

Trabajo Final de Carrera

*Sistema de Costes de una planta de
Reciclaje de Baterías Plomo-Ácido*

Mónica Ariño Castellano

Ingeniería de Organización Industrial

Director: Joan Antoni Castejón Fernández

Vic, Junio de 2016

ÍNDICE

Resumen del Trabajo Final de Carrera	3
Project summary.....	4
1 Objetivos y metodología.....	9
1.1 Introducción.....	9
1.2 Objetivos del proyecto	10
1.3 Metodología.....	10
2 Características del plomo	11
2.1 Introducción.....	11
2.2 Propiedades del plomo	12
2.3 La batería de plomo	13
2.4 Principio de funcionamiento de las baterías.	15
2.5 La industria del plomo.....	21
2.6 Aspectos legales y legislación de referencia	22
3 Características de la empresa.....	27
3.1 Presentación de la empresa	27
3.2 Descripción del proceso industrial.....	28
3.3 Capacidad Comercial.....	37
3.4 Objetivos técnicos específicos del proyecto	39
4 Sistema de costes	40
4.1 Identificación de los elementos de coste	41
4.2 Análisis y clasificación de costes.....	44
4.3 El coste de los materiales	47
4.4 El coste del personal o mano de obra	53
4.5 División de la empresa en secciones	58
4.6 Amortizaciones	64
4.7 Reparto primario de los costes entre las secciones: costes semidirectos e indirectos de producción.....	67

4.8	Reparto Secundario.....	71
4.9	Contabilización de la localización de costes: método de imputación a los productos	76
4.10	Estructura de materiales de cada producto	77
4.11	Estructura de tiempos de MOD de cada producto.....	79
4.12	Cálculo de costes de fabricación.....	80
5	<i>Cálculo de márgenes de venta.....</i>	82
6	<i>Propuesta y análisis económico de alternativas tecnológicas</i>	85
6.1	Desulfuración de las pastas de plomo	87
6.2	Gasificación de residuos plásticos	92
6.3	Producción comercial de yeso	94
7	<i>Conclusiones.....</i>	98
8	<i>Bibliografía.....</i>	100

Resumen del Trabajo Final de Carrera
Ingeniería de Organización Industrial

Título: Sistema de costes de una planta de reciclaje de baterías de plomo-ácido

Palabras clave: Coste completo, Secciones, Plomo, baterías, reciclaje, alternativas tecnológicas

Autor: Mónica Ariño Castellano

Dirección: Joan Antoni Castejón Fernández

Data: Junio de 2016

Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo establecer un sistema de costes de una planta de reciclaje de baterías plomo-ácido, así como evaluar posibles alternativas tecnológicas y su repercusión en la estructura de costes de la empresa.

Para realizar dicho sistema se ha contado con la información de una planta de reciclaje de baterías con una capacidad de gestión de aproximadamente 33.000 toneladas anuales y con una producción de unas 20.000 toneladas de plomo metal.

En una primera parte, se ha realizado un estudio del plomo, de sus características, mercado y su aplicación en las baterías para continuar con una descripción de las características de la empresa objeto del estudio.

El eje y objetivo principal del trabajo consiste en la elaboración del sistema de costes, el cual incluye el cálculo de los costes de fabricación, costes de comercialización y márgenes de venta.

En último lugar, se ha realizado el análisis de tres posibles alternativas que supondrían una mejora medioambiental a la gestión actual y la repercusión que tendrían en los costes para la empresa.

Además de la obtención de una información más detallada de la estructura de costes de la empresa que puede ser utilizada para la toma de decisiones, del presente trabajo se concluye que la empresa objeto de estudio tiene un margen de beneficio muy estrecho, siendo los productos con mayor margen las aleaciones. La empresa podría aumentar la producción de éstas para aumentar la rentabilidad de la actividad.

En la última parte del trabajo se concluye que de las tres alternativas analizadas, solamente la valorización del electrolito para la producción de yeso aumentaría la rentabilidad y reduciría el impacto medioambiental de este tipo de plantas.

En cuanto a las otras dos alternativas, solamente un cambio legislativo o un aumento de los márgenes de venta podrían justificar su puesta en marcha.



Project summary
Industrial Management Engineer

Title: Cost System of a recycling plant of lead-acid lead batteries.

Keywords: Full cost, Sections, Lead, batteries, recycling, alternative technologies

Author: Mónica Ariño Castellano

Director: Joan Antoni Castejón Fernández

Date: June 2016

Summary

The present Project aims to set up a Cost System of recycling plant lead-acid batteries as well as evaluate possible alternative technologies and their impact on the cost structure of the company.

In order to carry out this system, it was necessary to take information of a plant of recycling batteries with capacity to process approximately 33,000 tons per year and an annual production of 20,000 tons of lead metal.

First of all, there is a brief introduction about lead, its characteristics, market and its applications in batteries to continue with a description of the characteristics of the company in which study has been performed.

The main objective of this study is the development of a cost system, which includes the calculation of manufacturing costs, marketing costs and sales margins.

In the last part of the study, it has carried out the analysis of three alternative technologies which would result an environmental improvement to the current management and the impact they would have on the company costs.

In addition to obtain more detailed information on the cost structure of the company that can be used to decision-making process, the data analysis allows us to deduce that the company has a profit margin very close, where products with higher margin are the alloys. The company could increase the production of these alloys to rise the profitability of the activity.

As conclusion of the three alternatives analyzed, only the valorization of the electrolyte for the production of plaster increases the profitability and reduces the environmental impact of this type of plants.

Regarding the other two alternatives, only a legislative change or an increase in sales margins could be justified its implementation.

ÍNDICE ILUSTRACIONES

Ilustración 3.4-1 Componentes de la batería de plomo. Fuente: Acuerdo voluntario para la gestión baterías plomo-ácido.....	16
Ilustración 3.4-2 Batería plomo-ácido cargada-descargada. Fuente: Regenbat.....	18
Ilustración 3.4-3 Reacciones químicas de descarga	19
Ilustración 3.4-4 Reacciones químicas de carga	19
Ilustración 4.2-1 Diagrama de proceso de trituración de baterías. Fuente: Recobat	31
Ilustración 4.2-2 Esquema del funcionamiento de un proceso metalúrgico tradicional para el reciclaje de baterías usadas. Fuente: UPC.....	35
Ilustración 4.3-1 Porcentaje de venta agrupados por cliente.....	37
Ilustración 7.1-1 Esquema del proceso de desulfuración de la pasta de plomo y del proceso paralelo de producción del sulfato de sodio cristalino. Fuente: UPC..	87
Ilustración 7.1-2 Reacciones del proceso de desulfuración de las pastas	88
Ilustración 7.3-1 Reacciones de la producción de yeso a partir de electrolito	95

ÍNDICE TABLAS

Tabla 3.2-1 Propiedades físicas plomo-otros metales. Fuente: Uniplom.....	13
Tabla 3.3-1 Clasificación de las baterías plomo-ácido (Según D.G. XI de la Comisión Europea) Fuente: Uniplom	14
Tabla 3.3-2 Composición media aproximada en peso (%) de las baterías. Fuente: Uniplom.....	14
Tabla 3.3-3 Composición media de la batería plomo-ácido. Fuente: Uniplom	14
Tabla 3.4-1 Componentes de la batería plomo-ácido. Fuente: Recobat	17
Tabla 3.4-2 Factor de corrección densidad-tensión. Fuente: Regenbat.....	20
Tabla 4.3-1 Capacidad productora de las fundiciones recicladoras en España en el año 2004. Fuente: Uniplom.....	38
Tabla 4.3-2 Producción minera y metalúrgica y consumo mundiales por áreas geográficas. Fuente: Uniplom.....	38
Tabla 5.1-1 Elementos de coste de una planta de reciclaje de baterías	43
Tabla 5.2-1 Clasificación de los elementos de coste.....	45
Tabla 5.3-1 Consumos de materiales del mes de noviembre de 2015	49
Tabla 5.3-2 Datos de producción del mes noviembre de 2015	49
Tabla 5.3-3 Cálculo coste de consumo de baterías de plomo	50
Tabla 5.3-4 Cálculo coste de consumo de sosa cáustica	50
Tabla 5.3-5 Cálculo coste de consumo de viruta de hierro.....	50
Tabla 5.3-6 Cálculo coste de consumo de Carbón de Antracita.....	51
Tabla 5.3-7 Cálculo coste de consumo de Carbonato Sódico	51
Tabla 5.3-8 Cálculo coste de consumo de Caliza	51
Tabla 5.3-9 Cálculo coste de consumo de nitrato potásico.....	51
Tabla 5.3-10 Cálculo coste de consumo de azufre	51
Tabla 5.3-11 Cálculo coste de consumo de pirita de hierro	52
Tabla 5.3-12 Cálculo coste de consumo de aleación calcio-aluminio	52
Tabla 5.3-13 Cálculo coste de consumo de estaño metal.....	52
Tabla 5.3-14 Cálculo coste de consumo de calcio metal	52
Tabla 5.3-15 Cálculo coste de consumo de fleje de polietileno	52
Tabla 5.4-1 Tabla reparto mano de obra de planta de reciclaje de baterías	54
Tabla 5.4-2 Importe plus de asistencia y transporte. Fuente: Convenio colectivo laboral de la industria siderometalúrgica	54
Tabla 5.4-3 Cálculo coste salarial mano de obra directa I.....	56
Tabla 5.4-4 Cálculo coste salarial mano de obra directa II.....	56
Tabla 5.4-5 Coste total mano de obra directa, noviembre 2015	57

Tabla 5.6-1 Cálculo coste de amortización anual de la sección de aprovisionamiento	65
Tabla 5.6-2 Cálculo coste de amortización anual de la sección de trituración de baterías	65
Tabla 5.6-3 Cálculo coste de amortización anual de la sección de fusión de plomo	66
Tabla 5.6-4 Cálculo coste de amortización anual de la sección de Afino y Lingotado	66
Tabla 5.6-5 Cálculo coste de amortización anual de la sección de mantenimiento.....	66
Tabla 5.6-6 Cálculo coste de amortización anual de la sección de calidad y laboratorio.....	66
Tabla 5.6-7 Cálculo coste de amortización anual de la sección de logística interna	66
Tabla 5.6-8 Cálculo de coste de amortización anual del edificio de oficinas y vestuarios.....	67
Tabla 5.7-1 Claves de reparto entre las secciones de los costes indirectos .	69
Tabla 5.7-2 Reparto de los costes indirectos entre las secciones	69
Tabla 5.7-3 Reparto Primario de costes entre las secciones.....	70
Tabla 5.8-1 Claves de reparto de costes de las secciones auxiliares	73
Tabla 5.8-2 Porcentajes de reparto de costes de las secciones auxiliares ...	73
Tabla 5.8-3 Reparto secundario de costes entre las secciones	75
Tabla 5.9-1 Coste por unidad de obra de secciones principales	77
Tabla 5.10-1 Lista de consumos de materias primas por cada producto	78
Tabla 5.11-1 Tiempos de trabajo de MOD de las secciones principales operativas	79
Tabla 5.11-2 Tiempos de trabajo de MOD por producto	79
Tabla 5.12-1 Costes de fabricación de cada producto	81
Tabla 5.12-1 Márgenes y resultados de Plomo de obra y plomo puro 99,985%	83
Tabla 5.12-2 Márgenes y resultados de plomo aleado, polipropileno y total del mes de noviembre de 2015	83
Tabla 7.1-1 Principales diferencias de la desulfuración.....	89
Tabla 7.1-2 Cálculo de coste de amortización anual de la instalación de desulfuración de pastas.....	90
Tabla 7.1-3 Costes por tonelada de plomo del proceso de desulfuración	90
Tabla 7.1-4 Ahorros del proceso de desulfuración/tonelada plomo	91
Tabla 7.1-5 Ingresos por venta de sulfato de sodio	91

Tabla 7.1-6 Análisis rentabilidad proceso de desulfuración	92
Tabla 7.2-1 Cálculo posible ahorro de gas natural	93
Tabla 7.2-2 Análisis rentabilidad proceso de gasificación.....	94
Tabla 7.3-1 Coste estimado total producción de yeso del mes de noviembre de 2015	96
Tabla 7.3-2 Ingresos estimados por la venta del yeso	96
Tabla 7.3-3 Análisis rentabilidad proceso producción de yeso	97

1 Objetivos y metodología

1.1 Introducción

El presente proyecto tiene como objetivo establecer un sistema de costes de una planta, así como evaluar posibles alternativas tecnológicas para su reciclaje y su repercusión en la estructura de costes de la empresa.

Las baterías de plomo son utilizadas en la actualidad en numerosos productos, desde baterías de coches, ferrocarriles o carretillas hasta sistemas fotovoltaicos o UPS.

En primer lugar se realizará un estudio del plomo, de sus características, mercado y su aplicación en las baterías para continuar con una descripción de las características de la empresa objeto del estudio.

El proyecto incluirá la elaboración de un sistema de costes para la obtención de los costes de producción, costes de comercialización y márgenes de venta y en segundo lugar se realizarán algunas propuestas de mejora y su repercusión en los costes para la empresa.

En la elaboración del sistema de costes se realizará la elección de los criterios de valoración, se calculará los costes de materias primas y componentes, los costes de producción, gastos de estructura, comercialización...

Con ello obtendremos los márgenes de venta de cada uno de los diferentes productos (plomo y aleaciones).

1.2 Objetivos del proyecto

Los objetivos que se persiguen en el presente estudio son los siguientes:

- Describir las características del plomo y sus propiedades, así como las baterías de plomo-ácido, su funcionamiento, características, clasificación y aspectos legales.
- Describir las características del proceso de reciclado de baterías de plomo ácido, analizando desde que se reciben las baterías hasta que se obtienen los lingotes de plomo.
- Elaboración de un sistema de costes por secciones de una planta de reciclaje de baterías plomo-ácido, que permita a la empresa un mayor conocimiento de su estructura de costes y que posteriormente pueda ser utilizado para la toma de decisiones.
- Propuesta, análisis económico y repercusión en las estructura de costes de la empresa de diferentes alternativas tecnológicas al proceso actual.

1.3 Metodología

Para realizar el sistema de costes, se contará con la información de una planta de reciclaje de baterías con una capacidad de reciclaje de unas 33.000 toneladas anuales de baterías plomo ácido para la producción de aproximadamente 20.000 toneladas de plomo metal. La empresa objeto del estudio es Recobat S.L., se encuentra ubicada en Albalate del Arzobispo (Teruel) y pertenece a un grupo de empresas dedicadas todas al reciclaje de metales. Para la elaboración del estudio se considerará que el precio del plomo en bolsa y el cambio de \$ a € son constantes.

Para realizar el sistema se utilizará el Excel como herramienta. Para obtener los datos, la empresa nos dará acceso a facturas y distintas hojas Excel donde se encuentran los datos de producción y costes de la planta.

2 Características del plomo

2.1 Introducción

El plomo ha formado parte de la civilización humana desde hace miles de años. En la actualidad es el cuarto metal no férreo más utilizado, puesto que su uso masivo persiste tanto en economías desarrolladas como subdesarrolladas, a pesar de las restricciones medioambientales. La dependencia mundial del plomo se debe básicamente a su uso en la fabricación de baterías y en concreto, a su utilización en las baterías de plomo para la automoción. Si en 1960 esta aplicación suponía un 29% del consumo total de plomo en el mundo occidental, en la actualidad casi tres cuartas partes de todo el plomo consumido en Occidente se dedican a la fabricación de baterías de plomo. Además, esta alta proporción está en rápido crecimiento, debido al continuo aumento del parque automovilístico mundial y al retroceso del uso del plomo en otras aplicaciones.

La producción de plomo en el mundo se desarrolla a través de diferentes caminos. En primer lugar, la producción minera. De las minas de plomo extraen la galena y los sulfuros minerales, materia prima para la producción del plomo y a partir de éstas, se obtienen los concentrados de plomo (50-80% Pb). Estos concentrados se destinan a la industria metalúrgica para la producción de plomo de obra primario (>99,97% Pb). Por otro lado está la recuperación y reciclado de los residuos de plomo, en su gran mayoría, baterías de plomo fuera de uso. Estos procesos son el origen del plomo de obra secundario (97-99% Pb) y del plomo secundario refinado (>99,97% Pb). La tendencia general en todo el mundo es el aumento de la producción secundaria y la disminución progresiva de las producciones minera y primaria. Este hecho está motivado por el agotamiento de los recursos minerales, el cierre de muchas minas y el esfuerzo general por alcanzar altos niveles en la recuperación del plomo.

Es interesante resaltar que el plomo secundario o reciclado, supone ahora en el mundo casi el 60% de la producción total.

En conclusión, el sector de las baterías de plomo es el consumidor mayoritario de plomo en el mundo y está previsto que el reciclaje de

baterías de plomo fuera de uso, sea el origen de gran parte de la producción de plomo.

2.2 Propiedades del plomo

El plomo es uno de los recursos más valiosos que se encuentra en forma natural en la corteza terrestre, siendo objeto de explotación minera y de beneficio en más de 60 países. Su empleo ha venido creciendo de forma continuada, habiendo aumentado desde 0,8 millones de toneladas a principios del Siglo XX, hasta 6,5 millones de toneladas al comenzar el siglo XXI. De esta producción, aproximadamente 2 millones de toneladas corresponden a Europa.

El plomo ofrece, entre otras ventajas, la de tener un punto de fusión bajo y una maleabilidad extremada que permite su fácil moldeo, conformado, laminado y soldado. Además, el plomo presenta una muy alta resistencia a la corrosión, siendo numerosos los ejemplos de productos de plomo que han perdurado a través de siglos.

Comparado con otros metales, el plomo tiene poca resistencia mecánica, a la que se une su tendencia a fluir y su poca capacidad frente a fatiga, propiedades éstas que lo hacen poco adecuado para usos que exijan esfuerzo mecánico. En realidad, las características mencionadas son propias de algunos plásticos, por lo que raramente se utiliza el plomo puro, siendo mucho más frecuente su empleo con la adición de pequeñas cantidades de material aleante que mejoran sus características mecánicas. Por ejemplo, el antimonio, el estaño y el cadmio endurecen el plomo. La adición del 1% de antimonio aumenta la resistencia y dureza del plomo en un 50%. La adición de un 3% de estaño ejerce el mismo efecto. El límite de fatiga también aumenta con la adición de cualquiera de estos tres metales.

Cuando se trata de conseguir un material de gran resistencia puede acudir al acero con recubrimiento de plomo.

El plomo es relativamente abundante y sus concentrados pueden obtenerse fácilmente a partir del mineral bruto, dando origen al plomo metal con un consumo energético relativamente modesto. Todo ello se traduce en un precio del plomo bajo en comparación con el de otros metales no férreos. El plomo puede reciclarse, obteniéndose plomo secundario, a

partir de baterías desechadas, chatarras y residuos plomíferos y de otros productos o residuos que contengan plomo, así como de procesos productivos de otros metales tales como acero, cobre o cinc.

Sin embargo, se sabe desde tiempos remotos, que la exposición al plomo puede tener consecuencias adversas para la salud. Actualmente se conoce que la exposición al plomo es nociva para algunas partes del organismo, siendo las más afectadas (potencialmente) el cerebro y el sistema nervioso, los riñones, la sangre y el sistema reproductor de ambos sexos. Estos síntomas sólo se encuentran en individuos con exposiciones muy intensas.

En la actualidad, gracias a las mejoras tecnológicas y a una buena organización se ha conseguido que las emisiones y pérdidas varias de la industria del plomo se hayan reducido a un mínimo.

A continuación se presenta una tabla con las propiedades físicas del plomo en comparación con otros metales.

	Pb	Cu	Fe	Al	Zn	Sn
Densidad (G/cm ³)	11,34	8,96	7,87	2,70	7,14	7,3
Punto de fusión (grados C)	327,5	11084	1536	660	419,5	231,9
Punto de ebullición (grados C)	1750	2560	2860	2520	911	2270
Número atómico	82	29	26	13	30	50
Peso atómico	207,19	63,54	55,85	26,98	65,37	118,69
Calor específico (Jkg ⁻¹ K ⁻¹)	129,8	385	456	917	394	226
Conductividad térmica (Wm ⁻¹ K ⁻¹)	34,9	397	78,2	238	119,5	226
Resistividad a 20°C (ohm/cm)	20,6	1,69	10,1	2,67	5,96	12,6

Tabla 2.2-1 Propiedades físicas plomo-otros metales. Fuente: Uniplom

2.3 La batería de plomo

La clave de la gran importancia de la batería de plomo es ser, desde hace décadas el sistema establecido para almacenar y suministrar la energía eléctrica que consumen los automóviles de todo el mundo. Esta función ha hecho de la batería de plomo el sistema de acumulación más importante, si tenemos en cuenta su producción anual. Cada año se fabrican en el mundo entre 300-350 millones de baterías de plomo.

Una batería es un sistema que permite la producción de energía eléctrica gracias a reacciones químicas.

Las baterías propiamente dichas, o lo que es lo mismo, los acumuladores, son sistemas reversibles, es decir que transforman la

energía eléctrica en energía química y viceversa, lo que permite su utilización para almacenar energía eléctrica y recuperarla en corriente continua, mediante la descarga.

El número de ciclos de carga y descarga de una batería dependen del tipo de la misma y del uso que de ella se haga pero, en cualquier caso, al final de su vida útil, dan origen a unos residuos que, cuando contienen metales pesados o determinadas sustancias, entran en la categoría de peligrosos.

PORTÁTILES	Tipo	Peso	Usos
	Baterías herméticas de plomo	200 a 3000 g	Pequeña maquinaria alumbrado de emergencia, alarmas, etc.
GRAN TAMAÑO	Tipo	Peso	Usos
	Arranque (SLI)	0,5 a 25 Kg	Vehículos en general
	Tracción (industriales)	25 Km (media aprox.)	Carretillas, camionetas de reparto, minería, etc.
Auxiliares o de reserva (stand by, industriales)	45 Km (media aprox.)	Fuentes de energía aux., telecomunicación, informática, etc.	

Tabla 2.3-1 Clasificación de las baterías plomo-ácido (Según D.G. XI de la Comisión Europea) Fuente: Uniplom

Modelo o tipo	Plomo	Electrolito	Otros
Arranque (SLI)	63	23	14
Tracción	60	19	21
Estacionarias (stand by)	65	16	19
Promedio	62,66	19,33	18

Tabla 2.3-2 Composición media aproximada en peso (%) de las baterías. Fuente: Uniplom

Plomo (en diferentes formas)	63 % (en peso)
Electrolito	21 % (en peso)
Polipropileno	7 % (en peso)
Otros	9 % (en peso)

Tabla 2.3-3 Composición media de la batería plomo-ácido. Fuente: Uniplom

Las aplicaciones de las baterías de plomo son: automoción (batería de arranque), tracción (carretillas, locomotoras de mina, vehículos industriales, embarcaciones...), industriales (servicios continuos, regulación de cargas, energía fotovoltaica...) y usos domésticos (taladros, flashes, cortacésped...)

Las aplicaciones de la batería de plomo en usos industriales y domésticos no son mayoritarias. Una ventaja fundamental que ha motivado desde siempre el uso de la batería de plomo en la automoción es su bajo precio. En cambio, en el resto de aplicaciones, el parámetro económico no es tan determinante, y el mayor rendimiento tecnológico de otros tipos de baterías provoca que el uso de la batería de plomo para estas otras aplicaciones no sea general.

Según Uniplom (unión de industrias del plomo) las perspectivas son las siguientes:

- La batería plomo-ácido es, en el momento actual, imprescindible e insustituible, especialmente en automoción, pero también en muchas otras aplicaciones que exigen continuidad en el suministro de energía eléctrica.
- En la última década se han desarrollado tipos avanzados de baterías plomo-ácido con muy notables mejoras en sus prestaciones por lo que se refiere a duración, capacidad, facilidad de recarga, mantenimiento, economía, etc.
- Hasta ahora no puede decirse que haya aparecido una nueva tecnología capaz de sustituir ventajosamente a la batería plomo-ácido en sus aplicaciones clásicas, y que aún en las condiciones de fiabilidad, economía y prestaciones bien demostradas por ésta.

2.4 Principio de funcionamiento de las baterías.

El mecanismo que permite la utilización de una batería como fuente portátil de energía eléctrica es una doble conversión de energía, llevada a cabo mediante el uso de un proceso electro-químico. La primera conversión, de energía eléctrica en energía química, tiene lugar durante el proceso de carga. La segunda, de energía química en eléctrica, ocurre cuando la batería es descargada. Para que estas conversiones puedan llevarse a cabo se necesitan dos electrodos metálicos inmersos en un medio que los vincule, llamado electrolito.

Este conjunto forma una celda de acumulación, cuyo voltaje, en una batería de plomo ácido, excede levemente los 2V, dependiendo de su

estado de carga. En el proceso electrolítico cada uno de los electrodos toma una polaridad diferente. La batería tiene entonces un terminal negativo y otro positivo, que están claramente identificados en la caja de plástico con los símbolos correspondientes (- y +).

La batería comercial, para poder ofrecer un voltaje de salida práctico, posee varias de estas celdas conectadas en serie. La figura muestra la estructura interna y externa de una batería plomo-ácido para automóvil, donde se observa la conexión entre celdas, las cuales están físicamente separadas por particiones dentro de la caja que las contiene. Cada celda está compuesta de varias placas positivas y negativas, las cuales tienen separadores intermedios. Todas las placas de igual polaridad, dentro de una celda están conectadas en paralelo. El uso de varias placas de igual polaridad permite aumentar la superficie activa de una celda.

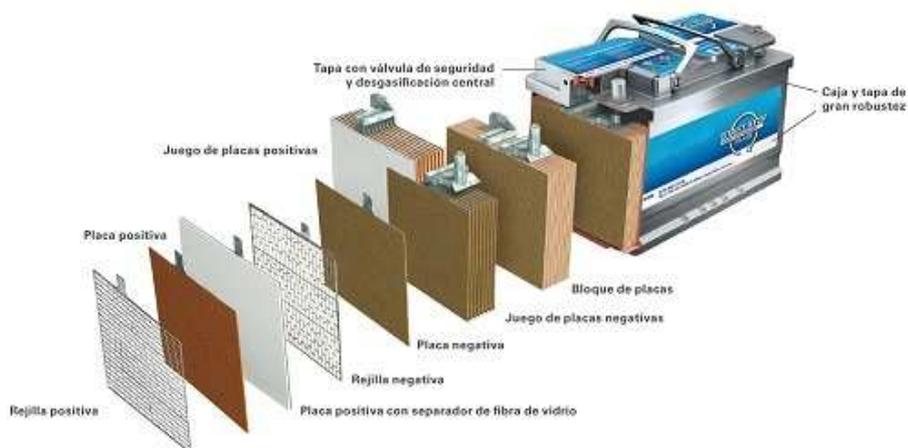


Ilustración 2.4-1 Componentes de la batería de plomo. Fuente: Acuerdo voluntario para la gestión baterías plomo-ácido

El ciclo de carga-descarga de la batería puede ser repetido teóricamente un número ilimitado de veces. En la realidad ese número está limitado por la pérdida de material que sufren los electrodos. Este ciclo de carga y descarga tendrá unas pérdidas de energía que se materializarán en forma de calor debido a la eficiencia de la conversión de energía. Normalmente la vida útil de estas baterías depende mucho de su ritmo, condiciones y tipo de uso; la vida que se les estima es de entre 1 y 5 años.

La batería de plomo ácido está compuesta por mallas metálicas, pasta de electrodo, ácido sulfúrico, conectores y polos de aleación de plomo, y separadores de red hechos de PVC o polietileno mayoritariamente. Los componentes de las baterías están alojados en un lugar resistente a la corrosión y al calor, normalmente de plástico. Los componentes de la típica batería de desecho de plomo ácido lo podemos ver en la siguiente tabla:

Material	%	Peso kg.
Pasta de Plomo	46,00	7,51
Electrolito	19,25	3,14
Plomo Metálico	26,00	4,25
Polipropileno	5,00	0,82
Separadores e inertes	3,75	0,61

Tabla 2.4-1 Componentes de la batería plomo-ácido. Fuente: Recobat

Los electrodos están hechos de plomo y el electrolito es una solución de agua destilada y ácido sulfúrico. Cuando la batería está cargada el electrodo positivo tiene un depósito de dióxido de plomo y el negativo es plomo metal. Al descargarse, la reacción química hace que ambas placas tengan un depósito de sulfato de plomo, tal y como se muestra en la siguiente imagen.

Cátodo (+): Dióxido de Pb
 Ánodo (-): Plomo metálico
 Electrolito: Ácido sulfúrico con cierta densidad.

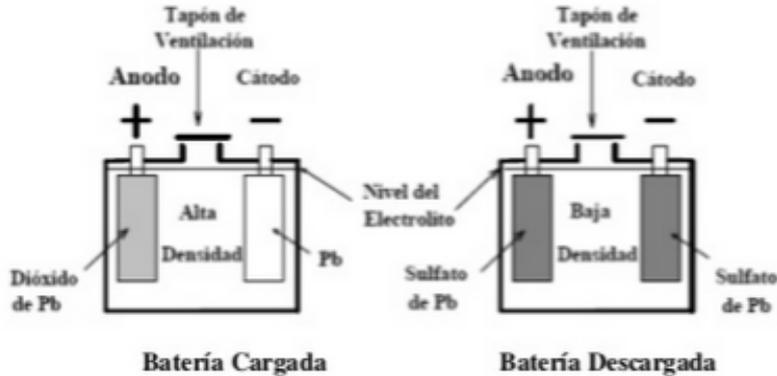


Ilustración 2.4-2 Batería plomo-ácido cargada-descargada. Fuente: Regenbat

También es necesario destacar que debido a la liberación de hidrógeno y oxígeno, por el proceso químico, la batería tendrá un tapón de ventilación que permite la evacuación de gases pero no del electrolito.

La batería de plomo fundamenta su funcionamiento en los fenómenos químicos de la electrólisis. Las placas de una batería nueva están formadas por rejillas metálicas en cuyos huecos hay óxido de plomo ($PbO_{(s)}$) prensado. Si se aplica una corriente eléctrica a las placas con óxido de plomo sumergidas en el electrolito, formado por ácido sulfúrico y agua destilada, debido a la ionización del electrolito circula de una placa a otra una corriente eléctrica. Al final del proceso en una placa no habrá más que un plomo finamente dividido en forma esponjosa y en la otra, dióxido de plomo ($PbO_{2(s)}$). Por tener estos materiales diferente tensión de disolución, existe entre ellos una diferencia de potencial, siendo la placa de dióxido de plomo la de mayor potencial eléctrico. Por tanto, tras la fabricación de una batería de plomo, ésta debe ser cargada eléctricamente para alcanzar la composición inicial de funcionamiento. Las placas positivas cubiertas únicamente por dióxido de plomo y las negativas por plomo esponjoso.

En esta situación puede comenzar un primer proceso de descarga de la batería de plomo. Si con el acumulador en estas condiciones unimos las dos placas, por mediación de una lámpara, se producirá una corriente eléctrica, que irá desde la placa positiva de dióxido de plomo, el cátodo, a la

negativa de plomo esponjoso, el ánodo, a través de la lámpara, regresando por el electrolito a la placa de dióxido de plomo. El paso de corriente a través del electrolito provoca que los cationes ($H^+_{(aq)}$) de éste se unan al oxígeno del dióxido de plomo para formar agua ($H_2O_{(l)}$). Los iones sulfato (SO_4^{2-}) quedan libres y, a continuación, reaccionan con el plomo de ambas placas para formar sulfato de plomo ($PbSO_{4(s)}$). Al cabo de cierto tiempo, las dos placas estarán cubiertas por el mismo compuesto, $PbSO_{4(s)}$, por lo que al tener la misma tensión de disolución, deja de haber diferencia de potencial entre ellas y cesa la corriente. Se dice entonces que la batería de plomo se ha descargado por completo. Al mismo tiempo, la concentración de ácido sulfúrico en el electrolito disminuye por la formación de agua.

Las reacciones químicas que reflejan la descarga son:

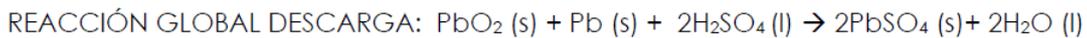
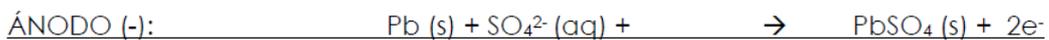
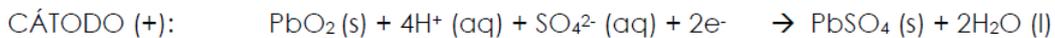


Ilustración 2.4-3 Reacciones químicas de descarga

Ambas semirreacciones producen iones $Pb^{2+}_{(aq)}$ debido a la oxidación del plomo esponjoso $Pb_{(s)}$ en el ánodo, y a la reducción del ión $Pb^{4+}_{(aq)}$ del dióxido de plomo $PbO_{2(s)}$ en el cátodo. Estos iones se unen a los aniones sulfato ($SO_4^{2-}_{(aq)}$), precipitando la sal $PbSO_{4(s)}$, que es muy poco soluble. El potencial de la reacción global es ligeramente superior a 2V, lo que explica que entre los seis acumuladores de una batería de plomo se obtenga una tensión de trabajo de 12V.

Para cargar el acumulador se hace pasar una corriente eléctrica en sentido contrario al de la carga, con lo que vuelven a formarse el plomo esponjoso u el dióxido de plomo en las placas. Por tanto, aparece nuevamente entre ambas diferencia de potencial. Las reacciones químicas de la carga son exactamente las inversas a las de descarga, siendo:

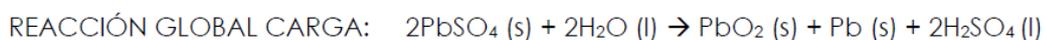
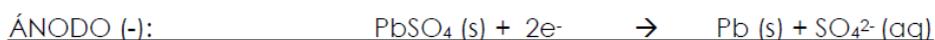
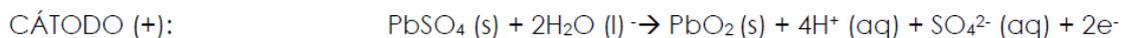


Ilustración 2.4-4 Reacciones químicas de carga

De los procesos de carga y descarga se deduce:

- La concentración del ácido sulfúrico en el electrolito es variable, con arreglo al estado de carga de la batería. Al descargarse se rebaja y al cargarse se recupera.

La densidad específica del ácido sulfúrico puro es de aproximadamente 1.835 kg/dm³ y la del agua 1.000 kg/dm³. El electrolito, esto es, la disolución de ácido sulfúrico en agua, suele estar a razón de 36% de ácido, por lo que un elemento completamente cargado, podemos deducir la densidad del electrolito es 1,270.

Puesto que durante los procesos de carga y descarga se producen cambios en la proporción de ácido sulfúrico que existe en el electrolito, pues los iones sulfato SO⁴⁻ y los iones de hidrógeno H⁺ se han combinado con iones de Pb⁺ de las placas para formar en ellas el sulfato de plomo, podemos deducir el estado de descarga de un elemento de la batería midiendo la densidad del electrolito con un hidrómetro. Además hay que tener en cuenta, que existe una influencia de la temperatura en el valor de esta medida, valor que hay que tener en cuenta para corregir al alza o a la baja el valor de la densidad obtenido con el hidrómetro. Es importante destacar que una vez se mide la densidad del electrolito es medir la capacidad de la batería (o su nivel de carga), pero es necesario corregir este valor en función de la temperatura. Se pueden ver algunos valores típicos en la siguiente tabla:

Densidad a 30° C	Tensión a 30° C en voltios	% de la carga en la batería
1.295	2,14	100
1.280	2,13	90
1.265	2,12	80
1.245	2,1	70
1.230	2,07	60
1.210	2,06	50
1.190	2,05	40
1.165	2,03	30
1.150	2	20
1.130	1,99	10
1.110	1,97	0

Tabla 2.4-2 Factor de corrección densidad-tensión. Fuente: Regenbat

- Si una batería se encuentra muy descargada, es muy posible que si no hay suficiente plomo esponjoso en las placas negativas, se forme sulfato en el armazón de la placa. A esto se le llama sulfatación de la batería y es una avería grave.

- Un exceso de carga en la batería tendrá una grave consecuencia para esta. Al seguir descomponiéndose el agua del electrolito, el hidrógeno no tendrá suficiente sulfato para combinarse y saldrá en forma de gas por los respiraderos de los tapones, con peligro de explosión. Al mismo tiempo, el oxígeno liberado, no encontrando ya bastante plomo del sulfato con el que combinarse, lo hará con el del armazón oxidándolo, con lo que el enrejado de las placas positivas se hinchará y éstas se retorcerán y desharán.

La batería de plomo opera en un constante proceso de carga y descarga. Cuando está conectada a un elemento que necesita de su electricidad, por ejemplo, la radio de un automóvil, la batería comienza a descargarse. Una batería se carga cuando la corriente eléctrica fluye en sentido contrario, restaurando la diferencia química entre las placas. Esto ocurre cuando el alternador ofrece de vuelta energía eléctrica a la batería. En una batería nueva, los denominados componentes activos (plomo esponjoso y dióxido de plomo) están en una proporción 1:1, pero los sucesivos procesos de carga y descarga alteran esta proporción, así como la concentración de ácido sulfúrico mencionada anteriormente. Debido a este deterioro paulatino, la batería de plomo se hace inservible con los años, al no ofrecer electricidad a un voltaje suficiente.

2.5 La industria del plomo

El plomo procedente de minería es extraído en muchos países del mundo, sin embargo casi tres cuartas partes de dicha producción se localizan en solo seis países: China, Australia, USA, Perú, Canadá y Méjico.

La producción primaria del plomo está constituida por varias etapas que se resumen a continuación.

- Extracción del mineral: consiste en la extracción del mineral bruto (galena y sulfuros minerales) y un tratamiento para

conseguir un concentrado de plomo con el mínimo contenido de otras sustancias.

- Fusión: tratamiento metalúrgico del concentrado de plomo obtenido en la etapa anterior con otros reactivos para obtener plomo bruto o "plomo de obra". El proceso consiste en una tostación oxidante de los sulfuros que pasan a óxidos para posteriormente reducir los óxidos en un horno de cuba con la adición de coque además de otras sustancias.
- Refino: consiste en la eliminación de las impurezas presentes en el plomo de obra (S, Cu, Ni, As, Sn, Sb, Bi, Ag, Au, etc). Se lleva a cabo en varias etapas mediante la adición de distintos reactivos.
- Aleado: mezcla de plomo con otros metales para conseguir una composición determinada.

La producción secundaria es la que se obtiene a partir de chatarras o residuos de plomo. En ocasiones el único tratamiento a realizar es una refusión de la materia prima secundaria con muy pocas operaciones complementarias; pero en otros casos como es el caso de las baterías, el proceso de fusión es más complicado y se complementa con un afinado del plomo de obra.

La producción secundaria necesita menos energía que la primaria. Se estima que el consumo energético para la metalurgia primaria es de 7.000-20.000 MJ/Tn y el de la secundaria de 5.000-10.000 MJ/Tn.

El plomo es objeto de compra y venta por parte de muchos países en los mercados mundiales, ya sea como concentrados, como metal bruto o refinado o como productos finales. El plomo ya sea primario o secundario, se cotiza, igual que otros metales, en la Bolsa de Metales de Londres (LME, "London Metal Exchange").

2.6 Aspectos legales y legislación de referencia

Debido a la alta toxicidad del plomo, el sector del reciclaje de baterías fuera de uso y todas aquellas industrias relacionadas con dicho metal, tienen como prioridad el cumplimiento estricto de la normativa vigente que le afecta. A continuación se presenta un listado del marco normativo

vigente que afecta a los gestores de este tipo de residuo en la comunidad autónoma de Aragón:

- Ley 38/1972, de 2 de diciembre, de Protección del ambiente Atmosférica. Derogada por la Ley 34/2007.
- Real decreto 833/1988 de de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, básica de Residuos tóxicos y peligrosos.
- Convenio de Basilea de 22 de marzo de 1989, sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación.
- Real Decreto 952/1997 de 20 de junio, por el que se modifica el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, de 14 de mayo, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos, aprobado mediante Real Decreto 833/1988, de 20 de julio.
- Ley 10/1998 de 21 de abril, Ley básica de residuos. Derogada por la ley 22/2011.
- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de aguas.
- Ley 6/2001, de 8 de mayo, de evaluación de impacto ambiental. Derogada por el Real Decreto legislativo 1/2008
- Ley 16/2002, de 1 de julio, Ley de Prevención y control integrados de la contaminación.
- Orden MAM 304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de Valorización y eliminación de los residuos y la lista europea de Residuos.
- Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.
- Decreto 38/2004 de 24 de febrero del gobierno de Aragón, por el que se aprueba el reglamento de los Vertidos de Aguas residuales a redes municipales de alcantarillado.
- Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo, y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.

- Real Decreto 208/2005 de 25 de febrero, sobre aparatos eléctricos y electrónicos y sobre la gestión de sus residuos. Derogada por el Real decreto 110/2015.
- Decreto 236/2005, de 22 de noviembre del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba el Reglamento de la producción, posesión y gestión de residuos industriales peligrosos y del régimen jurídico del servicio público de eliminación de residuos industriales peligrosos no susceptibles de valorización en la CCAA.
- Decreto 2/2006, de 10 de enero, del Gobierno de Aragón por el que se aprueba el Reglamento de la producción, posesión y gestión de residuos industriales no peligrosos y del régimen jurídico del servicio público de eliminación de residuos industriales no peligrosos no susceptibles de valorización en la CCAA.
- Reglamento (CE) Nº 166/2006, del Parlamento europeo y del consejo, de 18 de enero de 2006, relativo al establecimiento de un registro europeo de emisiones y transferencias contaminantes (PRTR).
- Ley 7/2006 de 22 de junio, Protección ambiental de Aragón. Derogada por la Ley 11/2014, de 4 de diciembre, de Prevención y Protección Ambiental de Aragón.
- Real Decreto 679/2006, de 2 de junio, por la que se regula la gestión de aceites usados.
- Reglamento 1013/2006, de 14 de junio, relativo a los traslados de residuos.
- Ley 26/2007, de Responsabilidad Medioambiental.
- Reglamento 1379/2007, de 26 de noviembre, se modifican los Anexos IA, IB, VII, del Reglamento 1013/2006 relativo a los traslados de residuos.
- Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de Calidad y protección de la atmósfera
- Real Decreto 508/2007, de 20 de abril, por el que se regula el suministro de información sobre emisiones del reglamento E-PRTR y de las autorizaciones ambientales integradas.

- Real Decreto 509/2007, de 20 de abril, por el que se aprueba el reglamento para el desarrollo y ejecución de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.
- Real Decreto 1/2008, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación del Impacto Ambiental de proyectos. Derogado pro la Ley 21/2013.
- Real Decreto 106/2008, de 1 de febrero, sobre Pilas y acumuladores y Gestión ambiental de sus residuos.
- Decreto 148/2008, de 22 de julio, del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba el catalogo aragonés de residuos.
- Real Decreto 2090/2008, de 22 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad ambiental.
- Ley 7/2010, de 22 de junio, de Protección contra la contaminación acústica de de Aragón.
- Real Decreto 100/2011, de 28 de enero, por el que se actualiza el catálogo de actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera y se establecen las disposiciones básicas para su aplicación.
- Ley 22/2011, de 28 de julio, de Residuos y suelos contaminados
- Ley 5/2013, de 11 de junio, por la que se modifica la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.
- Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre, por el que se aprueba el reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de Prevención y control integrados de la contaminación.
- Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental.
- Ley 11/2014, de 3 de julio, por la que se modifica la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental.
- Real Decreto 110/2015, de 20 de febrero, sobre Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos

- Real Decreto 180/2015, de 13 de marzo, por el que se regula el traslado de residuos en el interior del territorio.
- Orden 20 de mayo de 2015, por la que se establecen los requisitos de registro y control en las actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera y se establecen métodos alternativos para determinados contaminantes atmosféricos.

3 Características de la empresa

3.1 Presentación de la empresa

Recuperación Ecológica de Baterías, S.L. nació en 1998 fruto de la colaboración entre el principal grupo de reciclaje de chatarras y metales de España, Lajo y Rodriguez S.A. (LYRSA) y un grupo de profesionales con una amplia experiencia en el mundo del reciclaje de productos de plomo.

En 1998 se puso en marcha una planta de trituración de baterías agotadas de plomo en Pina de Ebro (Zaragoza) y tras asentar su actividad en el 2006 entró en funcionamiento una nueva instalación completa de trituración y metalurgia en Albalate del Arzobispo (Teruel).

La actividad principal de Recobat, S.L. es el reciclaje de baterías agotadas de plomo y todo tipo de compuestos de ese mismo material para obtener materias primas recicladas, que son reutilizadas principalmente en el propio sector de la automoción.

Para la recogida de baterías, Recobat cuenta con el servicio de varias empresas especialistas en logística y una flota de contenedores preparados para el transporte de esta mercancía peligrosa. El servicio de recogida se realiza principalmente a gestores intermedios.

Los productos con los que cuenta son los siguientes:

- Plomo de Obra: Plomo de obra en tochos cónicos de unos 1600-1700 Kg con gancho para la carga y descarga.
- Plomo puro: Lingotes de plomo puro de unos 35 Kg certificados por el LME (London Metal Exchange)
- Aleaciones de plomo: Hacemos todo tipo de aleaciones de plomo. Plomo antimonioso, plomo calcio, etc
- Polipropileno procedente de las carcasas de las baterías.
- Compuestos de plomo: Diversos compuestos de plomo incluyendo: óxidos, metálicos, bornas y chatarras de plomo (Planta Pina de Ebro).

Para la realización de los procesos de reciclaje de baterías, Recobat cuenta con la tecnología más avanzada del sector, lo que permite el tratamiento de gran volumen de estos residuos peligrosos, cumpliendo con

las normativas en materia medioambiental y de prevención de riesgos laborales.

Todos los materiales producidos están sujetos a un riguroso control de calidad llevado a cabo en el laboratorio por técnicos cualificados, lo que garantiza las especificaciones exigidas por los clientes, a fin de conseguir la máxima satisfacción de los mismos.

El Grupo Lyrsa tiene como principales actividades: el reciclaje y valorización de productos de consumo fuera de uso y de residuos industriales, y la recuperación, gestión, transporte y comercio de sus componentes; la prestación de servicios relacionados con la gestión integral de residuos; y la demolición y desguace de edificaciones y estructuras industriales.

El grupo empresarial cuenta con una extensa implantación nacional y con una planta recicladora en Portugal, lo que permite cubrir con garantías las necesidades de suministro de sus clientes y prestar servicios de gestión de residuos a empresas con la máxima eficiencia en cualquier punto geográfico de la Península Ibérica.

Comprometidos con las crecientes exigencias en materia medioambiental, mantienen un proceso constante de certificación de todas sus plantas y actividades conforme a las normas internacionales en materia de Calidad, Seguridad Laboral y Medio Ambiente y se asume una política de mejora continua de todas sus instalaciones.

En el Grupo LYRSA se considera y asume que el cumplimiento continuado de la legislación y reglamentación que le sea aplicable, tanto de carácter general como específicamente ambiental, así como el cumplimiento de otros requisitos que la Sociedad suscriba, son la premisa fundamental para su actuación y el marco en que se basa la definición de sus Políticas Empresariales.

3.2 Descripción del proceso industrial

La empresa objeto del estudio realiza la valorización integral de baterías de plomo fuera de uso. Los materiales que entran en la planta de tratamiento y recuperación, es decir las materias primas, son las baterías de plomo ácido agotadas.

Las operaciones que se desarrollan en sus instalaciones son las siguientes:

- Recepción y almacenamiento temporal de las materias primas y auxiliares.
- Trituración de Baterías y transformación de sus componentes en materias primas secundarias.
- Fusión y reducción de las materias primas para obtener plomo bruto o plomo de obra.
- Operaciones de rectificación y refinado del plomo de obra obtenido.
- Obtención del plomo refinado con una pureza del 99,985%.
- Aleación del metal en las distintas composiciones que pueden demandar los clientes.
- Transformación del producto en lingotes ó tochos
- Almacenamiento y expedición del producto final.

En este apartado se va a describir el proceso productivo a nivel general para la recuperación del plomo metal, indicando las etapas en las que se puede dividir.

El sistema productivo de Recobat se divide claramente en tres secciones.

- Trituración de baterías
- Fusión de plomo
- Afino y lingotado de plomo

La primera de éstas es la planta de trituración de baterías donde se realiza la separación de los componentes: plomo metálico, óxido y sulfato de plomo, polipropileno y separadores. Éste proceso se define a continuación.

Las baterías pasan desde la zona de almacenamiento al sistema de alimentación mediante una pala cargadora o un puente grúa.

El alimentador transporta de forma controlada y constante a una cinta transportadora que las conduce hasta un triturador de martillos.

Una vez triturada la batería, se descargan los materiales obtenidos por medio de un tornillo sin fin sobre el clasificador primario.

En este primer clasificador se produce un cribado y primer lavado de todo el material mediante un rociado con agua a presión, produciéndose la separación de las partes más finas de las más gruesas.

Los materiales más gruesos son descargados en un separador de clasificación por contracorriente donde se repite el lavado del plomo metálico, el polipropileno y los separadores de la batería. En este separador por contracorriente se separan las partes más gruesas del plomo metal de los materiales plásticos que contiene una batería (polipropileno de la carcasa y separador normalmente de polietileno). Ambos plásticos se separan posteriormente gracias a la diferencia de densidad que existe entre ellos. El destino del polipropileno es su reciclado en empresas gestoras de plásticos y es un residuo que tiene un valor positivo, mientras que el separador se gestiona como residuo siendo su valor negativo. Su destino final es el depósito en vertedero o la valorización energética y ambas suponen un coste para la empresa.

Las partes más finas obtenidas en el primer clasificador compuestas por las pastas de plomo y pequeñas fracciones de plomo metal son transportadas hasta el elutriador. Este elemento está diseñado para que precipiten las partes metálicas de plomo, flotando el resto. La fracción de pasta permanece en flotación o suspensión y es conducida hasta un tanque donde se realiza una adición de sosa y floculante con el objetivo de que los óxidos y sulfatos de plomo precipiten y formen flóculos. Desde este tanque se bombean estas aguas con las pastas en suspensión para obtener las pastas de plomo secas en forma de tortas resultantes de los dos filtros prensa que posee la instalación. La parte metálica más pesada es recogida del fondo del elutriador mediante un tornillo sin fin y enviada a contenedores para su almacenamiento.

Todo el proceso de trituración y separación se realiza por vía húmeda, evitando de esta manera la dispersión de polvo de plomo en el ambiente.

Todos los compuestos de plomo obtenidos en esta primera fase del proceso estarán almacenados durante unos días para su secado y posteriormente serán trasladados a la zona de horno para la obtención del plomo de obra.

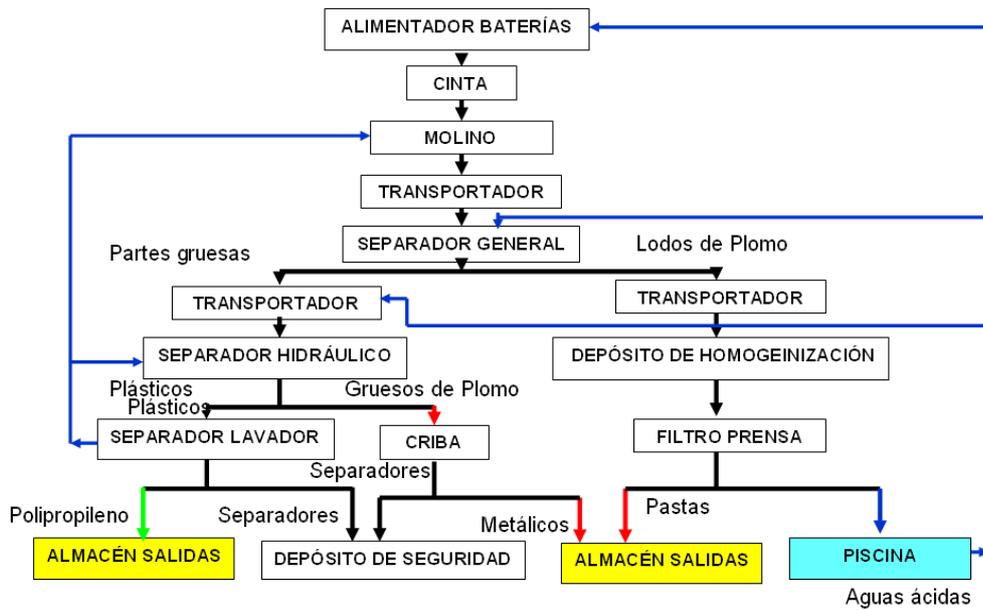


Ilustración 3.2-1 Diagrama de proceso de trituración de baterías.

Fuente: Recobat

Tras la trituración se lleva a cabo la segunda parte del proceso productivo, la fusión de plomo. En esta segunda zona se encuentra un horno rotativo de 4 metros de diámetro y 30 toneladas de capacidad de carga entre materias primas y fundentes por ciclo. En esta zona están también todas las instalaciones necesarias para su correcto funcionamiento, como el tren de colada, la instalación de fuel-oxígeno del quemador, las campanas receptoras de gases, la cámara de expansión que comunica el horno con el filtro y los dos filtros de aire. El primer filtro, llamado "filtro de horno", está asociado solamente a los gases que produce el horno rotativo, y el segundo se destina a la depuración del aire del interior de las naves de fusión y afino. Este segundo filtro tiene la función de preservar la salud de los trabajadores de la planta, ya que extrae el aire contaminado de las zonas de trabajo y lo depura para su extracción al exterior.

La fase de fusión se resume en seis pasos:

1. Preparación de la carga
2. Alimentación de horno
3. Fusión y reducción
4. Colada de plomo
5. Colada de escorias

6. Inicio de un nuevo ciclo.

En el horno rotativo, además de las pastas y el plomo metal obtenido en la trituración de las baterías, se añaden otros compuestos o reactivos como son hierro y carbón de antracita, con la finalidad de formar escorias que retengan el azufre de la pasta (en forma de FeS - Na_2S), minimizando así la generación de SO_2 , y de provocar la reducción química de los óxidos y el sulfato de plomo de la pasta a plomo en estado de oxidación cero, es decir, plomo metal.

Con el fin de favorecer la reacción de los compuestos de plomo, antracita y viruta de hierro se añaden fundentes como el carbonato sódico y cálcico. Durante el proceso de fusión-reducción de los óxidos y sulfatos de plomo se llega a alcanzar una temperatura próxima a los 1100°C . El movimiento rotativo del horno es originado por un motor-reductor y se regula en función del avance del proceso.

Durante la carga y la primera fase del proceso, en el interior del horno se genera una atmósfera oxidante inyectando una mezcla fuel-oxígeno con alto contenido en este último y bajo en fuel, con el fin de ir secando la carga. Posteriormente, la temperatura continúa elevándose y se mantiene la atmósfera fuertemente oxidante, con lo que se consigue la descomposición de los materiales fácilmente combustibles, produciéndose una serie de gases compuestos principalmente por CO_2 y H_2O y con ausencia de compuestos nitrogenados. Cuando la temperatura alcanzada se sitúa en los 600 - 700°C comienza la fusión de los compuestos de plomo, para llegar a la descomposición de los sulfatos de plomo a la temperatura de 1050 - 1100°C . Para ello se regula de nuevo la mezcla que se está produciendo en el quemador, reduciendo el oxígeno para generar una atmósfera que permita la reducción del metal hasta obtener el plomo metal. A estas temperaturas, se producen en el interior del horno toda una serie de reacciones químicas que dan lugar a la obtención del plomo en estado líquido y a otros materiales presentes en la escoria. Esta escoria, compuesta principalmente por sulfuros de hierro, será enviada a la zona de inertización de escorias donde se controlará tanto la temperatura como las características físicas y químicas previamente a su envío al depósito autorizado para este tipo de materiales.

Los gases de salida de horno son extraídos por el extremo opuesto al de la carga y son conducidos al filtro específico de horno.

Además sobre la canal de colada, tren de enfriamiento de escorias, piquera de plomo y escoria y zona de carga se encuentran otras campanas de extracción de gases que absorben cualquier emisión durante el proceso y las envían al filtro de saneamiento. A este filtro también se encuentran asociadas todas las campanas de aspiración que existen en la zona de crisoles que se describe más adelante.

En el horno, durante el proceso de fusión, se han obtenido dos productos, el plomo fundido y las escorias. El paso siguiente es colar el metal antes de pasarlo a los procesos de limpieza en la zona de afino, así como vaciar el horno de la escoria producida. Para realizar la colada se practica un orificio en la piquera que es colocada mediante la rotación del horno en la parte inferior de éste. Al colocarse la piquera en el punto más bajo se permite la salida del metal, el cual, debido a su mayor densidad se encuentra depositado en el fondo. Inmediatamente debajo de la piquera, se encuentra la canal de colada que consiste en una canalización hecha con material refractario que transporta el plomo del horno hasta el primer crisol. Cuando se detecta visualmente que se ha vaciado el metal contenido en el horno y que empieza a salir escoria se interrumpe la colada de plomo, cerrando la piquera de plomo e inmediatamente se procede a la apertura de la piquera de la escoria. La escoria se recoge en unos contenedores hechos con material refractario que soportan elevadas temperaturas. Una vez han sido extraídas del horno, se almacenan para su enfriamiento en el túnel de escorias, el cual está sometido a aspiración para evitar emisiones en la zona de trabajo. Una vez ha disminuido la temperatura y las escorias ya son sólidas se extraen del túnel de escorias y son transportadas a la zona de estabilización, donde serán acondicionadas para su transporte a depósito de seguridad, ya que su bajo contenido en plomo no hacen viable su procesado.

A continuación se inicia otro ciclo de carga, fusión, reducción y colada. De esta forma se consigue una fusión completa y homogénea de los materiales alimentados al horno. Los parámetros a regular y a controlar en el proceso de horno son los siguientes

1. La composición de la carga.

2. La composición de la mezcla fuel-oxígeno
3. La regulación de la depresión en el mismo provocada por el tiro del filtro al extraer los gases de la combustión.
4. La velocidad de rotación del giro.
5. La duración de cada fase.

Una vez se ha producido la fusión y se ha reducido a plomo metálico, éste es conducido hasta el primer crisol pasando así a la tercera fase del proceso productivo.

Esta fase final es la zona de afino y lingotado o también llamada "zona de crisoles".

En esta zona se encuentra una batería compuesta por cinco crisoles de 60 toneladas de capacidad donde se recibe el metal de la colada del horno. Después de realizar la operación de limpieza en el primer crisol, se pasa a la operación de afino y por último si es necesario a la adición de los elementos necesarios para la obtención de las distintas aleaciones.

En esta zona también se encuentra instalada una cinta de lingotado continuo y apilado automático de lingotes con una capacidad de 20 toneladas por hora. De aquí salen los distintos productos finales, en lingotes, para su almacenamiento.

Del horno se obtiene el llamado plomo de obra, cuya pureza está entre el 97 y 99% en peso de plomo. Este plomo no tiene demasiada salida comercial, ya que solamente es utilizado para la fabricación de contrapesos o para munición añadiendo algún otro aleante como puede ser el antimonio. Por este motivo, la mayor parte de la producción de plomo de obra es refinada.

El plomo de obra se obtendrá en bloques, de aproximadamente 1.500 Kg de peso, para lo cual se dispondrá de unos moldes troncocónicos que se llenarán de plomo fundido mediante bombas diseñadas para soportar estas temperaturas. Una vez solidificado, se procederá al desmolde y al almacenamiento para su posterior expedición.

La siguiente figura describe el esquema de funcionamiento del proceso metalúrgico tradicional usado en la planta objeto del estudio.

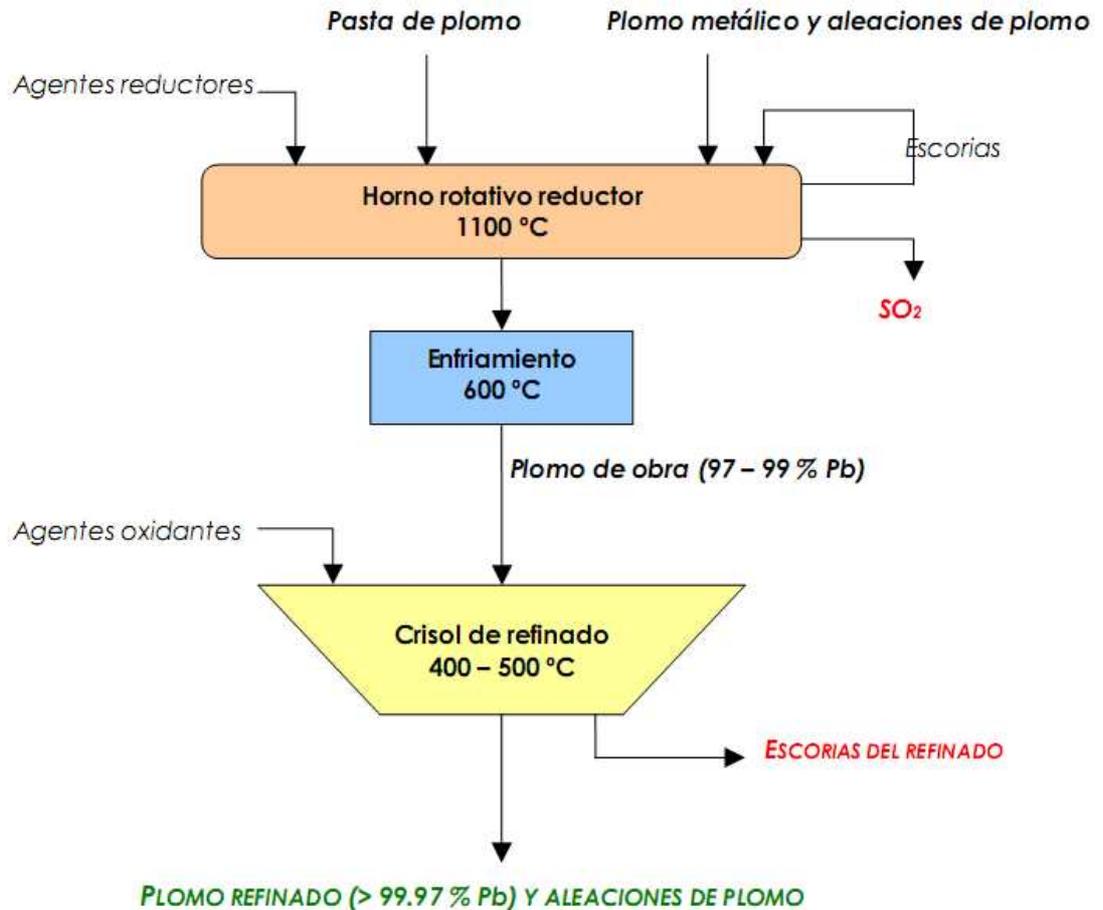


Ilustración 3.2-2 Esquema del funcionamiento de un proceso metalúrgico tradicional para el reciclaje de baterías usadas. Fuente: UPC

Para obtener el plomo puro es necesario afinar el material hasta alcanzar el mayor grado de pureza posible vía metalúrgica. Es necesario realizar un control de la composición de los materiales fundidos en los crisoles, para lo cual se obtienen muestras homogéneas que son trasladadas al laboratorio donde se analiza su composición. Dependiendo de las impurezas que contiene el plomo de obra se plantearán las cantidades a adicionar y condiciones de trabajo del proceso de limpieza o refino de plomo. Las impurezas a extraer en el proceso de refino son principalmente el Cu, Sb, As y Sn, ya que el plomo puro no puede contener más de 10 g de estos metales por tonelada.

La purificación térmica se realiza en fase líquida, (temperatura > 327°C, que es la de fusión del Pb). El concepto químico en que se basa el proceso de refino consiste en añadir reactivos específicos al plomo fundido a

temperaturas adecuadas. Estos reactivos extraerán los metales no deseados en un orden específico, ya que se van adicionando selectivamente.

El Cu es el primer elemento que se extrae. Añadiendo azufre al plomo fundido a la temperatura adecuada, obtenemos CuS que podemos separar.

A continuación se procede a la oxidación del resto de impurezas, para ello suele añadirse sosa cáustica que las retiene. Para provocar su oxidación, se añaden agentes oxidantes como el nitrato de sodio. Las impurezas metálicas (estaño, arsénico y antimonio), forman sales metálicas con el sodio, de forma que pueden ser aisladas.

En los crisoles se trabaja normalmente a una temperatura del orden de los 450-500°C, el calor necesario se genera mediante quemadores de gas natural-aire. El trasvase entre crisoles se realiza mediante bombas diseñadas para soportar estas temperaturas.

El plomo refinado obtenido es de alta pureza (>99,985% Pb), y se utiliza para la fabricación de lingotes de plomo puro o aleaciones.

Para la obtención de lingotes, el plomo refinado es bombeado hasta la lingotera, donde se procede a la solidificación y formación de los lingotes de plomo. Se van formando paquetes que son identificados y almacenados en la zona de producto final hasta su expedición.

Además de las instalaciones propias del proceso productivo, existen las siguientes instalaciones para el apoyo de éste.

- Instalaciones generales: oficinas, administración, vestuarios, etc.
- Instalaciones de tratamiento de aguas en circuito cerrado.
- Instalación de la maquinaria auxiliar: centro de transformación, cuadro general de baja tensión, suministro de gases (oxígeno), depósito de fuel.
- Laboratorio.
- Taller de mantenimiento.

Recobat cuenta con los certificados ISO 9001 de Calidad e ISO 14001 de Medio Ambiente, que avalan la excelencia en el proceso de transformación de la batería, así como el absoluto respeto por el Medio Ambiente que se observa en todos los procesos.

3.3 Capacidad Comercial

La organización comercial de Recobat se divide en compras y ventas, y son principalmente tres personas las que llevan a cabo esta actividad, dos de ellos encargándose de la compra de materias primas tanto nacionales como internacionales y materias auxiliares y un tercero encargado de la venta de producto final.

En el caso de las ventas es una persona la que se encarga de todas las gestiones, tanto nacionales como internacionales y la división y gestión de éstas se hace por clientes.

En la siguiente figura se muestra el porcentaje de ventas por clientes, siendo el total de ventas del año pasado alrededor de 20.000 toneladas de plomo. Los clientes uno y dos acumulan el 85% del total de las ventas, siendo el cliente número 4 la agrupación de pequeños clientes.

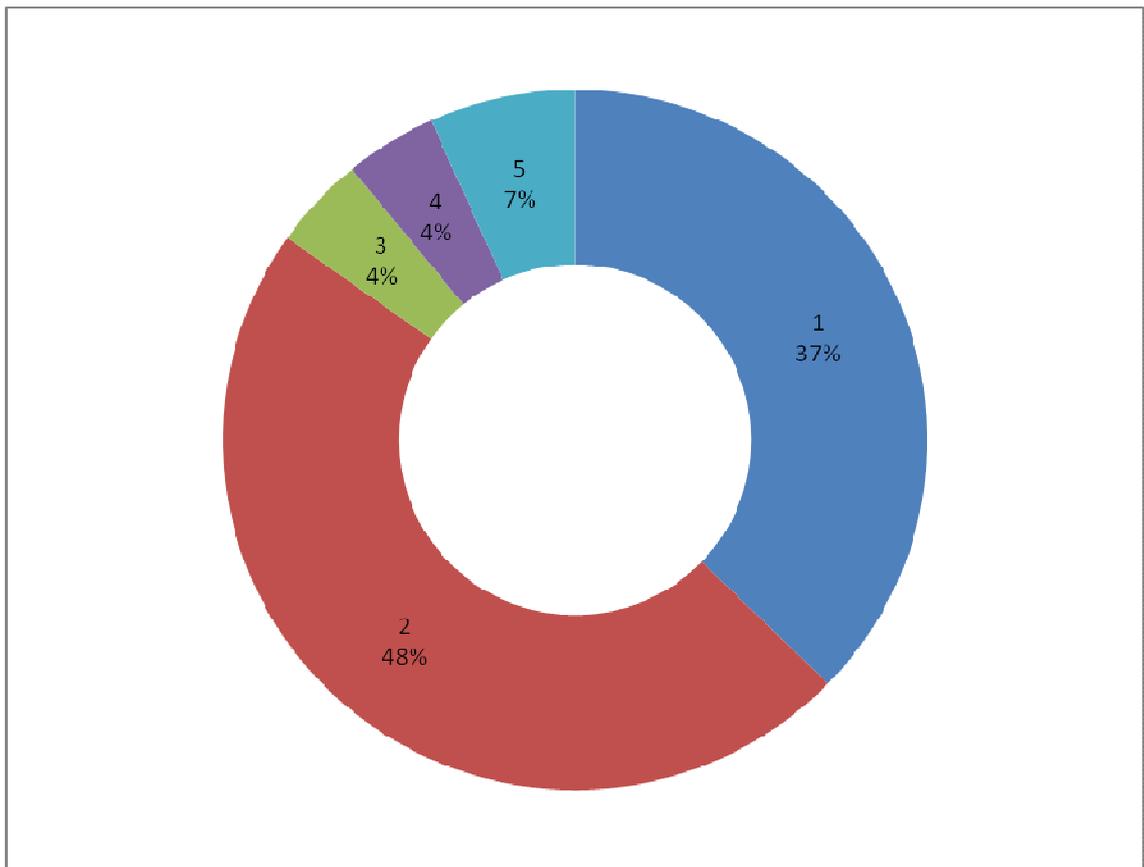


Ilustración 3.3-1 Porcentaje de venta agrupados por cliente

La producción de plomo secundario en España en el año 2004 queda reflejada en la siguiente tabla en la que puede observarse la localización y capacidad nominal de las fundiciones.

<i>Empresa</i>	<i>Localidad</i>	<i>Capacidad nominal (t/año)</i>
Grupo TUDOR, S.A.	San Estebán de Gormaz	60.000
Metalúrgica de Medina, S.A.	Medina del Campo	35.000
Perdigones AZOR, S.A.	Espinardo	35.000
RECOBAT	Albalate del Arzobispo	20.000
CAPACIDAD NOMINAL TOTAL		150.000

Tabla 3.3-1 Capacidad productora de las fundiciones recicladoras en España en el año 2004.

Fuente: Uniplom

En cuanto a nivel mundial a continuación se muestra una tabla donde se refleja la producción y consumo asociado a cada área geográfica.

**PRODUCCIÓN MINERA Y METALÚRGICA Y CONSUMO
MUNDIALES POR ÁREAS GEOGRÁFICAS**

(En t x 1.000)

ANOS	2001	2002	2003	2004	2005	2006 (*)
AFRICA						
Producción minera	165	130	102	117	130	115
Producción metalúrgica	116	144	138	100	130	140
Consumo	119	98	116	112	113	125
AMERICA						
Producción minera	1.080	1.024	1.029	985	1.013	1.009
Producción metalúrgica	2.057	2.092	2.092	2.005	2.042	2.064
Consumo	2.110	2.066	2.032	2.042	2.123	2.127
ASIA						
Producción minera	749	772	1.104	1.154	1.191	1.354
Producción metalúrgica	2.189	2.361	2.636	3.002	3.422	3.862
Consumo	2.044	2.415	2.717	3.104	3.481	3.773
EUROPA						
Producción minera	336	245	228	230	247	262
Producción metalúrgica	1.857	1.761	1.589	1.569	1.702	1.705
Consumo	2.048	2.027	1.941	1.984	2.003	1.928
OCEANIA						
Producción minera	714	658	648	642	715	640
Producción metalúrgica	276	311	315	281	276	249
Consumo	50	42	42	40	29	31
TOTAL MUNDO						
Producción minera	3.043	2.829	3.111	3.128	3.296	3.380
Producción metalúrgica	6.494	6.669	6.770	6.957	7.579	8.020
Consumo	6.370	6.648	6.848	7.282	7.749	7.984
OCCIDENTE (%)						
Producción minera	74	68	61	59	60	57
Producción metalúrgica	75	67	63	60	57	54
Consumo	85	67	63	60	58	55

(*) Estimación

Fuente: International Lead and Zinc Study Group

Tabla 3.3-2 Producción minera y metalúrgica y consumo mundiales por áreas geográficas. Fuente: Uniplom

3.4 Objetivos técnicos específicos del proyecto

El objetivo del estudio es la elaboración de un sistema de costes para una planta de reciclaje de baterías plomo-ácido, de manera que éste sirva en la toma de decisiones. Los objetivos de un sistema de costes son:

- Proporcionar informes relativos a costes para medir la utilidad y valorar el inventario.
- Ofrecer información para el control administrativo de las operaciones y actividades de la empresa.
- Proporcionar información a la dirección para la toma de decisiones.

Un sistema de costes es un instrumento eficaz para la dirección, pues a través de él se puede medir la rentabilidad económica de las empresas, facilitando la toma de decisiones encaminadas a obtener mejores resultados, con el mínimo de gastos, así como reducir el riesgo en la toma de decisiones.

En una segunda parte del estudio se propondrá y analizará la rentabilidad de distintas alternativas tecnológicas que existen en el sector y que se podrían llevar a cabo en la planta para mejorar diferentes aspectos de ésta como pueden ser ambientales, productivos...

4 Sistema de costes

Tradicionalmente se ha utilizado un método para el cálculo de los costes que se basaba en clasificar los costes generales (o costes indirectos) por funciones. Teníamos así gastos de aprovisionamiento, gastos de fabricación, gastos de venta o distribución, gastos de administración y gastos financieros.

Una vez hecha esta clasificación de los gastos, los de aprovisionamiento se prorrateaban entre las materias primas que entraban en el almacén; los de clasificación se repartían en prorrata a las unidades físicas de productos fabricados: los de financiación y administración en función de los productos fabricados, de los costes directos, de la mano de obra directa...; y los de ventas o distribución en función de los productos vendidos en unidades o valor.

Este método tenía la característica de ser muy arbitrario pudiendo la empresa llegar a unos costes y resultados totalmente distintos dependiendo de la clave de reparto utilizada. Para evitar esa arbitrariedad en el cálculo del coste y para que la contabilidad sirva para la toma de decisiones la información contable se debe ordenar por áreas. Estas áreas nacen del proceso de descentralización de la empresa y se suelen llamar centros de actividad, secciones o departamentos.

Cada centro de actividad realiza una parte del proceso productivo. En líneas generales podríamos decir que todos los costes involucrados en la actividad de un centro, tanto directos como indirectos, deberían atribuirse al mismo.

A la hora de dividir la empresa en centros de actividad deberemos tener en cuenta:

1. Las características tecnoeconómicas y la actividad de la empresa.
2. La finalidad que persigue la empresa con esa división.

Una sección es una división real de la empresa constituida por un conjunto de medios que concurre a la obtención de un mismo objetivo y cuya actividad puede medirse en unidades físicas que llamaremos unidades de obra.

La unidad de obra es la medida de la sección y su elección variará con la naturaleza de cada sección. Por ejemplo, en las secciones de producción suelen ser unidades de obra basadas en los tiempos de trabajo, como las horas de mano de obra, hora máquina...

El principal problema es la correcta elección de la unidad de obra ya que la escogida debe permitir la correcta imputación de las cargas indirectas y para ello será necesario:

- que sea la auténtica medida de la actividad de la sección para la cual la relación entre los elementos y la actividad debe ser tal que dicha actividad constituya la causa de modificación de dichos costes
- que la aplicación de las cargas de las secciones a los productos sea en función de las unidades de obra consumidas por los productos.

El obtener una unidad de obra ideal, es decir, que cumpla lo anterior, sería muy complicado puesto que para ello todas y cada una de las cargas de la sección debería variar proporcionalmente a las unidades de obra.

Ante la imposibilidad de una unidad de obra ideal optaremos por una que, aun no siendo la ideal, permita cierto grado de correlación con las cargas de la sección siempre dentro de unos límites de tolerancia admisibles.

4.1 Identificación de los elementos de coste

Toda empresa y las actividades que en ella se realizan requieren una serie de recursos para lograr los objetivos propuestos. De acuerdo con AECA [1998, p.68-70) es necesario realizar una caracterización de los elementos de costes que se considerarán en el análisis, de acuerdo a los siguientes puntos:

- **Delimitación del tipo de costes.** Se pueden usar diferentes tipos de costes tales como: coste estándar, coste presupuestado, coste histórico. La elección de uno u otro dependerá de la información que posea la empresa y de los objetivos perseguidos con la instalación de este sistema de costes. En el caso concreto de estudio, se utilizarán los **costes**

históricos en la medida que es la información que se utiliza en la empresa y que se tiene disponible para el análisis.

- **Determinación del horizonte temporal.** Es preciso definir el horizonte temporal en el que se va a desarrollar el sistema. Los datos pueden ser mensuales, trimestrales, semestrales, anuales. En esta investigación se utilizarán datos mensuales en la medida que incluyen todo un ciclo de producción del producto que se costea y en la medida que es la información más confiable que se puede obtener. Los datos utilizados serán los del mes de Noviembre de 2015, se ha elegido este mes porque se ha considerado representativo debido a los días laborables que tiene. Algunos datos como los relativos a mantenimiento se han tomado datos anuales y prorrateados por meses, ya que la compra de repuestos y el pago de averías no se corresponden a un mes en concreto sino deben ser repartidos equitativamente a lo largo del año.
- **Delimitación del ciclo de vida de las secciones.** Hay que realizar una adecuada delimitación de las secciones y sus costes, en términos de ciclo de vida, esto aporta un marco de referencia más adecuado para el análisis y registro de los costes y de las ejecuciones. En el caso analizado, se van a considerar distintos criterios dependiendo de la sección, desde las horas empleadas, metros cuadrados empleados, toneladas producidas... Para cada sección se utilizará el criterio que se considera más adecuado, de tal forma que se asignarán los costes efectivamente originados en el período de tiempo utilizado.

Por tanto, los elementos de coste identificados en la planta de reciclaje de baterías son los detallados en la siguiente tabla:

C1	Agua y saneamiento	C20	Sosa cáustica
C2	Amortización de inmuebles y construcciones	C21	Gases a Presión
C3	Amortización instalaciones	C22	Materias primas (baterías)
C4	Amortización maquinaria	C23	Reparación de equipos e instalaciones
C5	Amortización maquinaria móvil	C24	Revisiones reglamentarias de instalaciones
C6	Gestión de residuos	C25	Aceites y otros suministros
C7	Combustible vehículos	C26	Repuestos
C8	Materias auxiliares (reactivos, fundentes y aleantes)	C27	Sueldos y salarios (Mano de Obra)
C9	Electricidad	C28	Seguridad social a cargo de la empresa
C10	Envases (Fleje)	C29	Reactivos y material laboratorio
C11	Gas natural	C30	Verificaciones y calibraciones
C12	Fuel oil	C31	Equipos de protección individual
C13	Oxígeno líquido	C32	Servicio de prevención ajeno
C14	Material de oficina	C33	Productos de limpieza
C15	Comunicaciones	C34	Transporte de ventas
C16	Gastos de Locomoción	C35	Controles ambientales por OCA
C17	Amortización oficinas y vestuarios	C36	Reparación maquinaria móvil
C18	Tributos por bienes inmuebles	C37	Seguros
C19	Auditorías externas	C38	Servicios de Gestoría

Tabla 4.1-1 Elementos de coste de una planta de reciclaje de baterías

4.2 Análisis y clasificación de costes

El primer paso para la implantación de un sistema de costes por secciones consiste en analizar y clasificar todos los costes en que se ha incurrido en el período, teniendo en cuenta: el contenido de los costes, su relación con el producto, periodicidad, la relación de los costes con las funciones (a efectos de distribuir los costes), etc.

En la práctica empresarial se suelen combinar aproximadamente tres o cuatro criterios de clasificación pero normalmente se comienza por una clasificación de los factores de costes según su naturaleza (materias primas, servicios exteriores, personal, etc.), seguida por el criterio de imputación (costes directos e indirectos) para posteriormente seleccionar por su variabilidad o nivel de actividad (costes fijos y variables).

Los costes directos son aquellos que se pueden identificar (asignar) de manera inequívoca y sencilla con el producto o línea de productos. La asignación se controla económicamente de manera individualizada.

Los costes indirectos son aquellos costes con una asignación al producto o línea de productos que no se pueden controlar económicamente de manera individualizada. Así pues no se pueden imputar directamente a los outputs ya que no existe una relación específica entre los inputs (factores) y los outputs (producto o servicio), aunque contribuyen a su obtención. Entre los costes indirectos, los que se incluyan en el coste del producto necesitarán algún criterio o base de reparto para conseguir su imputación.

Y por último los costes semidirectos que son aquellos costes indirectos a los productos pero directos a alguna sección. Así pues requerirán alguna base de reparto para ser imputados a los productos.

Esta múltiple clasificación de los costes implica en el fondo un examen de conciencia sobre los costes que soporta la empresa y sus principales características.

A continuación se presenta una tabla con la clasificación de los elementos de coste identificados, (D: directo, I: indirecto, S: semidirecto)

D/I/S	Elemento de coste	D/I/S	Elemento de coste
I	Agua y saneamiento	S/D	Sosa cáustica
S	Amortización de inmuebles y construcciones	S	Gases a Presión
S	Amortización instalaciones	S	Materias primas (baterías)
S	Amortización maquinaria	S	Reparación de equipos e instalaciones
S	Amortización maquinaria móvil	S	Revisiones reglamentarias de instalaciones
S	Gestión de residuos	S	Aceites y otros suministros
I	Combustible vehículos	S	Repuestos
S/D	Materias auxiliares (reactivos, fundentes y aleantes)	D/S	Sueldos y salarios (Mano de Obra
I	Electricidad	D/S	Seguridad social a cargo de la empresa
D	Envases (Fleje)	S	Reactivos y material laboratorio
S	Gas natural	S	Verificaciones y calibraciones
S	Fuel oil	I	Equipos de protección individual
S	Oxígeno líquido	S	Servicio de prevención ajeno
S	Material de oficina	S	Productos de limpieza
S	Comunicaciones	S	Transporte de ventas
S	Gastos de Locomoción	S	Controles ambientales por OCA
I	Amortización oficinas y vestuarios	I	Reparación maquinaria móvil
I	Tributos por bienes inmuebles	I	Seguros
S	Auditorías externas	S	Servicios de Gestoría

Tabla 4.2-1 Clasificación de los elementos de coste

Una vez establecida la correcta identificación y clasificación de los costes, en especial su tratamiento en directos, indirectos o semidirectos

(directos a las secciones) respecto al producto o servicio, la afectación de los costes a los productos es inmediata.

4.3 El coste de los materiales

Atendiendo a la definición del Plan General de Contabilidad, podemos considerar a los materiales, de forma general, los bienes tangibles, y con la posibilidad de ser almacenables, que la empresa adquiere en el exterior, con la finalidad de utilizarlos en el proceso productivo para la obtención de productos finales, o bien para el mantenimiento de los equipos productivos.

En este apartado vamos a tener en cuenta solamente los materiales adquiridos para su aplicación física en el proceso de producción.

La determinación del coste de los materiales atiende a los siguientes objetivos:

- Cuantificación y clasificación de las compras, consumos e inventarios.
- El proceso interno de control y retroalimentación de información (mediante la previsión de estándares técnicos y económicos).
- Facilitar la toma de decisiones que permita aumentar su eficiencia y productividad.

Los métodos de valoración de existencias son los procedimientos utilizados para valorar tanto las salidas del almacén como las existencias que quedan al final del periodo cuando tenemos diferentes entradas a distintos precios. Una vez obtenido el coste de salida del almacén, el paso siguiente será valorar los consumos del periodo y las existencias finales en base a un criterio de valoración

El método escogido para la valoración de los materiales es el FIFO y para ello se han utilizado los datos correspondientes al mes de Noviembre de 2015. En los precios de los materiales se han incluido los costes de transporte.

Dentro de los métodos de agotamiento de stocks, el método FIFO efectúa una valoración donde las existencias finales quedan valoradas a los costes más recientes mientras que las salidas se valoran a los costes más antiguos. Se ha elegido este método porque nos ha parecido el más adecuado en vistas de la fluctuación que se produce a diario en el precio de

los metales. De esta manera, las materias primas que quedan en stock nos quedan valoradas al precio de mercado.

Otro método que se estuvo valorando si utilizar fue el coste medio ponderado. Es el método más neutral y hubiera estabilizado más las fluctuaciones que sufren los metales que cotizan en bolsa pero las existencias hubieran quedado valoradas a un precio que no es el del mercado.

En el proceso se han identificado las siguientes materias primas y materias auxiliares:

- Batería de plomo
- Sosa caústica
- Viruta de hierro
- Carbón de antracita
- Carbonato sódico
- Caliza
- Nitrato potásico
- Pirita de hierro
- Azufre
- Calcio-aluminio
- Calcio metal
- Estaño metal

Los datos de existencias y consumos han sido obtenidos de las hojas de producción facilitadas por la propia empresa.

A continuación se presentan dos tablas, una de ellas con los consumos realizados durante el mes de Noviembre de 2015 y la segunda con los datos de producción del mismo mes. Las siguientes tablas suponen el punto de partida para la imputación de costes.

	MATERIALES	Consumos (Kg)
PRB	Baterías	3.297.000
	Sosa	65.950
FUSIÓN DE PLOMO	Pastas	1.252.504
	Metálicos	1.216.511
	Bornas	145.089
	Viruta	261.360
	Antracita	159.460
	Carbonato sódico	65.000
	Caliza	37.230
	Fuel	85.460
	Oxígeno	294.110
CRISOLES	Pb Horno	1.871.660
	Sosa Caústica	15.200
	Nitrato potásico	12.400
	Azufre	2.100
	Pirita	5.560
	Estaño	2.535
	Calcio	98
	Calcio Aluminio	170
	Fleje PET (m)	6.098

Tabla 4.3-1 Consumos de materiales del mes de noviembre de 2015

	MATERIALES	Producción (Kg)
TRITURACIÓN DE BATERÍAS	Pastas	1.252.504
	Metálicos	1.216.511
	Bornas	145.089
	Polipropileno	197.723
	Separador	134.972
	Aguas Ácidas	348.196
FUSIÓN DE PLOMO	Pb Horno	1.871.660
	Escorias	779.240
AFINO Y LINGOTADO	Pb Obra	234.769
	Pb Puro 99,985%	1.316.103
	Pb Ca	208.343
	Tierras	91.554
	Estannatos	9.962
	Antimoniatos	48.992

Tabla 4.3-2 Datos de producción del mes noviembre de 2015

La empresa realiza un inventario permanente registrando las salidas hacia la transformación a medida que se producen, obteniendo las existencias finales por diferencia y después de haber sido ajustadas con las diferencias de inventario. El primer día de cada mes la empresa realiza un recuento físico de los materiales y registra las posibles diferencias de inventario. En este caso, las hemos considerado compensado con los consumos del propio mes.

A continuación se muestran las tablas con la valoración económica de las existencias y consumos del mes de noviembre de 2015.

Método FIFO	Baterías de plomo		
ALMACÉN DE MP	Cantidad (Tn)	Precio unitario	Total
Existencias iniciales	800	732 €	585.918 €
Compras	2.555	725 €	1.851.864 €
Consumos	3.297	727 €	2.395.743 €
Existencias finales	58	725 €	42.038 €

Tabla 4.3-3 Cálculo coste de consumo de baterías de plomo

Método FIFO	Sosa Caústica		
ALMACÉN DE MP	Cantidad (Tn)	Precio unitario	Total
Existencias iniciales	17	535 €	8.828 €
Compras	115	530 €	60.844 €
Consumos	81	531 €	43.092 €
Existencias finales	50	530 €	26.580 €

Tabla 4.3-4 Cálculo coste de consumo de sosa caústica

Método FIFO	Viruta de Hierro		
ALMACÉN DE MP	Cantidad (Tn)	Precio unitario	Total
Existencias iniciales	85	196 €	16.612 €
Compras	268	164 €	43.931 €
Consumos	261	175 €	45.616 €
Existencias finales	91	164 €	14.928 €

Tabla 4.3-5 Cálculo coste de consumo de viruta de hierro

Método FIFO	Carbón de Antracita		
ALMACÉN DE MP	Cantidad (Tn)	Precio unitario	Total
Existencias iniciales	74	142 €	10.504 €
Compras	181	146 €	26.415 €
Consumos	159	144 €	22.988 €
Existencias finales	95	146 €	13.932 €

Tabla 4.3-6 Cálculo coste de consumo de Carbón de Antracita

Método FIFO	Carbonato Sódico		
ALMACÉN DE MP	Cantidad (Tn)	Precio unitario	Total
Existencias iniciales	33	232 €	7.575 €
Compras	48	232 €	11.083 €
Consumos	65	232 €	15.080 €
Existencias finales	14	232 €	3.347 €

Tabla 4.3-7 Cálculo coste de consumo de Carbonato Sódico

Método FIFO	Caliza		
ALMACÉN DE MP	Cantidad (Tn)	Precio unitario	Total
Existencias iniciales	25	33 €	835 €
Compras	24	33 €	805 €
Consumos	37	33 €	1.229 €
Existencias finales	12	33 €	411 €

Tabla 4.3-8 Cálculo coste de consumo de Caliza

Método FIFO	Nitrato potásico		
ALMACÉN DE MP	Cantidad (Tn)	Precio unitario	Total
Existencias iniciales	7,6	930 €	7.068 €
Compras	24,0	930 €	22.320 €
Consumos	12,4	930 €	11.532 €
Existencias finales	17,2	930 €	15.996 €

Tabla 4.3-9 Cálculo coste de consumo de nitrato potásico

Método FIFO	Azufre		
ALMACÉN DE MP	Cantidad (Tn)	Precio unitario	Total
Existencias iniciales	7,61	496 €	3.773 €
Compras	0	496 €	0 €
Consumos	2,10	496 €	1.041 €
Existencias finales	5,51	496 €	2.732 €

Tabla 4.3-10 Cálculo coste de consumo de azufre

Método FIFO	Pirita de Hierro		
ALMACÉN DE MP	Cantidad (Tn)	Precio unitario	Total
Existencias iniciales	31,44	438 €	13.770 €
Compras	0,00	438 €	0 €
Consumos	5,56	438 €	2.435 €
Existencias finales	25,88	438 €	11.335 €

Tabla 4.3-11 Cálculo coste de consumo de pirita de hierro

Método FIFO	Calcio-Aluminio		
ALMACÉN DE MP	Cantidad (Kg)	Precio unitario	Total
Existencias iniciales	1.154	4,55 €	5.251 €
Compras	0	4,55 €	0 €
Consumos	170	4,55 €	774 €
Existencias finales	984	4,55 €	4.477 €

Tabla 4.3-12 Cálculo coste de consumo de aleación calcio-aluminio

Método FIFO	Estaño Metal		
ALMACÉN DE MP	Cantidad (kg)	Precio unitario	Total
Existencias iniciales	4.166	13,40 €	55.824 €
Compras	5.040	14,43 €	72.727 €
Consumos	2.535	13,40 €	33.969 €
Existencias finales	6.671	14,18 €	94.583 €

Tabla 4.3-13 Cálculo coste de consumo de estaño metal

Método FIFO	Calcio Metal		
ALMACÉN DE MP	Cantidad (kg)	Precio unitario	Total
Existencias iniciales	1.208	3,95 €	4.772 €
Compras	0	3,95 €	0 €
Consumos	98	3,95 €	387 €
Existencias finales	1.110	3,95 €	4.385 €

Tabla 4.3-14 Cálculo coste de consumo de calcio metal

Método FIFO	Fleje PET		
ALMACÉN DE MP	Cantidad (m)	Precio unitario	Total
Existencias iniciales	38.400	0,05 €	2.032 €
Compras	0	0	0 €
Consumos	6.098	0,05 €	323 €
Existencias finales	32.302	0,05 €	1.709 €

Tabla 4.3-15 Cálculo coste de consumo de fleje de polietileno

4.4 El coste del personal o mano de obra

Definimos el proceso productivo como la actividad transformadora de bienes y servicios en nuevos bienes y servicios. Cada una de las personas que participan en este proceso presta un servicio imprescindible, y los costes de todos aquellos sujetos que aportan su esfuerzo físico y/o intelectual y, por tanto, contribuyen a la obtención del producto final, constituyen la mano de obra del proceso productivo.

Así pues, incluiremos dentro de esta clase de factor:

- Operarios y técnicos que realizan diferentes actividades
- Personal administrativo
- Directivos
- Mandos intermedios
- Etc

La mano de obra recibe una remuneración en contraprestación a su servicio. Esta remuneración representa "el valor de su consumo", es decir, el coste. Hará falta calcular este valor y aplicarlo al centro o producto que lo haya ocasionado.

A continuación se presenta una tabla donde se indica la mano de obra que se necesita para el manejo de la planta. Se dividen los puestos por niveles y se han asignado un número de empleados por rangos. Además se indica la categoría profesional que se considera necesaria para el puesto.

La planta se maneja con 61 empleados, repartidos de la siguiente manera:

Cargo	Categoría Profesional	Nº empleados
Director de planta	Grupo 4: Titulado Grado Superior	1
Responsable de producción	Grupo 4: Titulado Grado Superior	1
Responsable de prevención y medioambiente	Grupo 4: Titulado Grado Superior	1
Responsable de calidad y laboratorio	Grupo 4: Titulado Grado Superior	1
Técnicos de laboratorio	Grupo 4: Analista	2

Cargo	Categoría Profesional	Nº empleados
Responsable de administración	Grupo 3: Jefe Administrativo	1
Administrativos	Grupo 3: Oficial 1ª Administrativo	3
Comercial y logística	Grupo 3: Oficial 1ª Administrativo	2
Responsable de mantenimiento	Grupo 4: Jefe de Taller	1
Técnicos de mantenimiento	Grupo 4: Encargado	3
Jefes de equipo	Grupo 4: Encargado	9
Operarios de planta	Grupo 1: Peón Especialista	27
Responsable logística interna	Grupo 4: Encargado	1
Personal de cargas y descargas: Logística interna	Grupo 1: Peón Especialista	4
Limpieza y lavandería	Grupo 1: Peón Especialista	4
TOTAL		61

Tabla 4.4-1 Tabla reparto mano de obra de planta de reciclaje de baterías

Para el cálculo de los salarios utilizaremos las tablas salariales definitivas 2016 incluidas en el anexo 1 del convenio colectivo laboral para la industria siderometalúrgica de la provincia de Teruel. En dichas tablas salariales obtenemos el salario base de cada trabajador en función de su categoría profesional. A este salario base deberemos sumar los pluses de asistencia y transporte incluidos en los artículos 26º y 27º.

Plus de asistencia	Plus de transporte
3,39 €	2,35 €

Tabla 4.4-2 Importe plus de asistencia y transporte. Fuente: Convenio colectivo laboral de la industria siderometalúrgica

El plus de asistencia se calcula por día trabajado incluidas las vacaciones (30 días naturales) y el plus de transporte se calcula por día trabajado.

Según el artículo 24º - Nocturnidad, el trabajo nocturno tendrá un incremento en su retribución equivalente al 35% del Salario base de su respectiva categoría. En el caso de los operarios y Encargados de planta tendremos que calcular las horas nocturnas que realizaran a lo largo del año para calcular el coste de su Salario.

Por último, en el artículo 25º.- Gratificaciones Extraordinarias Reglamentarias nos indica que las empresas afectadas por dicho Convenio, abonarán a sus trabajadores dos gratificaciones extraordinarias durante los meses de Julio y Diciembre, en la cuantía, cada una de ellas, del Salario Convenio designado en la Tabla Salarial anexa y antigüedad, en su caso. En el presente estudio no tendremos en cuenta las antigüedades para el cálculo del coste Salarial.

Para el cálculo del coste de la mano de obra directa deberemos de realizar el cálculo de las jornadas laborales nocturnas que realizarán en el año. Si el ciclo de rotación de los grupos es de 9 semanas, y una de estas semanas trabajan en turno de noche de 7 días, considerando 48 semanas laborables que resultan de 52 que tiene el año menos 4 semanas al año que la empresa dedica a tareas de mantenimiento, cada trabajador realiza 5,3 semanas en periodo nocturno. Cada equipo de trabajo está formado por 3 operarios y un jefe de equipo, de manera que será solamente en el cálculo del salario de éstos donde debemos tener en cuenta la nocturnidad.

Teniendo en cuenta que las horas de trabajo que marca el convenio son 1758 h/año y que la jornada laboral es de 8 h, tenemos 219,75 días laborables al año. Considerando 5,3 semanas en periodo nocturno, obtenemos que cada operario y jefe de equipo realizan 37 jornadas laborales nocturnas al año.

En el caso de los jefes de Equipo que no disponemos del salario día laboral, sino del salario mensual, calcularemos el salario día multiplicando el salario mensual por 12 meses y dividiendo por días naturales/año. Una vez obtenido el salario día, el cálculo será el mismo que para los operarios de planta.

Aunque el convenio del sector no lo recoge, la empresa complementa el salario de sus trabajadores con los siguientes pluses:

- Plus de peligrosidad, pensado para beneficiar a los trabajadores que realizan su actividad expuestos a especiales condiciones de toxicidad, en este caso hay un claro agente tóxico que es el plomo. Este plus lo recibe el personal más expuesto a dicho agente, que son los operarios de planta, los jefes de equipo, el personal de cargas y descargas: logística

interna y personal de limpieza y lavandería. Su importe es de 100 €/mes

- Plus de turnicidad, lo percibe el personal que trabaja a turnos, es decir, los operarios de planta y los jefes de equipo y se realiza en compensación a un exceso de horas que se realizan para asegurar el funcionamiento del horno ininterrumpido. No disponemos del desglose de ese plus pero la empresa nos indica que esas cuantías ascienden en el caso de los operarios de planta a unos 2.000 €/año y en el caso de los jefes de equipo a 4.000 €/año.
- Plus de actividad, es un complemento salarial que la empresa realiza en los puestos de mayor responsabilidad y varían en función de ésta.

Para el cálculo de los salarios brutos anuales no se han tenido en cuenta algunos conceptos más específicos como las antigüedades.

Para el cálculo del coste de la mano de obra directa tendremos en cuenta los salarios de Jefes de equipo y Operarios de planta. El resto de salarios y costes asociados al resto del personal, se imputarán como coste a las secciones que pertenezcan.

A continuación se muestran las tablas de cálculo del salario bruto anual de la mano de obra directa.

Cargo	Nº empleados	Categoría profesional	Salario base según convenio 2016 (€/día)	Días Laborales/año	Plus asistencia	Plus transporte
Operarios de planta	27	Peón especialista	35,30 €	219,75	846,65 €	516,41 €
Jefe de Equipo	9	Encargado	38,17 €	219,75	846,65 €	516,41 €

Tabla 4.4-3 Cálculo coste salarial mano de obra directa I

Cargo	Nº empleados	Plus peligrosidad	Plus turnicidad	Salario base	Trabajo nocturno	Salario Bruto anual
Operarios de planta	27	1.200,00 €	2.000,00 €	12.884,50 €	457,14 €	17.904,70 €
Jefe de Equipo	9	1.200,00 €	4.000,00 €	13.932,05 €	494,30 €	20.989,42 €

Tabla 4.4-4 Cálculo coste salarial mano de obra directa II

Una vez calculados los salarios brutos anuales del personal de mano de obra directa calcularemos el coste de este personal para el mes de noviembre añadiendo el coste de seguridad social a cargo de la empresa.

El coste de seguridad social para la empresa por trabajador oscila entre el 32% y el 38% de la base de cotización, en función del puesto real desempeñado. Como no disponemos de este dato, vamos a considerar un tercio de la base de cotización como la cantidad a pagar por los costes de seguridad social.

El coste de la mano de obra directa del mes noviembre asciende a 82.366,85 € y el cálculo se refleja en la siguiente tabla.

Periodificación del Coste de MOD		
Salario bruto anual =	(17.904,70*27)+(20.989,42*9)+(30.216,67)	702.548,31 €
SS a cargo E ^a =		234.182,77 €
Total bruto anual =		936.731,08 €
Horas trabajadas año =		73.240
Coste / hora		12,79 €
Horas trabajadas noviembre =		6.440
Coste noviembre		82.366,85 €

Tabla 4.4-5 Coste total mano de obra directa, noviembre 2015

Las retribuciones del resto del personal se ha considerado mano de obra indirecta, su coste es semidirecto y lo imputaremos directamente a las secciones a las cuales presten sus servicios.

4.5 División de la empresa en secciones

Las secciones son centros constituidos por un conjunto de medios materiales orientados a la satisfacción de un mismo objetivo, bajo la autoridad de una persona responsable, y cuya actividad puede medirse en unidades físicas denominadas unidades de obra.

Los tipos de secciones que podemos encontrarnos en una empresa, son múltiples y variados dependiendo de la actividad de la empresa; pero, en general, entre los tipos más comunes podemos encontrarnos con las secciones de compras, de producción, de administración y de distribución.

Las funciones básicas de las secciones en el control de costes son, el control de la gestión por el responsable de la sección y el de posibilitar el reparto de los costes a los productos.

Para cualquiera de estas funciones básicas, las secciones pueden tratarse como centros de costes, en donde se cargarán al producto que pase por ellas todos los costes en que incurra la sección.

Así a lo largo del proceso de producción, el producto se irá cargando con los costes correspondientes con los costes correspondientes a su paso por las diversas secciones. Puesto que sabremos los costes asignados a los productos procedentes de cada sección, podremos evaluar la eficacia de ésta, observando si los costes en que ha incurrido su sección están por encima o por debajo de los previstos para una determinada producción.

La función que cumplen los centros de coste son dos:

- Económica: Sirven como instrumento de control ya que facilita la asignación de responsabilidades en la empresa, lo importante es saber si el coste se ha alcanzado mediante el uso eficaz y eficiente de los recursos en los centros. Así mismo, tienen especial interés para el establecimiento del presupuesto y de su control.
- Contable: Sirven como instrumento para el cálculo de los costes de los productos encargándose de recoger todos los costes indirectos, y de forma racionalizada, los imputan a los correspondientes productos o servicios.

El número de secciones en cada empresa variará según sus características organizativas y técnicas, dimensión, actividad desarrollada, etc. En general, las secciones suelen coincidir con los departamentos de la empresa. Si hay costes que no son imputables a ninguna sección, se asignarán a una sección de costes generales.

En la empresa objeto de estudio se han identificado las siguientes secciones de coste:

Administración y gerencia: agrupa los costes derivados de la planificación y control de gestión de toda la actividad empresarial. Esta sección recoge los costes vinculados a la estructura administrativa general de la empresa, dado que los costes específicos de administración de cada una de las otras funciones se integran en los costes de las mismas.

Comercial: centraliza los costes relacionados con las funciones de ventas, distribución y marketing. Este tipo de costes, junto con los de administración no incide en la determinación del precio de coste de los productos, es decir nunca aumentará el valor de los productos, sino que se inserta en el cálculo de márgenes y resultados.

Aprovisionamiento: recoge los costes vinculados a las operaciones de compras y gestión de almacenes. El coste de los materiales consumidos queda recogido en las salidas de los inventarios, en las diferencias calculadas de inventarios, así como en otros factores vinculados o costes específicos del propio centro de aprovisionamiento. Su imputación se realiza a través de las cantidades consumidas. La función de este centro finaliza con la entrega de materiales al proceso de transformación.

Hasta aquí junto con la sección de producción que dividiremos a continuación, se han considerado los cuatro centros básicos de costes vinculados a las funciones elementales desarrolladas por cualquier empresa.

Para el caso concreto que nos ocupa en este estudio, el proceso productivo se ha dividido en 3 secciones, atendiendo a características organizativas y técnicas

Las tres secciones son: trituración de baterías, fusión de plomo y por último, refinado y lingotado.

Trituración de baterías: Esta etapa comprende el inicio del proceso productivo. En esta sección se produce la trituración de las baterías de plomo fuera de uso (materia prima) y la separación de los distintos

componentes. Los compuestos de plomo resultantes de esta sección (a partir de ahora, pasta y metálicos de plomo) sirven como inputs de la siguiente sección (fusión de plomo). Además de estos productos intermedios que serán tratados a la siguiente sección, también obtendremos el polipropileno (producto final), el separador (residuo) y el electrolito (residuo). En esta sección tendremos que tener en cuenta los costes de maquinaria de la instalación de trituración, consumo eléctrico, consumo de agua, sosa, mano de obra indirecta, secciones auxiliares...

Fusión de plomo: Tras la trituración se lleva a cabo la fusión de los compuestos de plomo obtenidos en la primera sección. En esta etapa, las pastas y metálicos obtenidos en la anterior sección son introducidos en un horno rotativo junto con una serie de reactivos (viruta de hierro y carbón) y fundentes (carbonato sódico) para obtener plomo metal

El proceso de horno dura aproximadamente unas cinco horas, y en él se produce la reducción de los óxidos y sulfatos para la obtención del plomo metal. El plomo obtenido en esta sección tiene aproximadamente una pureza del 99% por lo que todavía será necesario eliminar una serie de impurezas en la siguiente sección con el fin de obtener el plomo puro 99,985% que supone la mayor parte de la producción de la fábrica objeto del presente estudio.

Existe otra opción que es la venta del llamado plomo de obra, para la cual no será necesario que el producto pase por la siguiente sección.

El plomo de obra es el plomo obtenido directamente de horno y se obtendrá en bloques de aproximadamente 1500 Kg de peso, para lo cual se dispondrá de unos moldes troncocónicos que se llenarán con plomo fundido mediante bombas diseñadas para soportar estas temperaturas. Una vez solidificado, se procederá al desmolde y al almacenamiento para su posterior expedición.

En esta sección tendremos que tener en cuenta los costes asociados a la instalación de fusión (horno, cargador, filtros...), el consumo de fuel y oxígeno del horno, consumo electricidad, agua, mano de obra indirecta, consumo de materias auxiliares de horno...

Refino y aleación de plomo: Una vez se ha producido la fusión y se ha reducido el plomo a metálico, éste es conducido hasta uno de los crisoles de refino. Para obtener el plomo puro es necesario refinar el material hasta

alcanzar el mayor grado de pureza por vía metalúrgica. Para realizar la actividad de refinado será necesario analizar las impurezas que tenemos en el plomo de horno y en función de éstas adicionar los reactivos necesarios para llegar al nivel de pureza necesario. Una vez terminada la operación de refinado, el plomo es conducido hasta el crisol de lingotado.

Además del plomo puro también se pueden realizar aleaciones cuyas especificaciones son facilitadas por los clientes. Normalmente las aleaciones consisten en un refinado de plomo y una posterior adición de aleantes

Una vez el plomo puro o aleado se encuentra dentro de especificación el material es bombeado hasta la lingotera, donde se procede a la solidificación y formación de lingotes. Se van formando paquetes que son identificados y almacenados en la zona de producto terminado hasta su expedición.

En esta sección tendremos que tener en cuenta los costes asociados a la instalación de crisoles y lingotera, el consumo de gas natural, consumo de electricidad, agua, mano de obra indirecta...

Una vez dividido el proceso productivo, e identificadas las secciones tradicionalmente utilizadas, a continuación se presentan otras secciones identificadas en la empresa objeto de estudio.

Calidad y laboratorio: Esta sección se ocupará de los controles de calidad, de la gestión del sistema ISO 9001, y del seguimiento y establecimiento de las pautas del refinado de plomo. Sus principales tareas consistirán en el control de los productos finales, verificación de los sistemas y aparatos de medida (básculas, pHmetros, espectrómetros...), análisis de muestras de plomo tanto finales como intermedias, elaboración de los certificados de análisis de los productos finales y establecimiento y control de las pautas del refinado y aleación del plomo.

Entre los costes de esta sección se encuentran los relacionados con las instalaciones del laboratorio que posee la planta, la mano de obra adscrita al departamento, recursos materiales consumidos...

Medioambiente y prevención de riesgos laborales: Esta sección podríamos haberla dividido en dos ya que se trata de dos áreas de actuación pero por motivos organizativos se ha decidido tratarlas conjuntamente, ya que los recursos humanos utilizados en ambas son los mismos. Esta sección es la encargada de identificar y comprobar el

cumplimiento legal de los requisitos legales que afectan a la organización. Entre estos requisitos se encuentran principalmente los relacionados con prevención de riesgos laborales y medioambiente. Entre sus costes se encuentra el servicio de prevención ajeno y los controles por organismos de control autorizado de obligado cumplimiento para la empresa. Además de estos costes se imputarán a esta sección el personal adscrito al departamento y los recursos materiales y de instalaciones que sean consumidos por ella.

Mantenimiento de instalaciones: Esta sección comprende todas las tareas de mantenimiento tanto preventivo como correctivo realizadas en las instalaciones. La multitud de tareas realizadas hace imposible su enumeración por lo que se van a enumerar las tareas de una manera muy general.

1. Recambio de equipos y consumibles
2. Supervisión del buen funcionamiento de la maquinaria
3. Control y gestión de repuestos y consumibles
4. Realización de mejoras en el funcionamiento de las instalaciones
5. Solución de averías
6. Engrasado y lubricación de maquinaria
7. Control y planificación de inspecciones realizadas por empresas externas
8. Orden y limpieza de zona de taller

Los costes asociados a esta sección serán principalmente los asociados a la instalación del taller, mano de obra adscrita al departamento y recursos materiales consumidos.

Logística interna: A esta sección se asignarán los costes derivados del traslado interno de materiales y de cargas de mercancías de producto final.

Limpieza de instalaciones: En esta sección asignaremos los costes asociados a la limpieza de las explanadas exteriores de la fábrica, y de la limpieza de oficinas y vestuarios de los trabajadores. Estos costes incluirán tanto los costes de personal asociado a estas tareas, como el de la maquinaria y materiales que sean utilizados para tal fin.

Lavandería: En esta sección se imputarán los costes derivados de la limpieza de la ropa de trabajo del personal de la fábrica, ya que debido a que se trabaja con un producto altamente tóxico no está permitida la limpieza de dicha ropa fuera de las instalaciones. En esta sección se incluirán los costes del personal asociado, de las instalaciones que la empresa posee para el lavado de la ropa y los productos utilizados en dicha tarea.

Los centros de coste o secciones se clasifican atendiendo a su participación directa o indirecta en la obtención de los productos y/o servicios en:

- Secciones principales: son aquellas consideradas fundamentalmente en la empresa y que están vinculadas, normalmente, a las áreas de producción y/o comercialización. Estos centros pueden subdividirse a su vez en operativos y no operativos. Los centros operativos son aquellos que intervienen de una manera directa en la actividad de fabricación y sus prestaciones se aplican directamente a los productos o servicios que produce la empresa. Son centros operativos todos los centros de aprovisionamiento o compras y transformación o producción. En cuanto a los centros no operativos, diremos que son aquellos cuya actividad no es directa en la fabricación, en nuestro caso el coste de estos centros, al tratarse de las secciones de comercialización y administración y Gerencia, se deduce directamente de los resultados.
- Secciones auxiliares: son aquellas que apoyan a las secciones principales, acometiendo actividades que no están involucradas de forma directa con la línea productiva. El coste de los centros auxiliares se repartirá entre los centros principales, y serán las encargadas de llevarlos al producto final.

En la empresa objeto de estudio hemos identificado las siguientes secciones:

- Secciones principales operativas: aprovisionamiento, trituración de baterías, fusión de plomo, refinado y aleación de plomo.

- Secciones principales no operativas: comercial y administración y gerencia.
- Secciones auxiliares: calidad y laboratorio, medioambiente y prevención de riesgos laborales, mantenimiento de instalaciones, limpieza de instalaciones, lavandería y logística interna.

4.6 Amortizaciones

El coste de amortización será el soportado por la empresa como consecuencia de la participación de los elementos del activo fijo en el proceso productivo. La amortización es un concepto económico y el reflejo contable de la pérdida de valor que sufren los elementos del inmovilizado. Esta pérdida de valor o depreciación, está motivada por una serie de causas diferentes, entre las que destacan la utilización del elemento en el proceso productivo, el transcurso del tiempo y la obsolescencia motivada por el avance de la tecnología. El valor de la depreciación se le imputa al coste de la producción industrial por las siguientes razones:

- Por el esfuerzo de recuperar el capital invertido en forma de activos de producción,
- Por el rigor en la determinación de los costes de producción, para los fines y objetivos de la contabilidad de costes,
- Por la inclusión de la depreciación en los gastos de funcionamiento, con objetivos tributarios

Para determinar el coste de amortización del ejercicio, es necesario conocer, en primer lugar, el valor del inmovilizado y por último el método de amortización.

Para obtener el valor del inmovilizado hemos tomado como criterio el precio de adquisición. De la base de datos de la empresa hemos obtenido el valor de todas las adquisiciones en el momento de la inversión. Teniendo el valor de éstas las hemos repartido entre las distintas secciones a excepción de las oficinas que las repartiremos por m² en una fase posterior. Dentro de cada sección hemos dividido los activos en las siguientes categorías, ya que aplicaremos distintos criterios de amortización en función de éstas:

- Construcciones e inmuebles: acondicionamiento de terrenos y edificaciones.
- Instalaciones técnicas: instalaciones de electricidad, fontanería, contra incendios...
- Maquinaria: equipos del sistema productivo, es decir, máquinas de trituración, separación, horno, quemadores...
- Maquinaria móvil: carretillas, palas cargadoras, plataformas elevadoras, equipos móviles de limpieza...

El sistema de amortización utilizado es el lineal, todos los años se amortiza la misma cantidad, mediante la aplicación de un porcentaje constante sobre el valor de la adquisición. Los coeficientes de amortización son los establecidos en el Capítulo II del Real Decreto 634/2015, de 10 de julio, por el que se aprueba el Reglamento del Impuesto sobre Sociedades.

A pesar de que el coeficiente de amortización para las redes de transporte y distribución de energía y cables es distinto que para el resto de instalaciones, a las instalaciones eléctricas se les ha asignado el mismo coeficiente de amortización que al resto de instalaciones debido a que no se dispone de ese coste por separado.

En las siguientes tablas se detalla el valor de la adquisición de cada una de las secciones y el coste a imputar de amortización a cada una de ellas.

SECCION APROVISIONAMIENTO			
Denominación del activo fijo	Valor de adquisición	Coef. Amort	Coste anual
Construcciones e Inmuebles	298.288,43 €	7%	20.880,19 €
Instalaciones técnicas	- €	10%	- €
Maquinaria		12%	- €
Maquinaria móvil	29.785,00 €	10%	2.978,50 €
TOTAL	328.073,43 €	0,39 €	23.858,69 €

Tabla 4.6-1 Cálculo coste de amortización anual de la sección de aprovisionamiento

SECCION TRITURACION DE BATERIAS			
Denominación del activo fijo	Valor de adquisición	Coef. Amort	Coste anual
Construcciones e Inmuebles	1.703.654,40 €	3%	51.109,63 €
Instalaciones técnicas	279.748,45 €	10%	27.974,85 €
Maquinaria	1.420.596,53 €	12%	170.471,58 €
Maquinaria móvil	98.861,00 €	10%	9.886,10 €
TOTAL	3.502.860,38 €		259.442,16 €

Tabla 4.6-2 Cálculo coste de amortización anual de la sección de trituración de baterías

SECCION FUSION DE PLOMO			
Denominación del activo fijo	Valor de adquisición	Coef. Amort	Coste anual
Construcciones e Inmuebles	2.342.328,71 €	3%	70.269,86 €
Instalaciones técnicas	489.314,26 €	10%	48.931,43 €
Maquinaria	2.098.609,99 €	12%	251.833,20 €
Maquinaria móvil	204.064,00 €	10%	20.406,40 €
TOTAL	5.134.316,96 €		391.440,89 €

Tabla 4.6-3 Cálculo coste de amortización anual de la sección de fusión de plomo

SECCION AFINO Y LINGOTADO			
Denominación del activo fijo	Valor de adquisición	Coef. Amort	Coste anual
Construcciones e Inmuebles	957.508,23 €	3%	28.725,25 €
Instalaciones técnicas	281.776,78 €	10%	28.177,68 €
Maquinaria	764.970,48 €	12%	91.796,46 €
Maquinaria móvil	51.692,50 €	10%	5.169,25 €
TOTAL	2.055.947,99 €		153.868,63 €

Tabla 4.6-4 Cálculo coste de amortización anual de la sección de Afino y Lingotado

SECCION MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES			
Denominación del activo fijo	Valor de adquisición	Coef. Amort	Coste anual
Construcciones e Inmuebles	44.735,68 €	3%	1.342,07 €
Instalaciones técnicas	6.391,24 €	10%	639,12 €
Maquinaria (útiles y herramientas)	45.408,00 €	25%	11.352,00 €
Maquinaria móvil		10%	- €
TOTAL	96.534,92 €		13.333,19 €

Tabla 4.6-5 Cálculo coste de amortización anual de la sección de mantenimiento

SECCION CALIDAD Y LABORATORIO			
Denominación del activo fijo	Valor de adquisición	Coef. Amort	Coste anual
Construcciones e Inmuebles	- €	3%	- €
Instalaciones técnicas	7.852,74 €	10%	785,27 €
Maquinaria (útiles y herramientas)	138.676,47 €	25%	34.669,12 €
Maquinaria móvil		10%	- €
TOTAL	146.529,21 €		35.454,39 €

Tabla 4.6-6 Cálculo coste de amortización anual de la sección de calidad y laboratorio

SECCION LOGISTICA INTERNA			
Denominación del activo fijo	Valor de adquisición	Coef. Amort	Coste anual
Construcciones e Inmuebles	- €	3%	- €
Instalaciones técnicas	- €	10%	- €
Maquinaria		25%	- €
Maquinaria móvil	283.707,50 €	10%	28.370,75 €
TOTAL	283.707,50 €		28.370,75 €

Tabla 4.6-7 Cálculo coste de amortización anual de la sección de logística interna

OFICINAS Y VESTUARIOS			
Denominación del activo fijo	Valor de adquisición	Coef. Amort	Coste anual
Construcciones e Inmuebles	597.748,24 €	3%	17.932,45 €
Instalaciones técnicas	62.070,66 €	10%	6.207,07 €
Maquinaria (Equipos informaticos)	30.324,52 €	25%	7.581,13 €
Mobiliario	33.478,17 €	10%	3.347,82 €
TOTAL	723.621,59 €		35.068,46 €

Tabla 4.6-8 Cálculo de coste de amortización anual del edificio de oficinas y vestuarios

Los costes de amortización son considerados costes semidirectos y serán imputados directamente a la sección que correspondan a excepción del coste de amortización de oficinas y vestuarios que se ha considerado como coste indirecto y será repartido en las distintas secciones en función de los m² que ocupa cada sección.

Para imputar estos costes anuales de amortización al mes de Noviembre, dividiremos entre doce el coste obtenido.

4.7 Reparto primario de los costes entre las secciones: costes semidirectos e indirectos de producción

En este apartado vamos a incluir los elementos necesarios para la fabricación del producto, pero que intervienen de forma indirecta en la elaboración del mismo. Los iremos asignando a las distintas secciones en función de los criterios que definamos. Los costes semidirectos serán imputados directamente a la sección que correspondan, ya que son indirectos al producto pero directos a la sección y para el caso de los costes indirectos se establecerán criterios de reparto adecuados para cada uno de los casos.

Los costes indirectos y semidirectos de fabricación están conformados por:

- Materiales indirectos: compuesto por los costes de las materias auxiliares que no se puedan asignar directamente al producto, suministros de fábrica, repuestos, combustibles y lubricantes...
- Mano de obra indirecta: formado por los sueldos y salarios del personal profesional, técnico, especializado encargado de tareas complementarias no ligadas directamente al proceso de

producción, caso del director de planta, responsables de las distintas áreas, personal de limpieza...

- Amortizaciones de edificios, instalaciones, maquinaria, elementos de transporte...
- Otros costes indirectos: compuestos por los costes de seguros contra incendios, depreciación, alquileres, energía eléctrica, agua, teléfono, servicios de mantenimiento...

A continuación se presentan tres tablas con los criterios de reparto de los costes indirectos, el reparto de los costes indirectos y el total del reparto primario con la suma de los costes semidirectos e indirectos de las distintas secciones.

Costes Indirectos	Importe	Claves de reparto	Total	Aprovisionamiento	Trituración de baterías	Fusión de plomo	Afino y lingotado	Mantenimiento de Instalaciones	Calidad y Laboratorio	Medioambiente y PRL	Limpieza de instalaciones	Lavandería	Logística interna	Comercial	Administración y Gerencia
Agua Planta	255,05 €	m3	441		41	200	200								
Agua Oficinas y vestuarios	75,77 €	nº trabajadores	61	3	10,00	17,00	9,00	4	3	1	3	1	4	1	5
Combustible vehículos	3.242,38 €	Nº vehículos	12	1,00	1,70	3,60	1,15	0,00			1,00		3,55		
Reparaciones Maquinaria móvil	16.958,58 €	Nº vehículos	12	1,00	1,70	3,60	1,15	0,00			1,00		3,55		
Electricidad	23.870,00 €	Kw consumidos	254.490		11.456	162.023	81.011								
Electricidad Oficinas y vestuarios	1.500,00 €	m3	1.551,50	28,06	143,66	244,22	129,29	57,46	199,39	209,26	43,10	79,52	57,46	27,94	332,14
Amortización Oficinas y vestuarios	2.922,37 €	m2	550,74	10,02	51,31	87,22	46,18	20,52	71,21	76,50	15,39	23,27	20,52	9,98	118,62
Tributos por bienes inmuebles	1.882,00 €	m2	4.631,45	586,29	1.246,62	1.418,24	710,00	334,81	71,21	76,50	15,39	23,27	20,52	9,98	118,62
Seguros	7.448,87 €	Valor inmovilizado (Inversion)	12.201.688,87 €	341.238,80 €	3.570.272,14 €	5.248.916,95 €	2.116.618,57 €	123.499,62 €	129.017,87 €	100.514,06 €	56.814,78 €	35.155,13 €	310.672,20 €	13.112,81 €	155.855,92 €
Equipos de Protección individual	9.237,31 €	nº trabajadores*horas	9.464	168	1.808	3.120	1.512	672	504	168	504	168	672		168

Tabla 4.7-1 Claves de reparto entre las secciones de los costes indirectos

Costes Indirectos	Total	Aprovisionamiento	Trituración de baterías	Fusión de plomo	Afino y lingotado	Mantenimiento de Instalaciones	Calidad y Laboratorio	Medioambiente y PRL	Limpieza de instalaciones	Lavandería	Logística interna	Comercial	Administración y Gerencia
Agua Planta	255,05 €	0,00 €	23,71 €	115,67 €	115,67 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Agua Oficinas y vestuarios	75,77 €	3,73 €	12,42 €	21,12 €	11,18 €	4,97 €	3,73 €	1,24 €	3,73 €	1,24 €	4,97 €	1,24 €	6,21 €
Gestión de Residuos	0,00 €												
Combustible vehículos	3.242,38 €	270,20 €	459,34 €	972,71 €	310,73 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	270,20 €	0,00 €	959,20 €	0,00 €	0,00 €
Reparaciones Maquinaria móvil	16.958,58 €	1.413,21 €	2.402,47 €	5.087,57 €	1.625,20 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	1.413,21 €	0,00 €	5.016,91 €	0,00 €	0,00 €
Electricidad	23.870,00 €	0,00 €	1.074,52 €	15.197,02 €	7.598,46 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Electricidad Oficinas y vestuarios	1.500,00 €	27,12 €	138,89 €	236,11 €	125,00 €	55,56 €	192,77 €	202,31 €	41,67 €	76,88 €	55,56 €	27,02 €	321,11 €
Amortización Oficinas y vestuarios	2.922,37 €	53,17 €	272,24 €	462,82 €	245,02 €	108,90 €	377,86 €	405,93 €	81,67 €	123,48 €	108,90 €	52,96 €	629,43 €
Tributos por bienes inmuebles	1.882,00 €	238,24 €	506,57 €	576,30 €	288,51 €	136,05 €	28,94 €	31,09 €	6,25 €	9,46 €	8,34 €	4,06 €	48,20 €
Seguros	7.448,87 €	208,32 €	2.179,57 €	3.204,35 €	1.292,15 €	75,39 €	78,76 €	61,36 €	34,68 €	21,46 €	189,66 €	8,01 €	95,15 €
Equipos de Protección individual	9.237,31 €	163,98 €	1.764,69 €	3.045,27 €	1.475,78 €	655,90 €	491,93 €	163,98 €	491,93 €	163,98 €	655,90 €	0,00 €	163,98 €
Total	67.392,34 €	2.377,97 €	8.834,43 €	28.918,94 €	13.087,70 €	1.036,77 €	1.173,98 €	865,91 €	2.343,35 €	396,49 €	6.999,44 €	93,28 €	1.264,08 €

Tabla 4.7-2 Reparto de los costes indirectos entre las secciones

Costes Semidirectos	SECCIONES												
	Importe	Aprovisionamiento	Trituración de baterías	Fusión de plomo	Afino y lingotado	Mantenimiento de instalaciones	Calidad y Laboratorio	Medioambiente y PRL	Limpieza de instalaciones	Lavandería	Logística interna	Comercial/Expedición/Distribución	Administración y Gerencia
Personal (Sueldos y Salarios)	49.060,48 €	5.898,27 €				8.375,63 €	6.583,11 €	3.024,07 €			7.404,24 €	2.368,71 €	15.406,45 €
Amortización de inmuebles y construcciones	14.360,58 €	1.740,02 €	4.259,14 €	5.855,82 €	2.393,77 €	111,84 €							
Amortización instalaciones	8.875,70 €		2.331,24 €	4.077,62 €	2.348,14 €	53,26 €	65,44 €						
Amortización maquinaria	46.676,86 €		14.205,97 €	20.986,10 €	7.649,70 €	946,00 €	2.889,09 €						
Amortización maquinaria móvil	5.918,32 €	248,21 €	823,84 €	1.700,53 €	430,77 €	0			304,93 €	45,80 €	2.364,23 €		
Amortización contenedores	15.048,11 €	15.048,11 €											
Gestión de Residuos	61.394,60 €		12.911,99 €	47.618,52 €	864,10 €								
Gas Natural	13.882,11 €				13.882,11 €								
Fuel oil	25.125,24 €			25.125,24 €									
Oxígeno	27.530,75 €			27.530,75 €									
Mat Auxiliar: Floculante			103,56 €										
Mat Auxiliar: Carbón	22.987,74 €			22.987,74 €									
Mat Auxiliar: Viruta	45.615,53 €			45.615,53 €									
Mat Auxiliar: Carbonato sódico	15.080,00 €			15.080,00 €									
Mat Auxiliar: Caliza	1.228,59 €			1.228,59 €									
Mat Auxiliar: Sosa Caústica	35.020,55 €		35.020,55 €										
Material de Oficina	265,00 €										65,00 €	200,00 €	
Comunicaciones	610,00 €										200,00 €	410,00 €	
Servicio de Prevención Ajeno	1.488,18 €							1.488,18 €					
Transporte de ventas	33.641,45 €										33.641,45 €		
Controles ambientales por OCA	1.958,19 €							1.958,19 €					
Productos de limpieza	756,46 €								506,56 €	249,90 €			
Gastos de Locomoción	270,06 €										270,06 €		
Reparaciones de equipos e instalaciones	9.782,76 €					9.782,76 €							
Aceites y otros suministros	9.643,97 €					9.643,97 €							
Repuestos	10.482,02 €					10.482,02 €							
Revisiones reglamentarias de instalaciones	771,37 €							771,37 €					
Gases a presión	347,25 €					243,08 €	104,18 €						
Reactivos y material laboratorio	60,05 €						60,05 €						
Verificaciones y Calibraciones	668,74 €						668,74 €						
Auditorías externas	416,21 €						208,11 €	208,11 €					
Servicios de Gestoría	817,17 €												817,17 €
Total Semidirectos	459.887,60 €	22.934,61 €	69.656,27 €	217.806,44 €	27.568,59 €	39.638,56 €	10.578,72 €	7.449,92 €	811,49 €	295,70 €	9.768,46 €	36.545,22 €	16.833,62 €
Total Costes Indirectos	67.392,34 €	2.377,97 €	8.834,43 €	28.918,94 €	13.087,70 €	1.036,77 €	1.173,98 €	865,91 €	2.343,35 €	396,49 €	6.999,44 €	93,28 €	1.264,08 €
Total Reparto Primario	527.279,94 €	25.312,57 €	78.490,70 €	246.725,38 €	40.656,29 €	40.675,33 €	11.752,70 €	8.315,83 €	3.154,83 €	692,20 €	16.767,91 €	36.638,50 €	18.097,69 €

Tabla 4.7-3 Reparto Primario de costes entre las secciones

4.8 Reparto Secundario

En el reparto secundario se redistribuyen los costes indirectos de los centros auxiliares entre los distintos centros de coste en función de su interrelación.

Efectuado el reparto primario los costes quedan localizados y acumulados en las distintas secciones auxiliares y principales, tal y como hemos visto en el apartado anterior. El siguiente problema que se plantea es el reparto de los costes acumulados en las secciones auxiliares, recordemos que éstas tienen como principal objetivo servir de apoyo a las secciones principales y por lo tanto sus costes tienen que ser soportados por estos centros principales tanto por los operativos como por los no operativos.

Por tanto es necesario un reparto secundario que tiene como objetivo repartir los costes acumulados en los centros auxiliares entre los principales. Este reparto puede presentar dos modalidades que son:

- Reparto secundario directo o simple: este se produce cuando no existe relación entre las secciones de coste auxiliares y por tanto no hay prestaciones recíprocas entre las citadas secciones. De esta manera los costes de las secciones auxiliares pasan a las principales de forma directa a través de las unidades de obra de cada sección.
- Reparto secundario de imputación indirecta o prestaciones recíprocas: Se origina cuando existen relaciones o prestaciones de servicios entre las secciones auxiliares e incluso entre las principales y auxiliares.

En nuestro caso se trata de un reparto secundario de imputación indirecta de prestaciones cruzadas o recíprocas, ya que secciones como mantenimiento, calidad, medioambiente y prevención de riesgos laborales son secciones que se prestan servicios las unas a las otras, además de prestarlo a las secciones principales.

Con el reparto secundario de imputación indirecta se reparte una parte de los costes de las secciones auxiliares a otras secciones auxiliares

que se hallan interrelacionadas con los anteriores, como paso previo al reparto final entre las secciones principales.

La empresa se organiza en 6 secciones principales, de las cuales dos son no operativas y seis secciones auxiliares.

C_{TA}: Sección aprovisionamiento

C_{TB}: Sección trituración de baterías

C_{TC}: Sección fusión de plomo

C_{TD}: Sección de afino y lingotado

C_{TE}: Sección comercial

C_{TF}: Sección administración y gerencia

C_{T1}: Sección auxiliar mantenimiento de instalaciones

C_{T2}: Sección auxiliar calidad y laboratorio

C_{T3}: Sección auxiliar medioambiente y prevención de riesgos laborales

C_{T4}: Sección auxiliar limpieza de instalaciones

C_{T5}: Sección auxiliar lavandería

C_{T6}: Sección auxiliar logística interna

El cargo de los costes de las secciones auxiliares a los centros principales puede efectuarse con diversos criterios y es imposible dar normas generales, pues depende de la naturaleza de la empresa, del tipo de producto fabricado y de la utilización a la que son destinados.

En el caso objeto de estudio, los centros auxiliares efectúan prestaciones esencialmente dirigidas a ayudar, asistir, controlar y apoyar a las secciones principales. Los criterios que principalmente vamos a utilizar son la proporción de mano de obra asignada a cada sección y la proporción de horas de mano de obra prestadas a cada sección principal.

Para el establecimiento de estas proporciones se han tenido en cuenta registros de tiempos que posee la empresa y se han realizado entrevistas con trabajadores de las distintas secciones auxiliares y principales.

		Clave de reparto	Total	Aprovisionamiento(A)	Trituración de baterías(B)	Fusión de plomo (C)	Refino y lingotado(D)	Comercial (E)	Administración y Gerencia (F)	Mantenimiento de Instalaciones (1)	Calidad y Laboratorio (2)	Medioambiente y PRL (3)	Limpieza de Instalaciones (4)	Lavandería (5)	Logística Interna (5)
1	Mantenimiento de Instalaciones	horas trabajador	672,00	16,00	200,00	160,00	120,00	0,00	0,00	0,00	0,00	68,00	50,00		58,00
2	Calidad y Laboratorio	horas trabajador	504,00	36,00	78,00		320,00					70,00			
3	Medioambiente y PRL	horas trabajador	168,00	30,00	40,00	40,00	40,00								18,00
4	Limpieza de Instalaciones	m2	4.610,93	586,29	1.246,62	1.418,24	710,00	334,81	71,21	76,50	15,39	23,27		9,98	118,62
5	Lavandería	nº trabajadores	55,00	1,00	10,00	17,00	9,00		1,00	4,00	3,00	1,00	4,00		5,00
6	Logística Interna	horas trabajador	672,00		314,00	198,00	20,00	140,00							

Tabla 4.8-1 Claves de reparto de costes de las secciones auxiliares

En la siguiente tabla se muestran los porcentajes de reparto obtenidos y utilizados para realizar el sistema de ecuaciones.

			Aprovisionamiento(A)	Trituración de baterías(B)	Fusión de plomo (C)	Refino y lingotado(D)	Comercial (E)	Administración y Gerencia (F)	Mantenimiento de Instalaciones (1)	Calidad y Laboratorio (2)	Medioambiente y PRL (3)	Limpieza de Instalaciones (4)	Lavandería (5)	Logística Interna (5)
1	Mantenimiento de Instalaciones	100%	2,38%	29,76%	23,81%	17,86%					10,12%	7,44%		8,63%
2	Calidad y Laboratorio	100%	7,14%	15,48%		63,49%					13,89%			
3	Medioambiente y PRL	100%	17,86%	23,81%	23,81%	23,81%								10,71%
4	Limpieza de Instalaciones	100%	12,72%	27,04%	30,76%	15,40%	7,26%	1,54%	1,66%	0,33%	0,50%		0,22%	2,57%
5	Lavandería	100%	1,82%	18,18%	30,91%	16,36%		1,82%	7,27%	5,46%	1,82%	7,27%		9,09%
6	Logística Interna	100%		46,73%	29,46%	2,98%	20,83%							

Tabla 4.8-2 Porcentajes de reparto de costes de las secciones auxiliares

Para reconocer esta relación recíproca se utiliza el álgebra lineal: la dificultad para realizar la liquidación secundaria de costes cuando existen prestaciones recíprocas yace en el hecho de que cada sección que se encuentra interrelacionada necesita, para poder valorar correctamente sus prestaciones, conocer el importe de las prestaciones que recibe de otras secciones auxiliares, de manera que sólo podemos determinar estos importes simultáneamente para todas las secciones auxiliares que se ven implicadas en esta reciprocidad.

Para resolverlo hemos definido un sistema de ecuaciones que tiene tantas ecuaciones como secciones recíprocas hay, siendo las incógnitas los costes totales

El sistema de ecuaciones para todas las secciones sería:

$$CT_A = 25.312,57 + 0,0238 CT_1 + 0,0714 CT_2 + 0,1786 CT_3 + 0,1272 CT_4 + 0,0182 CT_5$$

$$CT_B = 78.490,70 + 0,2976 CT_1 + 0,1548 CT_2 + 0,2381 CT_3 + 0,2704 CT_4 + 0,1818 CT_5 + 0,4673 CT_6$$

$$CT_C = 246.725,38 + 0,2381 CT_1 + 0,2381 CT_3 + 0,3076 CT_4 + 0,3091 CT_5 + 0,2946 CT_6$$

$$CT_D = 40.656,29 + 0,1786 CT_1 + 0,6349 CT_2 + 0,2381 CT_3 + 0,1540 CT_4 + 0,1636 CT_5 + 0,0298 CT_6$$

$$CT_E = 36.638,50 + 0,0726 CT_4 + 0,2083 CT_6$$

$$CT_F = 18.097,69 + 0,0154 CT_4 + 0,0182 CT_5$$

$$CT_1 = 40.675,33 + 0,0166 CT_4 + 0,0727 CT_5$$

$$CT_2 = 11.752,70 + 0,0033 CT_4 + 0,0546 CT_5$$

$$CT_3 = 8.315,83 + 0,1012 CT_1 + 0,1389 CT_2 + 0,0050 CT_4 + 0,0182 CT_5$$

$$CT_4 = 3.151,83 + 0,0744 CT_1 + 0,0727 CT_5$$

$$CT_5 = 692,20 + 0,0022 CT_4$$

$$CT_6 = 16.767,91 + 0,0863 CT_1 + 0,1071 CT_3 + 0,0257 CT_4 + 0,0909 CT_5$$

El sistema obtenido se ha resuelto por el método de la matriz inversa, obteniendo el siguiente reparto secundario.

Costes Semidirectos	SECCIONES												
	Importe	Aprovisionamiento	Trituración de baterías	Fusión de plomo	Afino y lingotado	Mantenimiento de instalaciones	Calidad y Laboratorio	Medioambiente y PRL	Limpieza de instalaciones	Lavandería	Logística interna	Comercial/Expedición/Distribución	Administración y Gerencia
Personal (Sueldos y Salarios)	49.060,48 €	5.898,27 €				8.375,63 €	6.583,11 €	3.024,07 €			7.404,24 €	2.368,71 €	15.406,45 €
Amortización de inmuebles y construcciones	14.360,58 €	1.740,02 €	4.259,14 €	5.855,82 €	2.393,77 €	111,84 €							
Amortización instalaciones	8.875,70 €		2.331,24 €	4.077,62 €	2.348,14 €	53,26 €	65,44 €						
Amortización maquinaria	46.676,86 €		14.205,97 €	20.986,10 €	7.649,70 €	946,00 €	2.889,09 €						
Amortización maquinaria móvil	5.918,32 €	248,21 €	823,84 €	1.700,53 €	430,77 €	0			304,93 €	45,80 €	2.364,23 €		
Amortización contenedores	15.048,11 €	15.048,11 €											
Gestión de Residuos	61.394,60 €		12.911,99 €	47.618,52 €	864,10 €								
Gas Natural	13.882,11 €				13.882,11 €								
Fuel oil	25.125,24 €			25.125,24 €									
Oxígeno	27.530,75 €			27.530,75 €									
Mat Auxiliar: Floculante			103,56 €										
Mat Auxiliar: Carbón	22.987,74 €			22.987,74 €									
Mat Auxiliar: Viruta	45.615,53 €			45.615,53 €									
Mat Auxiliar: Carbonato sódico	15.080,00 €			15.080,00 €									
Mat Auxiliar: Caliza	1.228,59 €			1.228,59 €									
Mat Auxiliar: Sosa Caústica	35.020,55 €		35.020,55 €										
Material de Oficina	265,00 €										65,00 €	200,00 €	
Comunicaciones	610,00 €										200,00 €	410,00 €	
Servicio de Prevención Ajeno	1.488,18 €							1.488,18 €					
Transporte de ventas	33.641,45 €										33.641,45 €		
Controles ambientales por OCA	1.958,19 €							1.958,19 €					
Productos de limpieza	756,46 €								506,56 €	249,90 €			
Gastos de Locomoción	270,06 €											270,06 €	
Reparaciones de equipos e instalaciones	9.782,76 €					9.782,76 €							
Aceites y otros suministros	9.643,97 €					9.643,97 €							
Repuestos	10.482,02 €					10.482,02 €							
Revisiones reglamentarias de instalaciones	771,37 €							771,37 €					
Gases a presión	347,25 €					243,08 €	104,18 €						
Reactivos y material laboratorio	60,05 €						60,05 €						
Verificaciones y Calibraciones	668,74 €						668,74 €						
Auditorías externas	416,21 €						208,11 €	208,11 €					
Servicios de Gestoría	817,17 €												817,17 €
Total Semidirectos	459.887,60 €	22.934,61 €	69.656,27 €	217.806,44 €	27.568,59 €	39.638,56 €	10.578,72 €	7.449,92 €	811,49 €	295,70 €	9.768,46 €	36.545,22 €	16.833,62 €
Total Costes Indirectos	67.392,34 €	2.377,97 €	8.834,43 €	28.918,94 €	13.087,70 €	1.036,77 €	1.173,98 €	865,91 €	2.343,35 €	396,49 €	6.999,44 €	93,28 €	1.264,08 €
Total Reparto Primario	527.279,94 €	25.312,57 €	78.490,70 €	246.725,38 €	40.656,29 €	40.675,33 €	11.752,70 €	8.315,83 €	3.154,83 €	692,20 €	16.767,91 €	36.638,50 €	18.097,69 €
Total Reparto Secundario	527.279,93 €	30.458,85 €	107.946,47 €	268.440,86 €	60.546,44 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	41.680,62 €	18.206,69 €

Tabla 4.8-3 Reparto secundario de costes entre las secciones

4.9 Contabilización de la localización de costes: método de imputación a los productos

Una vez localizados los costes indirectos en los centros de coste y realizado el reparto primario y secundario se procede a imputar los costes y obtener así la estimación del coste de los productos y/o servicios de la empresa.

La imputación a los productos es la última fase del proceso y supone transferir a los productos finales los costes directos e indirectos acumulados en las secciones principales

Para conseguir este reparto hay diferentes métodos pero el más adecuado es el de la unidad de obra. La unidad de obra constituye uno de los elementos fundamentales para la imputación de los costes de los centros de producción a los outputs obtenidos. Según esto, los costes de un centro son la variable dependiente, mientras que la unidad de obra es la variable independiente. Por tanto, se deberá seleccionar aquella/s unidades de medida de la actividad que más significativamente incidan en el comportamiento de los costes en un determinado centro productivo.

La determinación de la unidad de obra que permite efectuar el reparto de los costes a los productos u objetivos del coste constituye la pieza fundamental para la correcta imputación de aquellos ya que, además se configura como la base para el posterior análisis de la gestión de la sección.

Las unidades de obra que permiten efectuar la distribución de los costes de uso frecuente son las siguientes:

- Unidades de cantidad: materiales consumidos o productos obtenidos.
- Unidades de tiempo: horas trabajadas por operario, máquina o hombre/máquina.
- Unidades de valor: coste mano de obra indirecta, valor materiales consumidos, precio de venta o valor de la producción....

Las unidades de obra, para que sean buenas medidas del nivel de actividad, deben cumplir unos requisitos:

1. La elección de una unidad de obra se debe realizar de forma que esta unidad se entienda con facilidad, y su obtención y registro no debe suponer grandes esfuerzos.
2. La relación que debe existir entre los costes y la actividad debe ser tal, que dicha actividad constituya la causa de la modificación de estos costes (elevado grado de correlación)
3. El coste de la unidad de obra debe mantener una cierta estabilidad a lo largo de algunos periodos.

En el caso objeto de estudio se han seleccionado las siguientes unidades de obra para las secciones principales:

1. Aprovisionamiento: Tn materias primas consumidas
2. Trituración de baterías: Tn de materiales producidos (suma de polipropileno y compuestos de plomo)
3. Fusión de plomo: Tn de plomo de horno producida
4. Afino y lingotado: Tn de plomo refinado y aleaciones
5. Comercial/Expedición/Distribución: Tn de producto vendida

Con los datos obtenidos en el punto anterior en el reparto secundario, obtenemos el coste por unidad de obra de las secciones principales a excepción de la sección de administración y gerencia que será imputado al final.

	SECCIONES						
	Importe	Aprovisionamiento	Trituración de baterías	Fusión de plomo	Afino y lingotado	Comercial/Expedición/Distribución	Administración y Gerencia
Total Reparto Secundario	527.279,93 €	30.458,85 €	107.946,47 €	268.440,86 €	60.546,44 €	41.680,62 €	18.206,69 €
Unidades de obra		Tn materias primas consumidas	Tn materiales producidos	Tn plomo de horno producida	Tn plomo refinado y aleaciones	Tn producto vendidas	
Nº unidades de obra		3.924	2.812	1.872	1.524	1.957	
Coste unidad de obra		7,76 €	38,39 €	143,42 €	39,72 €	21,30 €	

Tabla 4.9-1 Coste por unidad de obra de secciones principales

4.10 Estructura de materiales de cada producto

Para realizar el cálculo del coste de las materias primas de cada producto necesitamos saber las materias primas consumidas en la fabricación de cada uno de ellos. Los productos fabricados en el mes de Noviembre de 2015 son:

- Polipropileno: subproducto de la trituración de las baterías pero con valor en el mercado.
- Plomo de obra, es el plomo obtenido directamente del horno. Se obtiene en bloques troncocónicos de unos 1.500 Kg.
- Plomo puro 99,985%. Es el plomo obtenido del horno pero se realiza un proceso adicional de refinado y lingotado.
- Aleación de plomo-calcio. Es un plomo de horno refinado y posteriormente aleado y lingotado.

La lista de materiales será distinta en función del producto. Para el polipropileno que es el caso más sencillo, la única materia prima será la batería. El plomo de obra será el mismo caso, ya que el coste de las materias auxiliares consumidas para su obtención ha sido imputado en la sección de fusión de plomo. En el caso del plomo puro y plomo aleado, además del consumo de baterías, tendrán asociado un coste directo de los reactivos utilizados para su refino y los aleantes consumidos en el caso del plomo-calcio.

En el caso del polipropileno el coste de la materia prima se considerará el 6% de las baterías consumidas, ya que es el porcentaje de polipropileno que estas contienen, el resto de consumo de baterías se reparte entre los distintos tipos de plomo utilizando en función del plomo de horno necesario para la fabricación de cada tipo de plomo.

A continuación se presenta un cuadro con los consumos de materias primas de cada producto referidos al mes de Noviembre.

Materiales consumidos (Kg)	Plomo de Obra	Plomo Puro 99,985	Pb Aleado	Polipropileno	TOTALES
Baterías	388.753	2.345.551	364.973	197.723	3.297.000
Plomo de Horno	234.769	1.416.483	220.408		1.871.660
Sosa		13.500	1.700		15.200
Nitrato potásico		11.025	1.375		12.400
Azufre		1.860	240		2.100
Pirita de Hierro		4.960	600		5.560
Estaño			2.535		2.535
Calcio			98		98
Calcio-Aluminio			170		170

Tabla 4.10-1 Lista de consumos de materias primas por cada producto

Con estos datos y el coste de cada materia prima obtenido en el punto anterior (5.3 El coste de los materiales), ya podemos obtener el coste directo de las materias primas que soporta cada producto.

4.11 Estructura de tiempos de MOD de cada producto

Para asignar el coste de MOD a cada uno de los productos necesitamos saber el tiempo dedicado de dicha mano de obra a la fabricación de cada uno de ellos.

Para ello hemos utilizado la tabla de tiempos de la MOD de cada una de las secciones principales operativas y hemos dividido el tiempo en función de la producción de cada una de ellas, es decir con las unidades de obra utilizadas.

	Horas trabajadas en noviembre
Horas horno	3.120
Horas trituración	1.808
Horas afino y lingotado	1.512
Horas totales	6.440

Tabla 4.11-1 Tiempos de trabajo de MOD de las secciones principales operativas

El reparto de tiempos de las secciones de horno y trituración de baterías lo hemos obtenido teniendo en cuenta las horas totales de cada sección y las unidades de obra de cada una de estas secciones. Como se trata de una producción idéntica para todos los productos, simplemente se ha distribuido en función de las unidades producidas.

En cuanto a la sección de afino y lingotado, los tiempos han sido extraídos de registros de la propia empresa, ya que el proceso de producción es distinto, el proceso del plomo aleado tiene unos tiempos de producción más largo.

Horas MOD (h)	Plomo de Obra	Plomo Puro 99,985	Plomo Aleado	Polipropileno	TOTALES
horas horno	392	2.360	368		3.120
horas PRB	213	1.286	200	109	1.808
horas afino y lingotado		1.200	312		1.512

Tabla 4.11-2 Tiempos de trabajo de MOD por producto

4.12 Cálculo de costes de fabricación

Ahora ya tenemos todos los datos necesarios para calcular el coste de fabricación de los productos.

- Estructura de materias primas de cada producto
- Coste de cada materia prima del mes de noviembre (FIFO)
- Estructura de tiempos de cada producto
- Coste hora/mano de obra directa
- Costes indirectos de fabricación de cada una de las secciones principales y operativas

El reparto de los costes indirectos con respecto a los productos se realizará así:

$$\text{Coste indirecto del producto X} = \frac{\sum (\text{n}^\circ \text{ unidades de obra destinadas a X} * \text{coste de la unidad de obra})}{\text{n}^\circ \text{ unidades fabricadas de X}}$$

Ecuación 4.12-1 Fórmula de cálculo de costes indirectos por cada producto

Para calcular los costes indirectos de fabricación de las distintas secciones hemos considerado lo siguiente.

1. Aprovechamiento: lo repartimos en función de las materias primas consumidas que resulta de la suma de los consumos de la tabla de estructura de materiales de cada producto a excepción del plomo de horno, a la cual le añadimos los reactivos consumidos en horno en función del consumo de plomo de horno y la sosa consumida en la trituración de baterías en función de las baterías consumidas por cada uno de los productos.
2. Trituración de baterías: lo repartimos en función de los compuestos de plomo producidos en la trituración de baterías que posteriormente son utilizados para la obtención del plomo de horno. En el caso del polipropileno la cantidad es la de plástico producido.
3. Fusión de plomo: se reparte en función del consumo de plomo de horno para la fabricación de cada producto.

4. Afino y lingotado: se reparte en función de las toneladas producidas del plomo puro y plomo aleado, ya que el resto de productos no consumen recursos de esta sección.

La siguiente tabla muestra los costes de fabricación de cada uno de los productos:

Costes de fabricación	Plomo de Obra	Plomo Puro 99,985	Pb Aleado	Polipropileno	TOTALES
Materias Primas					
<i>Baterías</i>	282.485 €	1.704.379 €	265.205 €	143.674 €	2.395.743 €
<i>Sosa</i>		7.169 €	903 €		8.071 €
<i>Nitrato potásico</i>		10.253 €	1.279 €		11.532 €
<i>Azufre</i>		922 €	119 €		1.041 €
<i>Pirita de Hierro</i>		2.172 €	263 €		2.435 €
<i>Estaño</i>			33.969 €		33.969 €
<i>Calcio</i>			387 €		387 €
<i>Calcio-Aluminio</i>			774 €		774 €
MOD	7.738 €	57.989 €	15.246 €	1.394 €	82.367 €
Costes Indirectos					
<i>Aprovisionamiento</i>	3.587 €	21.886 €	3.420 €	1.565 €	30.459 €
<i>Trituración de baterías</i>	12.588 €	75.950 €	11.818 €	7.591 €	107.946 €
<i>Fusión de plomo</i>	33.671 €	203.158 €	31.612 €	0 €	268.441 €
<i>Afino y Lingotado</i>	0 €	52.272 €	8.275 €	0 €	60.546 €
Total costes de fabricación	<u>340.070 €</u>	<u>2.136.151 €</u>	<u>373.268 €</u>	<u>154.224 €</u>	<u>3.003.712 €</u>
Coste unitario de fabricación	<u>1.449 €</u>	<u>1.623 €</u>	<u>1.792 €</u>	<u>780 €</u>	

Tabla 4.12-1 Costes de fabricación de cada producto

5 Cálculo de márgenes de venta

Para conocer si un producto o servicio es viable económicamente y cuál es el éxito de una venta, la empresa debe calcular el margen de cada operación comercial. En este apartado calcularemos el margen comercial de cada uno de los productos fabricados.

En términos generales, el margen es la diferencia entre el precio de venta y el coste del producto o servicio. Es una medida del beneficio de la venta del producto.

Existen diferentes márgenes:

- Margen bruto o margen industrial es la diferencia entre el precio de venta y el coste de fabricación.
- Margen neto que es el margen bruto menos el resto de costes de la empresa. En el margen industrial se considera sólo el coste de fabricación mientras que en el margen neto se consideran todos los costes de la compañía, es decir, los de fabricación más los costes comerciales y de administración y gerencia.

Con el fin de simplificar los cálculos, en el presente estudio se han realizado varias consideraciones.

- No tenemos stock de producto final procedente de meses anteriores, es decir, el coste de las ventas será el coste de fabricación del mes objeto de estudio.
- Todo el producto final fabricado es vendido en el mismo mes, tanto el polipropileno, como los distintos plomos.

A continuación se muestra una tabla con los márgenes y resultados del mes de noviembre de 2015.

Márgenes y resultados	Plomo de obra				Plomo Puro 99,985%			
	<i>U. vendidas</i>	<i>P. unitario</i>	<i>Total</i>	<i>%</i>	<i>U. vendidas</i>	<i>P. unitario</i>	<i>Total</i>	<i>%</i>
Ventas	235	1.550	363.892 €	100,00%	1.316	1.670	2.197.892 €	100,00%
Coste de Ventas	235	1.458	342.293 €	94,06%	1.316	1.623	2.136.151 €	97,19%
Margen Industrial	235	92	21.599 €	5,94%	1316	46,91	61.741 €	2,81%
Coste comercial	235	21,30	5.000 €	1,37%	1316	21,30	28.032 €	1,28%
Margen comercial	235	70,70	16.598 €	4,56%	1316	25,61	33.710 €	1,53%
Coste Administración								
Beneficio								

Tabla 4.12-1 Márgenes y resultados de Plomo de obra y plomo puro 99,985%

Márgenes y resultados	Plomo Aleado				Polipropileno				TOTAL	%
	<i>U. vendidas</i>	<i>P. unitario</i>	<i>Total</i>	<i>%</i>	<i>U. vendidas</i>	<i>P. unitario</i>	<i>Total</i>	<i>%</i>		
Ventas	208	1.925	401.060 €	100,00%	198	800	158.178 €	100,00%	3.121.022 €	100,00%
Coste de Ventas	208	1.792	373.268 €	93,07%	198	780	154.224 €	97,50%	3.005.936 €	96,31%
Margen Industrial	208	133	27.792 €	6,93%	198	20	3.954 €	2,50%	115.086 €	3,69%
Coste comercial	208	21,30	4.437 €	1,11%	198	21,30	4.211 €	2,66%	41.681 €	1,34%
Margen comercial	208	112	23.355 €	5,82%	198	-1	-257 €	-0,16%	73.406 €	2,35%
Coste Administración									18.207 €	0,58%
Beneficio									55.199 €	1,77%

Tabla 4.12-2 Márgenes y resultados de plomo aleado, polipropileno y total del mes de noviembre de 2015

El producto con mayor margen de beneficio es el plomo aleado, seguido del plomo de obra y plomo puro 99,985%. En el último puesto está el polipropileno, con un margen negativo, debido a que su precio de venta es muy similar al precio de compra, por lo que no hay apenas margen que pueda asumir los costes de fabricación.

Se podría pensar en que la producción de este material no es rentable para la empresa pero debido a que su obtención es inevitable al desguazar la batería, cualquier valor que se le pueda sacar a este subproducto en el mercado siempre será positivo para la empresa. Un caso parecido es el del separador, pero a diferencia del polipropileno éste tiene un valor negativo en el mercado y en la actualidad es gestionado como residuo.

Para sacar mayor rentabilidad al polipropileno, se podría estudiar la posibilidad de dar un valor añadido a este producto. Este valor añadido se podría conseguir aumentando la pureza del material, convirtiéndolo en granza para utilizar directamente en extrusoras o incluso extruirlo en las propias instalaciones fabricando por ejemplo nuevas carcasas que podríamos suministrar a fabricantes de baterías.

En cuanto a los productos de plomo, los de mayor margen de beneficio son las aleaciones, de manera que la recomendación en este punto es la especialización o aumento de producción en esta clase de productos en detrimento de otros que tienen un margen de beneficio inferior. En este caso se ha analizado la rentabilidad de las aleaciones plomo-calcio fabricadas en el mes de Noviembre pero el mercado de las baterías, que es el principal cliente de Recobat, demanda más tipos de aleaciones que se podrían fabricar. Disminuyendo la fabricación de plomo puro y reemplazándola por la fabricación de aleaciones y plomo de obra aumentaríamos los beneficios totales de la empresa.

6 Propuesta y análisis económico de alternativas tecnológicas

Una vez analizados los costes de la empresa y obtenidos los beneficios de cada producto, en esta segunda parte del estudio se van a realizar una serie de recomendaciones y se estimará la repercusión que estas alternativas tecnológicas tendrían en los costes de la empresa.

Los inconvenientes ecológicos, así como la baja rentabilidad que acompañan a muchos de los procesos empleados en el sector del reciclaje de baterías usadas en la actualidad justifican la búsqueda de alternativas.

La fusión del plomo metálico y sus aleaciones, que provienen de las placas y rejillas de las baterías, se pueden llevar a cabo en un horno común, sin emisiones considerables ni la necesidad de alcanzar grandes temperaturas (con unos 400°C es suficiente). El problema medioambiental del reciclaje de baterías usadas proviene fundamentalmente de la recuperación del plomo de la pasta. El sulfato de plomo (PbSO_4), que supone aproximadamente la mitad del peso de la pasta, conduce a la generación de SO_2 si se introduce en un horno sin tratamiento previo. Por este motivo, algunas de las plantas que trabajan con procesos pirometalúrgicos han decidido proceder a un tratamiento de la pasta de plomo, antes de introducirla en el horno reductor denominado desulfuración. Muchas plantas de reciclaje de baterías usadas son reticentes a llevar a cabo la desulfuración de las pastas, ya que tienen los siguientes inconvenientes:

- Es un proceso lento (la desulfuración dura aproximadamente una hora)
- La conversión es incompleta (el rendimiento es de un 92%)
- El equipo necesario es caro, pues para la desulfuración se emplean bases fuertes y corrosivas (sosa cáustica o carbonato sódico)

Aunque es cierto que la desulfuración de la pasta supone un gasto añadido considerable, las plantas que no realizan dicha desulfuración se ven obligadas a utilizar potentes filtros para el SO_2 que también resultan muy costosos. Además, a partir de la desulfuración casi siempre se integra un

proceso paralelo de producción de sulfato de sodio cristalino (Na_2SO_4) de alta pureza, que puede ser vendido, por ejemplo, a la industrial del detergente, disminuyendo así los costes.

Las plantas que utilizan métodos pirometalúrgicos y que no creen en la viabilidad económica de la desulfuración, tienen la alternativa de reciclar el SO_2 . Esto se debe a la posibilidad de producir también sulfato de sodio (Na_2SO_4) a partir de gas tóxico. En este proceso paralelo también puede reutilizarse el ácido sulfúrico del electrolito, lo que supondría una doble ventaja, económica y medioambiental, para las plantas que deseen persistir en el uso de métodos pirometalúrgicos tradicionales.

Aunque no será objeto de análisis en el presente estudio, es importante mencionar que el verdadero cambio en el sector de baterías usadas, podría producirse en el uso de métodos hidrometalúrgicos para el tratamiento de la pasta de plomo. Hasta no hace mucho parecía muy remota esta posibilidad pero en los últimos años ya se ha experimentado para poner a prueba la validez de estos métodos y parece que pueden suponer una considerable mejora económica y ambiental.

La segunda de las alternativas analizadas está relacionada con uno de los residuos generados en las plantas de reciclaje de baterías, los separadores, los cuales representa aproximadamente un 3,75% del peso de la batería. Se trata de una mezcla de plásticos en su mayoría polietileno, que actualmente no tiene valor positivo en el mercado, debido a que su reciclado no resulta rentable. Una alternativa posible sería la integración de un proceso de gasificación que permitiese reducir de forma significativa los residuos plásticos y la utilización del gas generado en la propia planta de reciclaje para generar calor en la zona de fundición.

La última de las alternativas analizada, aunque no tiene por qué ser llevada a cabo en las propias plantas de reciclaje de baterías usadas, es la revalorización del ácido sulfúrico diluido del electrolito. Este hecho evitaría la enorme generación del lodo resultante de la neutralización del ácido y podría proveer a las propias fábricas de baterías de plomo del electrolito necesario para sus productos.

6.1 Desulfuración de las pastas de plomo

Muchas de las plantas de reciclaje de baterías usadas de reciente construcción incorporan en sus procesos una unidad de desulfuración y producción paralela de cristales de sulfato de sodio anhidro de alta pureza (Na_2SO_4). La significativa reducción en las emisiones de SO_2 , producción de escorias y consumo de viruta de hierro, sumado a los ingresos que puede suponer la venta del Na_2SO_4 son el gran aliciente de este sistema.

El proceso que se va a describir y analizar en este punto ha sido desarrollado por la empresa Engitec, ubicada en Italia. A continuación se muestra un esquema de su funcionamiento.

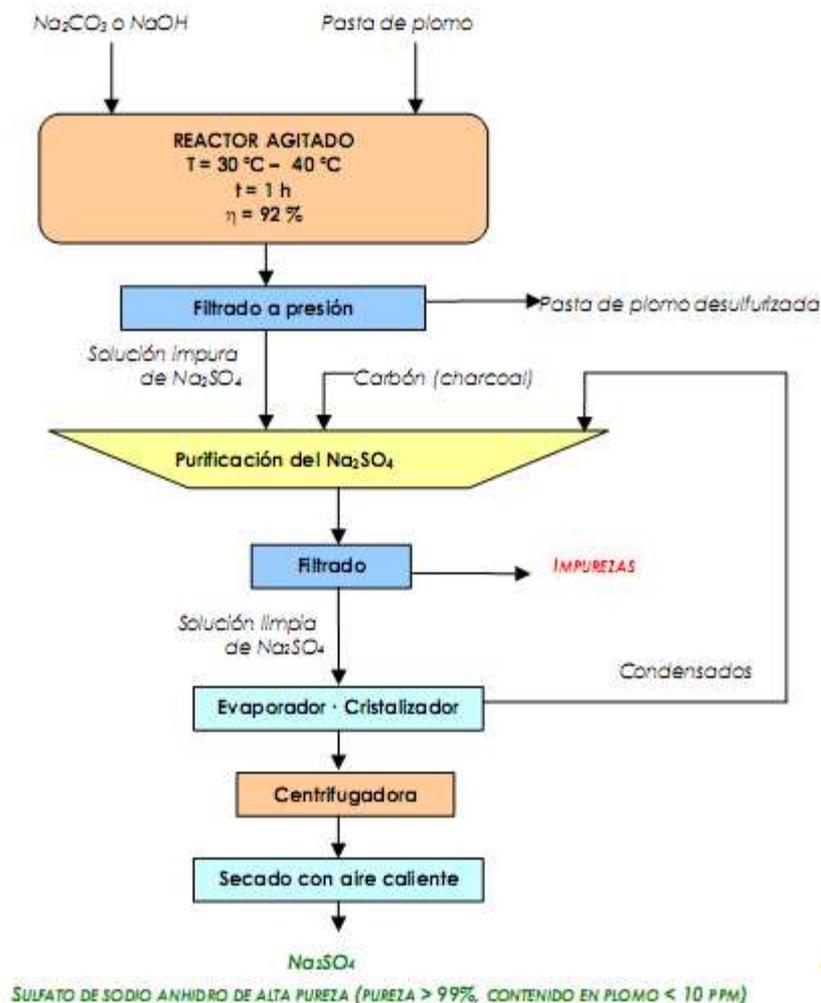


Ilustración 6.1-1 Esquema del proceso de desulfuración de la pasta de plomo y del proceso paralelo de producción del sulfato de sodio cristalino. Fuente: UPC

Este nuevo proceso se incluiría como fase adicional al proceso de trituración de baterías descrito anteriormente en el presente estudio. Una vez obtenida la pasta de plomo, se trata mediante un proceso de desulfuración para minimizar casi totalmente la generación posterior de SO₂ en el horno rotativo. Este hecho se explica por la reacción del sulfato de plomo (PbSO₄) con un reactivo, que conduce a la extracción del ion sulfato de la pasta. El resto de componentes de la pasta como pueden ser los óxidos de plomo ó plomo metálico no sufre ninguna alteración como consecuencia del proceso de desulfuración.

El proceso consiste en que la pasta de plomo es mezclada en un reactor con carbonato de sodio (Na₂CO₃) o sosa cáustica (NaOH). Las reacciones que se producen son las siguientes:

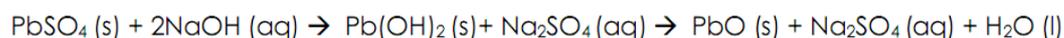
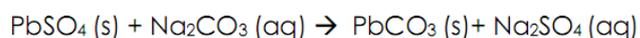


Ilustración 6.1-2 Reacciones del proceso de desulfuración de las pastas

La cantidad de compuestos de sodio añadidos son suficientes para realizar la desulfuración de las pastas de plomo y neutralizar el ácido sulfúrico escurrido de las baterías.

La temperatura adecuada para estas reacciones está entre 30°C y 40°C, ya que en ese rango, la solubilidad de sulfato de sodio es máxima y se favorece también la floculación y separación de los compuestos de plomo de la pasta. Como además de provocar la desulfuración de la pasta, este proceso también supone el primer paso para la producción de cristales de sulfato de sodio, es aconsejable que se introduzca una cantidad cercana a la estequiométrica del reactivo, evitando así un exceso de alcalinidad en los cristales que se producirán con posterioridad.

Los productos de la reacción y las partículas presentes en el reactor son mantenidos en suspensión por medio de agitación y una vez terminada la reacción se conducen mediante una bomba a un filtro prensa, separando así la parte de la pasta desulfurizada de la solución de sulfato de sodio. La pasta obtenida de este proceso será transformada en plomo metal en la siguiente etapa del proceso, la fusión de plomo.

La desulfuración permite eliminar casi completamente la generación de SO_2 , pero no propicia la disminución de la temperatura en el horno. De hecho, en el caso de la carbonatación (desulfuración con carbonato de sodio), la temperatura del horno debe aumentar hasta 1450°C , lo que significa un inconveniente, por el incremento de coste energético.

La solución de sulfato de sodio resultante contiene impurezas sólidas no retenidas durante el filtrado. Por esta razón, se requiere una filtración adicional para obtener una solución limpia y sin color, necesaria para dar un producto final (cristales de Na_2SO_4) de buena calidad.

Para purificar esta solución se trata con carbón y se vuelve a filtrar. El resultado es una solución incolora, que se introduce en el evaporador, obteniéndose así los cristales de sulfato de sodio. Éstos son centrifugados y secados mediante una corriente de aire caliente, obteniéndose como producto cristales de sulfato de sodio anhidro de alta pureza ($>99\%$, $\text{Pb} < 10\text{ppm}$)

A continuación se presenta una tabla resumen con las principales diferencias entre una planta con proceso de desulfuración y otra que no lo tiene:

	Sin desulfuración	Con desulfuración
Condiciones de desulfuración		
Consumo de Na_2CO_3	0 Kg/Tn Pb	200 Kg/Tn Pb
Producción Na_2SO_4	0 Kg/Tn Pb	230 Kg/Tn Pb
% Azufre en las pastas	6,20%	0,40%
Consumo reactivos en Horno		
Viruta de Hierro	140 Kg/Tn Pb	17 Kg/Tn Pb
Na_2CO_3	34 Kg/Tn Pb	10 Kg/Tn Pb
% Producción de Escorias	$>30\%$	10%
Emisiones SO_2	800 ppm	150 ppm

Tabla 6.1-1 Principales diferencias de la desulfuración

Es evidente que las plantas con procesos de desulfuración son más eficientes medioambientalmente, sin embargo el factor económico es también muy importante para establecer este proceso definitivamente en el sector del reciclaje de baterías de plomo fuera de uso.

El coste total de la instalación asciende aproximadamente a unos 310.000€ y las amortizaciones que imputamos se han calculado de la

misma forma que en cualquiera de las secciones analizadas anteriormente. Para expresarlos por tonelada de plomo, se ha tomado como referencia el plomo producido en el mes de noviembre de 2015.

DESULFURACION DE PASTAS			
Denominación del activo fijo	Valor de adquisición	Coef. Amort	Coste anual
Construcciones e Inmuebles	- €	3%	- €
Instalaciones técnicas	670.000,00 €	10%	67.000,00 €
Maquinaria	2.000.000,00 €	12%	240.000,00 €
Maquinaria móvil	28.950,00 €	10%	2.895,00 €
TOTAL	2.698.950,00 €		309.895,00 €

Tabla 6.1-2 Cálculo de coste de amortización anual de la instalación de desulfuración de pastas

La siguiente tabla muestra los costes estimados de fabricación del proceso de desulfuración expresados por tonelada de plomo producido en el horno rotativo. Además del coste de materias primas y energía se ha tenido en cuenta el coste de amortización.

Coste de Desulfuración por tonelada de plomo				
Concepto	Unidades	Cantidad	Precio	Importe
Amortizaciones				13,80 €
Energía eléctrica	Kwh/ton	110,00	0,12 €	13,00 €
Fuel Oil	Kg/ton	137,93	0,29 €	40,55 €
Carbonato Sódico	Kg/ton	200,00	0,23 €	46,40 €
Sosa Cáustica	Kg/ton	7,50	0,53 €	3,98 €
Carbón	Kg/ton	7,50	0,14 €	1,08 €
Otros (Filtros, Sales y Prod. Químicos)	Kg/ton	1,00	1,00 €	3,90 €
Total				122,71 €

Tabla 6.1-3 Costes por tonelada de plomo del proceso de desulfuración

Además de producir unos costes adicionales, el proceso de desulfuración también lleva asociado unos ahorros de reactivos y de gestión de escorias al disminuir su generación. En la siguiente tabla se expresan los ahorros de reactivos por tonelada de plomo obtenido en el horno rotativo y la disminución de producción de escorias. Los precios que se ha tomado como referencia para la gestión del residuo y el coste de materias auxiliares también son los del mes de Noviembre de 2015.

Ahorros Desulfuración por tonelada de plomo				
<i>Concepto</i>	<i>Unidades</i>	<i>Ahorro/Tn</i>	<i>Precio</i>	<i>Importe</i>
Viruta de Hierro	Kg/ton	122,42	0,18 €	21,42 €
Carbonato Sódico	Kg/ton	24,00	0,23 €	5,52 €
Reducción escorias	Kg/ton	254,05	0,07 €	18,25 €
Total				45,20 €

Tabla 6.1-4 Ahorros del proceso de desulfuración/tonelada plomo

En varios estudios se muestra como posibilidad para aumentar la rentabilidad de la desulfuración, la venta del sulfato de sodio obtenido. Este compuesto tiene un precio aproximado en el mercado de 60 €/Tn y tiene salida comercial, principalmente en la industria del detergente.

Ingresos por venta de sulfato de sodio				
<i>Concepto</i>	<i>Unidades</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Importe</i>
Sulfato de sodio	Kg/ton	230,00	0,06 €	13,80 €

Tabla 6.1-5 Ingresos por venta de sulfato de sodio

Personalmente se considera que la venta de este compuesto para la producción de detergentes es complicada debido a su procedencia. La eliminación total del plomo es muy complicada y normalmente las industrias prefieren no introducir productos que puedan contener plomo, por muy bajos que sean estos niveles.

Aun teniendo en cuenta la venta del sulfato de sodio, actualmente el proceso de desulfuración de pastas no resulta rentable económicamente. La introducción de este proceso en la planta analizada supondría un aumento de los costes de fabricación de 63,72 €/Tn de plomo producido en horno rotativo. En el mes de Noviembre de 2015 habría supuesto un aumento de costes de 119.275,96 €, teniendo en cuenta que los beneficios de dicho mes fueron 55.199 €, la inclusión del nuevo proceso habría supuesto unas pérdidas en el mes de 64.076,97€, dejando a la empresa con un margen de beneficio negativo.

Análisis rentabilidad proceso desulfuración	
<i>Concepto</i>	<i>Importe</i>
Costes desulfuración	-122,71 €
Ahorros en Fusión de plomo	45,20 €
Venta de Sulfato de Sodio	13,80 €
Total	-63,72 €

Tabla 6.1-6 Análisis rentabilidad proceso de desulfuración

6.2 Gasificación de residuos plásticos

El continuo aumento de la cantidad de residuos plásticos generados ha convertido su gestión en un problema de primer orden. La preocupación por la resolución de este problema ha impulsado el desarrollo de nuevas tecnologías y métodos de tratamiento que permitan no sólo la eliminación de los residuos sino también la valorización de los mismos.

Entre las diferentes opciones de valorización de residuos plásticos, la utilización de la tecnología de gasificación surge como una alternativa prometedora, ya que permitiría el aumento de la tasa de autoabastecimiento energético, la reducción de la cantidad de residuos enviada a vertedero y la conversión de un material no biodegradable en un gas de síntesis que puede ser utilizado en diversas aplicaciones, tales como el aprovechamiento energético, la obtención de hidrógeno o la síntesis química (metanol, gasolinas, combustible de segunda generación, etc.)

La alternativa tecnológica que se propone en este apartado es la gasificación del separador procedente de la batería. El separador es un residuo formado por la mezcla de distintos plásticos, donde el mayoritario es el polietileno. A diferencia del polipropileno procedente de la carcasa, que es enviado a plantas de reciclaje de plásticos, este otro residuo plástico carece de interés para su reciclado por lo que en la actualidad tiene un valor negativo en el mercado.

Con el objetivo de buscar una mejor alternativa para este residuo, la empresa objeto de estudio solicitó a la Universidad de Zaragoza un estudio para analizar la viabilidad del procesado termoquímico de este residuo plástico mediante el proceso de gasificación. La integración del proceso de gasificación permitiría reducir de forma significativa la cantidad de residuos

plásticos enviados a vertedero. Además, el gas de síntesis generado se utilizaría en la sección de Refino y lingotado, disminuyendo las necesidades de consumo de gas natural en los quemadores de los hornos crisoles.

En el estudio realizado se concluyó que mediante un proceso de gasificación de dicho residuo se podría obtener un gas con un poder calorífico de 1571 Kcal/m³N y por cada Kg de residuo se obtendría 1,37 m³N de gas. A continuación se muestra la estimación del ahorro de Gas Natural que supondría:

Estimación del ahorro de Gas Natural	
Producción residuo (Kg)	134.972
Producción Gas de síntesis (m ³ N/año)	185.317
PCI (Kcal/m ³ N)	1.571
Producción energética (th/mes)	291.132
PCI Gas Natural (Kcal/m ³ N)	9.300
Ahorro de Gas natural (m ³ N/mes)	31.305

Tabla 6.2-1 Cálculo posible ahorro de gas natural

Del proceso de gasificación se obtendría una producción energética superior a la consumida en la sección de afino y lingotado, ya que el equivalente a gas natural producido en el mes de noviembre hubiera sido de 31.305 m³N y el consumo de este mismo mes fue de 19.048 m³N.

Con esta situación podríamos pensar que la instalación se podría autoabastecer energéticamente en esta sección, pero el alto contenido de alquitranes que tiene el gas obtenido del separador hace imposible su utilización directa. Para poder utilizar dicho gas tendríamos que diluirlo con gas natural en una proporción 50:50 por lo que la factura de gas natural se vería reducida solamente en aproximadamente un 50%.

Es importante indicar que, además del ahorro del gas natural, la integración del proceso de gasificación en la planta de reciclaje de baterías permite disminuir la cantidad de residuos enviada a vertedero en un 50%, lo que supondría un ahorro significativo en los costes de gestión de residuos.

Se estima que el coste de la instalación necesaria serían unos 3.000.000 €, de manera que sólo en amortizaciones mensuales el proceso tendría que soportar unos 30.000 € mensuales.

Como no disponemos del resto de costes que supondría el proceso de gasificación, para el análisis de la rentabilidad solamente se ha tenido en cuenta este coste.

Análisis rentabilidad proceso gasificación	
<i>Concepto</i>	<i>Importe</i>
Costes gasificación	-30.000,00 €
Ahorros en gestión de residuos	2.523,98 €
Ahorro Gas natural	6.941,00 €
Total	-20.535,02 €

Tabla 6.2-2 Análisis rentabilidad proceso de gasificación

Una vez analizada esta alternativa, podemos concluir que económicamente no tiene interés para la empresa, ya que los ahorros que se producirían no cubrirían ni los costes de amortización de la instalación que se necesita. Ambientalmente es una alternativa interesante, ya que se reduciría el consumo de un recurso (gas natural) y la producción de un residuo (separador de polietileno), pero económicamente carece de interés.

6.3 Producción comercial de yeso

La valorización del ácido sulfúrico del electrolito está todavía lejos de ser una actividad habitual en el sector del reciclaje de baterías de plomo fuera de uso. El alto contenido en impurezas metálicas en la disolución del H_2SO_4 , así como la baja concentración en ácido (10-15%) han sido siempre los factores determinantes a la hora de rechazar esta alternativa. Sin embargo, aumentar la rentabilidad y la mejora ambiental, justifica la búsqueda de alternativas.

La generación de ácido sulfúrico diluido en fundiciones de plomo secundario es aproximadamente de un 12%. El porcentaje de ácido sulfúrico en la batería es mayor, pero el resto del electrolito se pierde en forma de humedad de los distintos materiales obtenidos en la trituración de

baterías. El coste que supone la gestión de este residuo es considerable, además, desde el punto de vista medioambiental el impacto es claramente negativo.

Si la industria del reciclaje de baterías usadas adoptara el hábito de valorizar el ácido del electrolito, además del plomo y el polipropileno, se alcanzaría un nivel de recuperación superior al 90%.

En la planta objeto de estudio la generación de este residuo es inferior al 12%, ya que parte de este ácido es reutilizado en la inertización de las escorias procedentes del horno rotativo. En el mes de noviembre el coste de gestión de este residuo fue de 7.864,04 €.

Existen varias alternativas para la valorización del electrolito de las baterías pero la producción de yeso es la más viable económicamente.

La producción comercial de yeso (CaSO_4) es una alternativa útil, no solo para la valorización del ácido sino integrable también en aquellos procesos de reciclaje de baterías usadas en los que se genera sulfato de sodio, tal y como muestran las siguientes reacciones con cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) y carbonato sódico (CaCO_3):

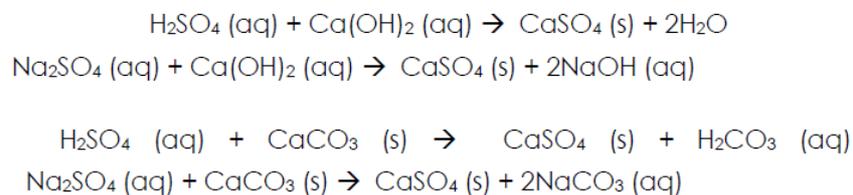


Ilustración 6.3-1 Reacciones de la producción de yeso a partir de electrolito

En especial, aquellos procesos de purificación del ácido que no alcanzan niveles casi totales de pureza (nanofiltrado y precipitación química con NaHS) cuentan con esta vía para reutilizar el ácido tratado.

El yeso producido puede venderse a unos 8 €/Tn, pero debe cumplir con ciertas especificaciones para llegar a ser comercial. Dichas especificaciones son químicas (pureza) y físicas: el tamaño de partícula, determinado por el parámetro d_{50} debe estar entre 30 y 80 μm , mientras que la densidad aparente debe ser unos 0,60 g/cm^3 . Para alcanzar los niveles comerciales, deben utilizarse tanques agitados y con una geometría conveniente para sintetizar el yeso, mientras que los experimentos

demuestran que el carbonato de sodio es el agente químico (CaCO_3) ideal. Aunque el sulfato de sodio cristalino puede venderse a un precio sensiblemente mayor que el yeso, la complejidad y elevado coste que conlleva su síntesis recomiendan la producción de yeso.

A continuación se presenta el análisis económico de esta alternativa. Se considera que por cada tonelada de electrolito se obtienen 132 kg de yeso y durante el mes de Noviembre se gestionaron externamente 99,20 Tn de este residuo, el resto de electrolito generado se utilizó en otras partes del proceso de reciclaje.

El coste de la instalación necesaria para la producción de yeso ascendería a unos 350.000 €.

Teniendo en cuenta el coste de la inversión y los costes de fabricación, la producción de yeso del mes de Noviembre habría supuesto los siguientes costes:

Coste de producción de yeso				
<i>Concepto</i>	<i>Unidades</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Importe</i>
Amortizaciones				3.500,00 €
Coste de producción de yeso	Tn	13,09	45,45 €	595,14 €
Total				4.095,14 €

Tabla 6.3-1 Coste estimado total producción de yeso del mes de noviembre de 2015

Los ingresos por la venta del yeso serían:

Ingresos por venta de yeso				
<i>Concepto</i>	<i>Unidades</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Importe</i>
Yeso comercial	Kg/Tn	13,09	8,23 €	107,77 €

Tabla 6.3-2 Ingresos estimados por la venta del yeso

Para analizar la rentabilidad de la alternativa, hemos tenido en cuenta: los costes de fabricación, el ahorro de gestión del residuo y los ingresos por venta del yeso.

Análisis rentabilidad producción de yeso	
<i>Concepto</i>	<i>Importe</i>
Costes producción de yeso	-4.095,14 €
Ahorros en gestión de residuos	7.864,04 €
Ingresos por venta de yeso	107,77 €
Total	3.876,67 €

Tabla 6.3-3 Análisis rentabilidad proceso producción de yeso

Con los datos que disponemos podemos decir que el resultado obtenido es positivo, de manera que la implantación de esta alternativa no solamente supondría una mejora medioambiental sino que supondría una disminución de costes en la empresa.

Si finalmente la empresa decidiese llevar a cabo esta inversión, habría que realizar un estudio más exhaustivo de los costes de fabricación, además por falta de datos, en el presente análisis no se ha tenido en cuenta la gestión del residuo que se obtendría en la producción de yeso.

7 Conclusiones

El reciclado de baterías de plomo-ácido no es una actividad simple, la construcción, puesta en marcha y funcionamiento de una planta como la descrita en el presente proyecto tiene unos costes muy elevados. Tal y como se ha visto a lo largo del estudio, no es sólo los costes de amortización que soporta derivados de la inversión inicial, sino que además hay unos gastos generales permanentes para cubrir los sistemas de control medioambiental y de higiene laboral. Como consecuencia de estos gastos fijos tan elevados, un punto clave en esta actividad es tener un caudal continuo y alto de baterías plomo-ácido ya que una disminución de la producción provocaría resultados negativos en la cuenta de resultados.

El objetivo de la primera parte de este proyecto ha sido analizar las características del plomo y del sector del reciclaje de baterías plomo-ácido, analizando diferentes aspectos de este ámbito empresarial a través de la descripción de una planta dedicada a la valorización de dicho residuo.

Esta primera parte se ha llevado a cabo con el objeto de ofrecer conocimiento del sector que facilitará la comprensión del eje central del proyecto que ha consistido en la elaboración de un sistema de costes basado en secciones para una planta de reciclaje de baterías plomo-ácido.

Con la realización de este trabajo se pretendía obtener una información más detallada de la estructura de costes de la empresa, conociendo dónde y cómo se producen estos costes para posteriormente poder utilizar esta información en la toma de decisiones.

Además de este conocimiento más exhaustivo de los costes que puede ser de interés para la empresa, del sistema de costes se puede concluir que los productos con mayor margen de beneficio son las aleaciones de plomo por lo que la empresa podría decidir especializarse en este tipo de productos, aumentando la producción de éstas en detrimento de otros productos de plomo.

Otra aportación que realiza este proyecto ha consistido en evaluar la viabilidad económica de tres alternativas tecnológicas escogidas por la mejora medioambiental que podrían suponer en la actividad.

De las tres alternativas analizadas se concluye que en un primer análisis, solamente la valorización del electrolito para la producción de yeso aumentaría la rentabilidad y reduciría el impacto medioambiental de este tipo de plantas.

En cuanto a las otras dos alternativas, solamente un cambio legislativo o un aumento de los márgenes de venta podrían justificar su puesta en marcha.

8 Bibliografía

- Unión de industrias del plomo.
<<http://www.uniplom.es/principal.htm>> (Consulta: 27 de octubre de 2015)
- BRAY, John L. (1962). *Metalurgia extractiva de los metales no férreos*. 2ª edición. Ediciones Interciencia
- London Metal Exchange < <https://www.lme.com/>> (Consulta: 11 de enero de 2016)
- Regenbat, empresa dedicada al desarrollo de tecnologías orientadas a la regeneración de todo tipo de baterías. < <http://www.regenbat.com>> (Consulta: 16 de diciembre de 2015)
- International Lead Association. <<http://www.ila-lead.org/news>> (Consulta: 16 de diciembre de 2015)
- Engitec Technologies.< <http://www.engitec.com/it/engitec-technologies/>> (Consulta: 07 de abril de 2016)
- Pérez i Quintana, Anna. Apuntes Gestión de la empresa. 16 de Abril 2012
- Convenio colectivo laboral para la industria siderometalurgica de la provincia de Teruel para los años 2015 y 2016. < <http://www.convenioscolectivos.net/industria-siderometalurgica-de-la-provincia-de-teruel/>> (Consulta: 11 de enero de 2016)
- RUIZ DE PALACIOS VILLAVERDE, María Mercedes. "Modelo de coste completo" Expansión, < <http://www.expansion.com/diccionario-economico/modelo-de-coste-completo.html> > (Consulta: 27 octubre de 2015)
- RUIZ DE PALACIOS VILLAVERDE, María Mercedes. "Cuadro de reclasificación de cargas indirectas" Expansión, < <http://www.expansion.com/diccionario-economico/cuadro-de-reclasificacion-de-cargas-indirectas.html>> (Consulta: 12 de marzo de 2016)
- GÓNZALEZ GÓMEZ, José Ignacio. *Fases en el diseño e implantación de un sistema de costes en la empresa*. < <http://www.jggomez.eu/C%20Costes%20y%20%20gestion/1%20Fundamentos/Introducc/Fases.pdf>> (Consulta 12 de marzo de 2016)

- BAÑERES SORINAS, Manuel. *Estudio de alternativas en el reciclaje de baterías de plomo fuera de uso.* 2003. < <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3095/31396-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Universitat Politècnica de Catalunya (Consulta: 27 de octubre 2015)
- GALLARDO GÓMEZ, Gloria. *Análisis de viabilidad económica de una planta de reciclado de baterías plomo ácido.* 2014. < <http://www.iit.comillas.edu/pfc/resumenes/537cb868e7794.pdf>> (Consulta 27 de octubre de 2015)
- ARAUZO PÉREZ, José M^a. *Estudio del proceso de gasificación de los residuos obtenidos en una planta de recuperación de baterías.* (2012) Universidad de Zaragoza
- Acuerdo Voluntario para la gestión de baterías plomo-ácido. < <http://www.reciclatubateria.com>> (Consulta: 18 de mayo de 2016)
- WINCKEL, J.W., RICE D,M.; Lead market trends-technology and economics. *Journal of Powers Sources* (73,3-10), 1998
- Real decreto 635/2015, de 10 de julio, Reglamento del Impuesto de Sociedades. < <http://www.boe.es>> (Consulta: 11 de enero de 2016)
- Asociación Española de Contabilidad y Administración y Administración de empresas. <<http://www.aeca.es>> (Consulta: 20 de octubre de 2015)
- Plan General de Contabilidad. < <http://www.boe.es>> (Consulta: 9 de enero de 2016)
-