536 €
Operarios	10	1757	12	210.840 €	210.840 €	210.840 €	210.840 €	210.840 €	210.840 €	210.840 €	210.840 €	210.840 €	210.840 €	210.840 €
COSTE OPERARIOS					397.200 €	397.200 €	397.200 €	397.200 €	397.200 €	397.200 €	397.200 €	397.200 €	397.200 €	397.200 €
IPC %					1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
MULTIPLICADOR DE INFLACIÓN					1	1,0105	1,021	1,0315	1,042	1,0525	1,063	1,0735	1,084	1,0945
TOTAL COSTES DIRECTOS					397.200 €	401.371 €	405.541 €	409.712 €	413.882 €	418.053 €	422.224 €	426.394 €	430.565 €	434.735 €
Otros gastos generales					AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Mantenimiento	Concepto			Coste anual €	28.000	28.000	28.000	28.000	28.000	28.000	28.000	28.000	28.000	28.000
	maquinaria (2%)			28.000	28.000	28.000	28.000	28.000	28.000	28.000	28.000	28.000	28.000	28.000
	instalación (1%)			23860	23860	23860	23860	23860	23860	23860	23860	23860	23860	23860
Administrativos				60000	60000	60000	60000	60000	60000	60000	60000	60000	60000	60000
GASTO DE OTROS					111.860	111860	111860	111860	111860	111860	111860	111860	111860	111860
IPC %					1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
MULTIPLICADOR DE INFLACIÓN					1	1,0105	1,021	1,0315	1,042	1,0525	1,063	1,0735	1,084	1,0945
TOTAL COSTES INDIRECTOS					111.860	113.035	114.209	115.384	116.558	117.733	118.907	120.082	121.256	122.431
TOTAL GASTOS ANUALES (sin financieros)					696.273 €	702.513 €	708.753 €	714.993 €	721.232 €	727.472 €	733.712 €	739.952 €	746.191 €	752.431 €

Tabla 18.13 Gastos anuales

Cuenta de ingresos y gastos	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
INGRESOS	2530215,2	2561336,8	2592458,5	2623580,1	2654701,8	2685823,4	2716945,1	2748066,7	2779188,4	2810310,0
GASTOS	696.273 €	702.513 €	708.753 €	714.993 €	721.232 €	727.472 €	733.712 €	739.952 €	746.191 €	752.431 €
EBITD	1.833.942 €	1.858.824 €	1.883.706 €	1.908.588 €	1.933.469 €	1.958.351 €	1.983.233 €	2.008.115 €	2.032.997 €	2.057.879 €
AMORTIZACION INMOBILIZADO	218.133 €	218.133 €	218.133 €	218.133 €	211.020 €	211.020 €	211.020 €	211.020 €	211.020 €	211.020 €
RESULTADO EXPLOTACIÓN	1.615.809 €	1.640.691 €	1.665.573 €	1.690.455 €	1.722.449 €	1.747.331 €	1.772.213 €	1.797.095 €	1.821.977 €	1.846.859 €
GASTOS INTERÉS ANUAL	258214,95	229524,4	200833,85	172143,3	143452,75	114762,2	86071,65	57381,1	28690,55	0
RESULTADO ANTES DE IMPUESTO	1.357.594 €	1.411.167 €	1.464.739 €	1.518.312 €	1.578.997 €	1.632.569 €	1.686.142 €	1.739.714 €	1.793.286 €	1.846.859 €
IMPUESTO DE SOCIEDADES (30%)	407.278 €	423.350 €	439.422 €	455.494 €	473.699 €	489.771 €	505.842 €	521.914 €	537.986 €	554.058 €
Resultado despues de descontar el impuesto	950.316 €	987.817 €	1.025.318 €	1.062.818 €	1.105.298 €	1.142.798 €	1.180.299 €	1.217.800 €	1.255.300 €	1.292.801 €

Tabla 18.14 Cuenta gastos e ingresos

CASH-FLOW	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Resultado despues de impuesto	950.316 €	987.817 €	1.025.318 €	1.062.818 €	1.105.298 €	1.142.798 €	1.180.299 €	1.217.800 €	1.255.300 €	1.292.801 €
Amortización del inmovilizado	218.133 €	218.133 €	218.133 €	218.133 €	211.020 €	211.020 €	211.020 €	211.020 €	211.020 €	211.020 €
Cuotas amortización	409865	409865	409865	409865	409865	409865	409865	409865	409865	409865
CASHFLOW NETO	758.584 €	796.084 €	833.585 €	871.086 €	906.453 €	943.953 €	981.454 €	1.018.955 €	1.056.455 €	1.093.956 €

Tabla 18.15 Cash-flow

CALCULO DE VAN Y TIR		AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
INVERSIÓN	4.098.650										
CASHFLOW		758.584 €	796.084 €	833.585 €	871.086 €	906.453 €	943.953 €	981.454 €	1.018.955 €	1.056.455 €	1.093.956 €
TASA DE RENTABILIDAD		10,7%	10,7%	10,7%	10,7%	10,7%	10,7%	10,7%	10,7%	10,7%	10,7%
FACTOR DE DESCUENTO (WACC)		1	0,8975	0,795	0,6925	0,59	0,4875	0,385	0,2825	0,18	0,0775
CASHFLOW X FACTOR DE DESCUENTO		758.584 €	714.486 €	662.700 €	603.227 €	534.807 €	460.177 €	377.860 €	287.855 €	190.162 €	84.782 €
FLUJO DE CAJA ACTUALIZADO		-3.340.066 €	-2.625.581 €	-1.962.881 €	-1.359.654 €	-824.847 €	-364.669 €	13.190 €	301.045 €	491.207 €	575.989 €
VAN	1.241.591,77 €	VAN > 0									
	El proyecto es rentable										
TIR	17%	TIR > Tasa de rentabilidad (WACC)									
	Se acepta el proyecto										

Tabla 18.16 Cálculo VAN y TIR anexo

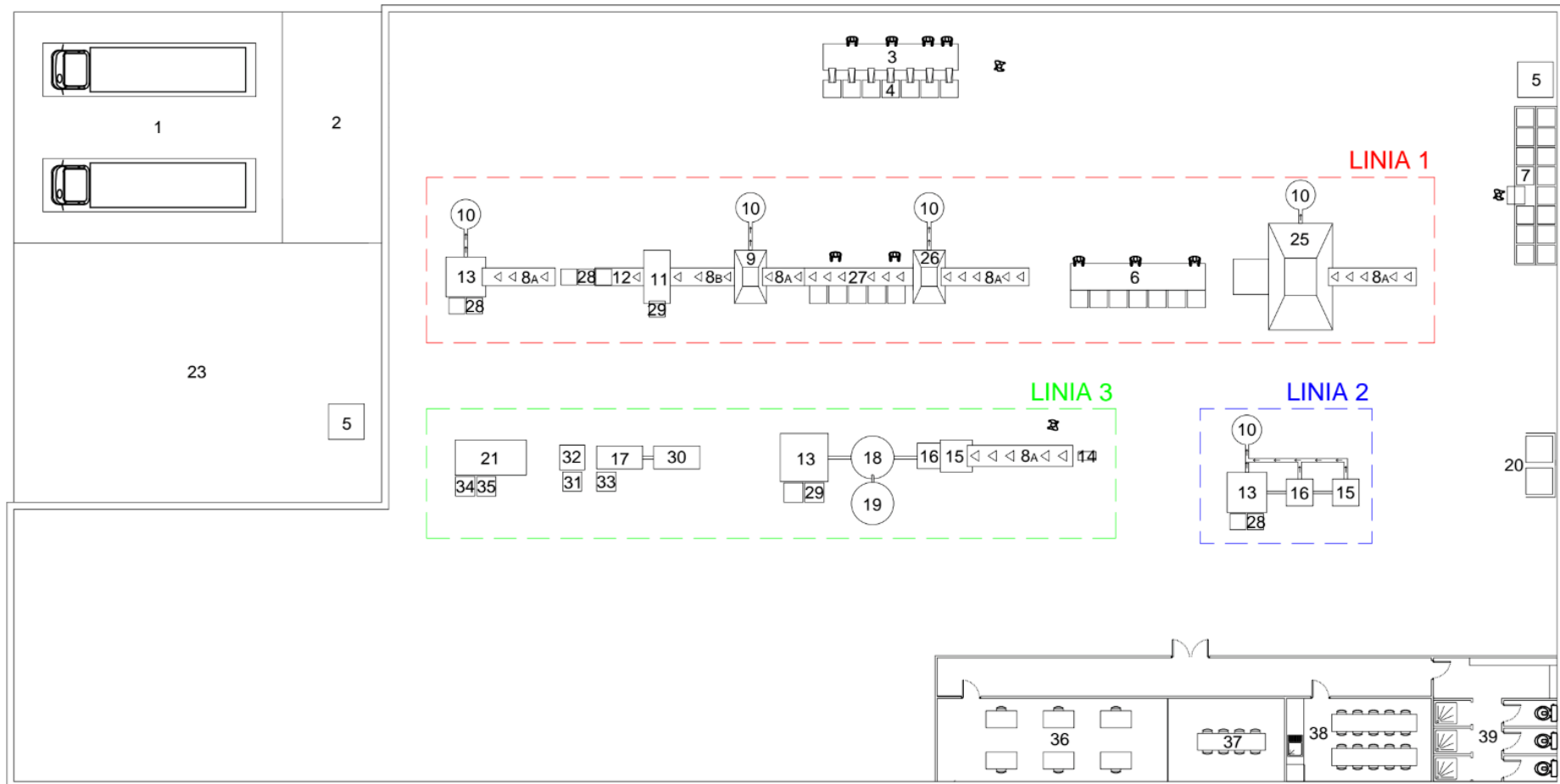


Figura 18.1 Diseño planta de tratamiento de RAEE.

Fuente: elaboración propia

19 Bibliografía

Artículos científicos y legislación

- [1] C. Meskers, C. Hagelueken, S. Salhofer, and M. Spitzbart, "Impact of pre-processing routes on precious metal recovery from PCs," *Eur. Metall. Confernece*, no. September, 2009.
- [2] Us Environmental Protection Agency, "Electronics Waste Management in the United States," p. 56, 2008.
- [3] R. Widmer, H. Oswald-Krapf, D. Sinha-Khetriwal, M. Schnellmann, and H. Böni, "Global perspectives on e-waste," *Environ. Impact Assess. Rev.*, vol. 25, no. 5 SPEC. ISS., pp. 436–458, 2005.
- [4] M. Schluep, *Handbook of Recycling*. Elsevier, 2014.
- [5] J. Huisman, F. Magalini, R. Kuehr, C. Maurer, S. Ogilvie, J. Poll, C. Delgado, E. Artim, J. Szlezak, and A. Stevels, "2008 Review of Directive 2002/96 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) - Final report," *Comm. by Eur. Comm. Contract No 07010401/2006/442493/ETU/G4*, no. 05 August 2007, pp. 1–347, 2007.
- [6] *E-Waste Monitor*. 2014.
- [7] E. L. P. Europeo, E. L. Consejo, and D. E. L. A. Uni, "Directiva 2002/96/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de enero de 2003 sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos," *27/01/2003*, vol. 5, p. 15 pags. (19 artículos), 2003.
- [8] Parlamento Europeo, "Directiva Raee Union Europea," *D. Of. la Unión Eur.*, pp. 38–71, 2012.
- [9] Ministerio de la Presidencia. Gobierno de España, "Real Decreto 208/2005, de 25 de febrero, sobre aparatos eléctricos y electrónicos y la gestión de sus residuos.," pp. 7112–7121, 2005.
- [10] P. P. Gómez, B. L. Cutanda, and A. L. Muiña, "Real Decreto 110/2015, de 20 de febrero, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos: Análisis del nuevo modelo de responsabilidad ampliada del productor," *D. La Ley*, no. 8508, p. 1, 2015.
- [11] O. P. Martínez, "Situación e Impacto de los residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) Caso de Estudio : los Ordenadores," 2013.
- [12] F. O. Ongondo, I. D. Williams, and T. J. Cherrett, "How are WEEE doing? A global review of the management of electrical and electronic wastes," *Waste Manag.*, vol. 31, no. 4, pp. 714–730, 2011.
- [13] F. Wang, *E-waste : collect more , treat better*, no. 25. .
- [14] M. Oguchi, S. Murakami, H. Sakanakura, A. Kida, and T. Kameya, "A preliminary categorization of end-of-life electrical and electronic equipment as secondary metal resources," *Waste Manag.*, vol. 31, no. 9–10, pp. 2150–2160, 2011.
- [15] *Substance flow analysis of the recycling of small waste electrical and electronic equipment*. 2010.
- [16] A. Khaliq, M. A. Rhamdhani, G. Brooks, and S. Masood, "Metal Extraction Processes for Electronic Waste and Existing Industrial Routes: A Review and Australian Perspective," *Resources*, no. 3, pp. 152–179, 2014.
- [17] P. Chancerel, C. E. M. Meskers, C. Hagel, and V. S. Rotter, "Assessment of Precious Metal Flows During Preprocessing of Waste Electrical and Electronic Equipment," vol. 13, no. 5, 2009.
- [18] M. Sadegh Safarzadeh, M. S. Bafghi, D. Moradkhani, and M. Ojaghi Ilkhchi, "A review on hydrometallurgical extraction and recovery of cadmium from various resources," *Miner. Eng.*, vol. 20, no. 3, pp. 211–220, 2007.
- [19] Y. Lu and Z. Xu, "Precious metals recovery from waste printed circuit boards: A review

- for current status and perspective,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 113, no. 2016, pp. 28–39, 2016.
- [20] Z. Kamberovic, M. Korac, and M. Ranitovic, “Hydrometallurgical Process for Extraction of Metals from Electronic Waste-Part II: Development of the Processes for the Recovery of Copper from Printed Circuit Boards (PCB),” *Metalurgija-MJoM*, vol. 17, no. 3, pp. 139–149, 2011.
- [21] E. Y. Kim, M. S. Kim, J. C. Lee, and B. D. Pandey, “Selective recovery of gold from waste mobile phone PCBs by hydrometallurgical process,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 198, pp. 206–215, 2011.
- [22] “EW Pilot Plant 1 Items Provided : SX Kinetics , Inc . Further Information Contact : Specialist in Solvent Extraction and Electrowinning Pilot Plants,” p. 5981.
- [23] “Market Structure in Belgium Table of Contents,” no. March, pp. 1–45, 2013.
- [24] E. E. E. Arising, “STUDY ON THE QUANTIFICATION OF WASTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC EQUIPMENT (WEEE) IN FRANCE,” no. December, 2013.
- [25] D. T. Trebolle, “INGENIERO INDUSTRIAL Director :,” pp. 1–15, 2012.
- [26] Boletín Oficial del Estado (B.O.E.), “Real Decreto 1777/2004, de 30 de julio, por el que se aprueba el Reglamento del Impuesto sobre Sociedades.,” *Boletín Of. del Estado*, 6 agosto 2004, núm. 189, pp. 28377-28429., pp. 1–79, 2015.
- [27] E. De Población and A. Epa, “In st i t u t o N ac i o n al d e Est ad í s t i c a,” vol. 2014, pp. 1–22, 2015.

Páginas web

- (*1) www.ecointeligencia.com
- (*2) www.magrama.gob.es
- (*3) www.magrama.gob.es
- (*4) www.minetur.gob.es
- (*5) www.ec.europa.eu/eurostat
- (*6) www.varygroup.com
- (*7) www.recovery.com
- (*8) www.regulator-cetrisa.com
- (*9) www.dartek.es
- (*11) www.gemata.com
- (*12) www.balanzasdigitales.com
- (*13) www.treguicontenedores.com
- (*14) www.mesasaceroinoxidable.com
- (*15) www.hyster.com
- (*16) www.hyster/traspaletas.com
- (*17) www.mediamarkt.es
- (*18) www.lme.com
- (*19) www.metalday.es
- (*20) www.residus.gencat.cat