



UNIVERSIDAD
FASTA

FACULTAD DE
INGENIERÍA



FIM446 - Proyecto Integrador

“Instalación de una planta de reciclado de pilas alcalinas y zinc/carbono en el Partido de General Pueyrredón, Buenos Aires, Argentina”

Proyecto Integrador de la Carrera de Ingeniería Ambiental

Autor:

Mauro Dalla Vía (maurodallavia@ufasta.edu.ar)

Directora:

Mg. Lic. Maria del Carmen Naser

Mar del Plata, 21 de Marzo de 2025

Agradecimientos

Primeramente agradezco a mi familia que fue siempre mi principal soporte. A Lu, quién estuvo al lado mío en todo este camino tan importante para mí. A mi mamá, mi papá y mi hermano quienes siempre me apoyaron. A Funky, mi compañera incondicional de estudio. A Silvia, mi cable a tierra en todo momento.

Por otro lado, agradezco a la Universidad FASTA y todas las personas que la componen por recibirme en su institución y brindarme la oportunidad de transitar la carrera que me ha permitido graduarme como Ingeniero Ambiental. Principalmente a los profesores y mis compañeros de cursada de quienes aprendí tantas cosas en este proceso. Destacó aquí a Maria del Carmen Naser, quien además de ser una gran profesora asumió el compromiso de ser la directora de este proyecto, quién me motivó siempre a avanzar y me guió desde su experiencia profesional y humana. Agradezco también a Silvia Vargas, quien además de ser también una excelente profesora me ayudó a poder llevar a cabo la experiencia de laboratorio incluida en este trabajo.

Índice general

Resumen	7
Summary	7
Introducción	8
Capítulo 1: Marco Teórico	10
1.2 Aspectos generales de una pila	11
1.2.1 ¿Qué es una pila?	11
Figura N°1. Partes de una pila. a) corte transversal de una pila alcalina. b) carcasa. c) cátodo. d) separador. e) ánodo. f) electrolito. g) colector. (Strunz, 2009).	12
1.2.1.1 Clasificación de las pilas	12
Tabla N°1: Tipos de pilas primarias. (Fuente: INTI, 2016. Gestión de pilas y baterías eléctricas en Argentina).	13
Tabla N°2: Composición aproximada de una pila alcalina estándar. (Fuente: De Michelis et al, 2007; Elias et al, 2012).	14
Tabla N°3: Composición metálica de la masa negra de una pila alcalina. (Fuente: Veloso et al, 2005).	14
1.2.2- Efectos negativos de los componentes de las pilas alcalinas, zinc y manganeso, en la salud y el ambiente	15
1.2.2.1 Efectos negativos del manganeso en la salud y el ambiente	15
1.2.2.2 Efectos negativos del zinc en la salud y el ambiente	16
1.3 Marco Legal	17
1.3.1 Normativa Nacional	17
1.3.2 Normativa de la Provincia de Buenos Aires	19
1.3.3 Normativa del Partido de General Pueyrredón	19
1.4 Antecedentes	19
1.4.1 Situación actual de los metales que componen las pilas alcalinas	19
Tabla N°5: Cotización de algunos de los metales que componen las pilas expresados en dólares estadounidenses según “London Metal Exchange” en Marzo 2024. (Fuente: London Metal Exchange, 2024).	20
Gráfico N°2: demanda anual proyectada de minerales bajo el escenario 2DS solo considerando tecnologías para usos energéticos en 2050, en comparación con el nivel de producción de 2018 (Fuente: Hun et al, 2020).	22
1.4.2 Tecnologías disponibles para el tratamiento y disposición final de pilas y baterías	22
1.4.2.1 Reciclado de pilas	24
Antecedentes internacionales	24
Antecedentes nacionales	25
Foto N°1. Planta PlaPiMu LASEISIC.	26
Foto N°2. Generadores biológicos de ácido sulfúrico de la planta PlaPiMu LASEISIC.	26
Antecedentes locales	27

Capítulo 2: Diseño e implementación de una planta de reciclaje de pilas alcalinas y salinas en Mar del Plata	28
2.1 Ubicación	29
Figura N°2. Zona I2 (resaltada en violeta), establecidas por el Código de Ordenamiento Territorial del Partido de General Pueyrredón (COT). (Fuente: COT, 2024).	31
Figura N°3. Zona I2 según lo establecido por el COT, representada en un plano del Partido de General Pueyrredón.	32
2.2 Dimensiones y características	32
2.3 Certificaciones y permisos	34
2.4 Operatoria de la planta	34
2.4.1 Equipos	36
2.4.2 Etapas del proceso	36
2.4.2.1 Pretratamiento	36
Pesaje e identificación	36
Clasificación	36
Almacenamiento transitorio	37
Figura N°6. Plano del Galpón de Almacenamiento.	38
Desmantelamiento	38
Foto N°5. Partes obtenidas al desarmar pilas alcalinas. Arriba: carcasas. Abajo: separadores de papel, colectores y contactos positivos (partes de las carcasas).	40
Foto N°6. Masa negra obtenida del desmantelamiento de pilas alcalinas.	40
2.2.1.2 Tratamiento químico	41
Lixiviación neutra	41
Secado 1	41
Lixiviación ácida selectiva del zinc	41
Gráfico N°3. Rendimientos de extracción obtenidos para el zinc y manganeso en función de la temperatura. ($[H_2SO_4]=0.4\% \text{ V/V}$, relación sólido/líquido=1/30). (Fuente: Veloso et al, 2005).	41
Precipitación selectiva del zinc	42
Gráfico N°4. Precipitación del Zn y Mn con KOH. (Fuente: Veloso et al, 2005).	42
Descomposición térmica del hidróxido de zinc	42
Lixiviación ácida selectiva del Manganeso con peróxido de hidrógeno	42
Gráfico N°5. Rendimientos de extracción obtenidos para el zinc y manganeso en función de la concentración de ácido sulfúrico. ($t=55\text{ }^\circ\text{C}$, relación sólida/líquido=1/30, $[H_2O_2]=2\% \text{ v/v}$). (Fuente: Veloso et al, 2005).	43
Precipitación selectiva del manganeso	43
Descomposición térmica del hidróxido de manganeso	44
2.5 Reinserción y reutilización	46
2.5.1 Óxido de Zinc (ZnO)	46
2.5.2 Óxido de manganeso (MnO)	47
2.6 Cálculo económico	47

Capítulo 3:	52
Experiencia preliminar de laboratorio. Recuperación del zinc	52
Introducción	53
Materiales y equipos	53
Procedimiento	54
Desmantelamiento de pilas	54
Foto N° 7. Desmantelamiento de las pilas.	54
Lixiviación neutra	54
Foto N° 8. Equipo de filtrado preparado para la filtración.	55
Foto N° 10. Masa negra obtenida en la filtración de la solución previo a ser colocada en la estufa.	56
Foto N° 11. Masa negra obtenida luego de ser secada en la estufa a 40° C durante 48 h.	56
Lixiviación ácida	57
Precipitación selectiva del zinc	57
Foto N° 13. Precipitado obtenido luego de llevar la solución a pH 8 mediante la adición de hidróxido de potasio.	58
Foto N° 14. Masa obtenida de la filtración del precipitado previo a ser colocado en la estufa.	58
Resultados	60
Conclusión de la experiencia preliminar en el laboratorio	60
Conclusión general	62
Bibliografía	66
Anexos	70
Cálculos	70

Índice de Tablas

Tabla N°1: Tipos de pilas primarias	14
Tabla N°2: Composición aproximada de una pila alcalina estándar	15
Tabla N°3: Composición metálica de la masa negra de una pila alcalina	15
Tabla N°4: Tipos de pilas secundarias	16
Tabla N°5 : Cotización de algunos de los metales que componen las pilas expresados en dólares estadounidenses según “London Metal Exchange” en Marzo 2024	21
Tabla N°6. Zonificación industrial de acuerdo a la Ley N°11.459 Provincia de Buenos Aires	31
Tabla N° 7: costos edificios	49
Tabla N°8: costo de la instalación eléctrica	50
Tabla N°9: costo de los artefactos a gas	50
Tabla N°10: costo sistema anti incendio	51
Tabla N°11: costos de equipamiento	51
Tabla N°12: costo inicial aproximado del proyecto	52

Índice de Figuras

Figura N°1. Partes de una pila	13
Figura N°2: cambio relativo en la demanda de minerales por tecnologías energéticas hasta 2050 bajo los escenarios RTS, Ref, B2DS, y REmap	22
Figura N°3: demanda anual proyectada de minerales bajo el escenario 2DS solo considerando tecnologías para usos energéticos en 2050	23
Figura N°4. Planta PlaPiMu LASEISIC	27
Figura N°5. Generadores biológicos de ácido sulfúrico de la planta PlaPiMu LASEISIC	27
Figura N°6. Zona I2, establecidas por el Código de Ordenamiento Territorial del Partido de General Pueyrredón (COT)	32
Figura N°7. Zona I2 según lo establecido por el COT, representada en un plano del Partido de General Pueyrredón	33
Figura N°8. Plano de la planta de reciclaje de pilas	34
Figura N°9. Diagrama de Flujo del proceso para el reciclado de pilas	36
Figura N°10. Plano del Galpón de Almacenamiento	39
Figura N°11. Operario utilizando la máquina cortadora de pilas de la planta PlaPiMu LASEISIC	40
Figura N°12. Máquina cortadora de pilas de la planta PlaPiMu LASEISIC	40
Figura N°13. Partes obtenidas al desarmar pilas alcalinas. Arriba: carcasas. Abajo: separadores de papel, colectores y contactos positivos (partes de las carcasas)	41
Figura N°14. Masa negra obtenida del desmantelamiento de pilas alcalinas	41
Figura N°15. Rendimientos de extracción obtenidos para el zinc y manganeso en función de la temperatura. ([H ₂ SO ₄]=0.4% v/v, relación sólido/líquido=1/30)	42
Figura N°16. Precipitación del Zn y Mn con KOH	43
Figura N°17. Rendimientos de extracción obtenidos para el zinc y manganeso en función de la concentración de ácido sulfúrico. (t=55 °C, relación sólido/líquido=1/30, [H ₂ O ₂]=2 % v/v)	44
Figura N°18. Rendimientos de extracción obtenidos para el zinc y manganeso en función de la concentración de peróxido de hidrógeno. (t=55 °C, relación sólido/líquido=1/30, [H ₂ SO ₄]=3 % v/v)	44
Figura N°19. Balance de masas semanal del proceso de tratamiento de las pilas	46
Figura N°20. Desmantelamiento de las pilas	55
Figura N°21. Equipo de filtrado preparado para la filtración	56
Figura N°22. Filtro de membrana de 0,45 um colocado en el embudo previo a la filtración	56
Figura N°23. Masa negra obtenida en la filtración de la solución previo a ser colocada en la estufa	57
Figura N°24. Masa negra obtenida luego de ser secada en la estufa a 40° C durante 48 h	57
Figura N°25. PH metro colocado en la solución ácida y bureta enrasada con la solución de hidróxido de potasio obtenida en la lixiviación neutra listos para ser utilizados.	58
Figura N°26. Precipitado obtenido luego de llevar la solución a pH 8 mediante la adición de hidróxido de potasio	59
Figura N°27. Masa obtenida de la filtración del precipitado previo a ser colocado en la estufa	59
Figura N°28. Sólido seco obtenido como producto final del proceso	60

Resumen

Las pilas en desuso representan un riesgo al ambiente y la salud si no son tratadas correctamente. A su vez se desperdician materiales valiosos que podrían ser reutilizados en nuevos circuitos productivos colaborando con una economía circular. A nivel mundial, salvo algunas excepciones, esto se ignora y las pilas en desuso son tratadas como un desecho más dentro de los residuos sólidos urbanos (RSU). Las respuestas que se brindan para este proceder se centran en la dificultad técnica y económica para gestionar estos residuos de forma diferenciada. Sin embargo, existen tratamientos técnicamente viables y materialmente posibles de ser implementados. En este trabajo se plantea la instalación de una planta de tratamiento de pilas alcalinas y zinc/carbono en el partido de General Pueyrredón, Buenos Aires, Argentina. Se propone de esta manera recuperar el zinc y manganeso presente en estas pilas en forma de óxidos, para poder ser utilizados como materias primas en otros procesos productivos, proporcionando así un nuevo uso para estos materiales y evitar el impacto ambiental que genera su disposición final.

Summary

Used batteries pose a risk to the environment and health if not properly treated. Additionally, valuable materials that could be reused in new productive circuits, contributing to a circular economy, are wasted. Globally, with a few exceptions, this issue is ignored, and used batteries are treated as just another part of municipal solid waste (MSW). The reasons given for this approach focus on the technical and economic challenges of managing these wastes separately. However, there are technically viable and materially feasible treatment methods that can be implemented. This work proposes the installation of a treatment plant for alkaline and zinc-carbon batteries in the district of General Pueyrredón, Buenos Aires, Argentina. The aim is to recover the zinc and manganese present in these batteries in the form of oxides, which can be used as raw materials in other production processes, thus providing a new use for these materials and preventing the environmental impact of their final disposal.

Introducción

Una pila eléctrica es un dispositivo que convierte energía química en energía eléctrica a través de una reacción química de oxidación-reducción. Debido a su versatilidad, bajo mantenimiento, costo reducido y los requisitos de la industria electrónica su consumo tiende a aumentar año a año (De Souza et al., 2001). Algunas pilas no son recargables (pilas primarias), mientras que otras sí lo son (pilas secundarias). Dentro de las pilas primarias las más ampliamente utilizadas a nivel mundial son las pilas alcalinas y las pilas zinc/carbono.

Una vez finalizada la vida útil de las pilas, su disposición representa un problema ambiental debido a que su composición incluye diversos metales considerados como residuos peligrosos: zinc, manganeso, mercurio, plata, litio, níquel, cobre, hierro y cadmio. La variabilidad en la composición de los distintos tipos de pilas y sobre todo el alto costo de tratamiento y disposición segura de este material peligroso genera un desafío en distintos países quienes en la gran mayoría de los casos optan por no tratar las pilas de manera diferenciada sino incluirlas dentro de los residuos sólidos urbanos (RSU). En consecuencia, las pilas son depositadas en rellenos sanitarios o en basurales a cielo abierto. Las pilas allí depositadas pueden sufrir la corrosión de sus carcasas por sus componentes internos y externamente por la acción climática y/o por el proceso de descomposición de los RSU. Cuando esto sucede, los metales pesados que conforman la pilas escapan de estas. Estos metales pueden lixiviar a través de los suelos y fluir por cursos de agua superficial y acuíferos, contaminando el ambiente en general. Los cationes de metales pesados son tóxicos en concentraciones bajas y tienen tendencia a acumularse en los seres vivos, con el agravante de que no son biodegradables. En el caso de quemarse en condiciones inadecuadas generan gases tóxicos que contaminan la atmósfera (Dubois et al, 2021).

Por otra parte, la obtención de las materias primas para la fabricación de las pilas implica el consumo de recursos naturales no renovables, un gasto energético elevado y también un alto costo económico. Los metales que componen las pilas son recursos valiosos que podrían ser aprovechados para ser reinsertados en nuevos circuitos productivos. Su recuperación tendría un impacto positivo sobre el ambiente y significaría también un potencial negocio (Islam et al 2022; Oliveira et al. 2015). Por esta razón, las pilas usadas podrían ser uno de los flujos de residuos más importantes para el desarrollo de la economía circular (Porvali et al. 2020).

En Argentina, la totalidad de las pilas utilizadas son importadas. Con respecto a su disposición, hay una excepción en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires que cuenta con una legislación para la gestión diferenciada de los residuos de pilas y baterías, en el resto del país los residuos de pilas y baterías son incluidos dentro de los residuos sólidos urbanos (RSU). Este es el caso del Partido de General Pueyrredón. Según los

datos disponibles se estima que la cantidad de pilas desechadas en el partido es de 1.54 pilas por habitante por año, lo cual equivale a 23650 kg de pilas por año.

El Partido de General Pueyrredón cuenta con un sistema de recolección de residuos proporcionado por la empresa 9 de Julio S.A, la empresa recolecta los residuos sólidos domiciliarios, realiza el barrido mecánico, manual o mixto de calles y avenidas y la recolección de los residuos sólidos de poda, muebles, equipos y montículos. Los residuos recolectados tienen su disposición final en el relleno sanitario ubicado en la localidad de Batán. Sin embargo, no todos los residuos llegan allí sino que existen en el partido diferentes micro basurales a cielo abierto (Barragán, 2022), donde se acumulan los mismos.

En función de lo anteriormente mencionado, con el propósito de resolver los riesgos que ocasionan la presencia de pilas en desuso en el ambiente y poder recuperar los materiales que las componen para su inserción en nuevos procesos productivos, en este trabajo se propone la instalación de una planta de reciclado para pilas alcalinas y de zinc/carbono en el partido de General Pueyrredón. Se elige para esto un proceso hidrometalúrgico para la disolución de los componentes y posteriormente una precipitación selectiva para la recuperación del zinc y manganeso presentes en estas pilas. El producto final del proceso es óxido de zinc y óxido de manganeso.

Capítulo 1: Marco Teórico

1.2 Aspectos generales de una pila

1.2.1 ¿Qué es una pila?

Una pila es un dispositivo que convierte energía química en energía eléctrica por una reacción química de oxidación-reducción. En este proceso las características químicas de los componentes resultan alteradas. Cuando no pueden volver a su forma original, una vez que la energía ha sido consumida se denominan pilas primarias o no recargables; mientras que si las características químicas pueden ser reconstituidas se llaman pilas secundarias, pilas recargables o acumuladores, (INTI,2016).

Los principales componentes de una pila son: la carcasa, el cátodo, el separador, el ánodo, el electrolito y el colector (Strunz, 2009; Fig. 1). La carcasa es el dispositivo de acero donde se colocan los componentes que permiten la reacción. El cátodo o electrodo positivo, es el componente donde ocurre la reacción electroquímica de reducción durante la generación de la corriente eléctrica. La mayoría de los materiales catódicos comunes son óxidos metálicos como manganeso (Mn) y cobalto (Co). El separador es el elemento fibroso que se coloca para evitar que el cátodo tome contacto con el ánodo, se utiliza en general algún tipo de papel. El ánodo o electrodo negativo es el componente donde ocurre la reacción electroquímica de oxidación durante la descarga de la pila. El ánodo suele ser un metal con afinidad por el oxígeno, como el zinc, el cadmio y el litio. El electrolito, es la sustancia conductora que se encuentra en contacto con los electrodos. Permite el movimiento de los electrones durante las reacciones redox. Puede ser una solución de sales, ácida o básica y estar en estado líquido, en pasta o sólido. El colector es un pasador de latón sencillo en medio del elemento que conduce electricidad al circuito exterior (Strunz, 2009).

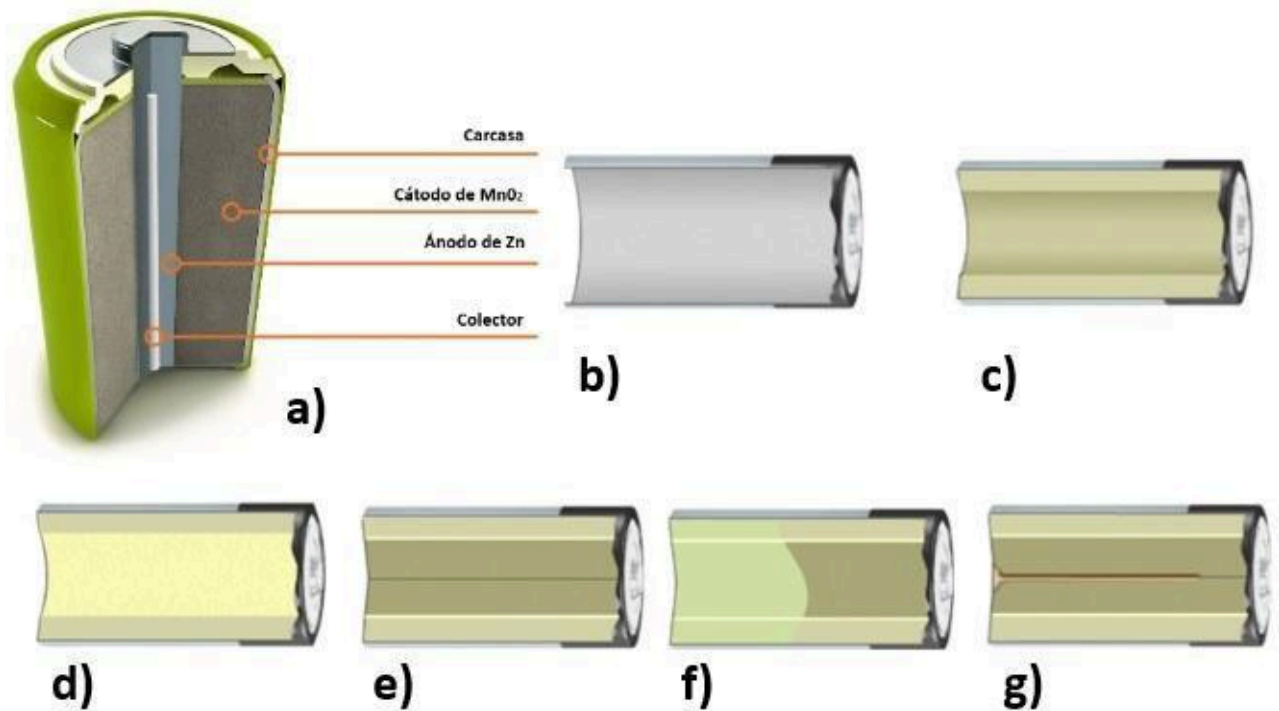


Figura N°1. Partes de una pila. a) corte transversal de una pila alcalina. b) carcasa. c) cátodo. d) separador. e) ánodo. f) electrolito. g) colector. (Strunz, 2009).

1.2.1.1 Clasificación de las pilas

Como se mencionó anteriormente, una pila convierte la energía química almacenada en energía eléctrica. Si esta reacción, de acuerdo con los elementos que se utilizan para generarla, es irreversible, la pila es clasificada como primaria. Por otro lado, si esta reacción es reversible, la pila es recargable y se denomina secundaria o batería, (Strunz, 2009).

La Tabla N°1 muestra los distintos tipos de pilas primarias existentes según su composición química.

Tabla N°1: Tipos de pilas primarias. (Fuente: INTI, 2016. Gestión de pilas y baterías eléctricas en Argentina).

Tipo	Nombre	Composición			Clasificación Ley 24.051		Usos y Características
		Electrodo	Notación	Compuesto	Anexo1	Anexo2	
Primarias (No recargables)	Zn/C	cátodo	C	carbono de grafito	Y23. las no certificadas pueden incluir Y29 Y26 e Y31	H6.1 H11 H12	equipamiento eléctrico y electrónico sencillo y de bajo consumo llamadas "pilas comunes"
		ánodo	MnO ₂	dioxido de manganeso			
		electrolito	Zn	zinc chapa metálica			
	Zn/MnO ₂ o alcalinas	cátodo	MnO ₂	dióxido de manganeso	Y23 e Y35. Las no certificadas pueden contener además Y23, Y29 e Y35	H6.1 H11 H12 H8	equipamiento eléctrico y electrónico sencillo vida útil hasta 10 veces más que las de Zn/C Vienen blindadas para evitar derrames de los constituyentes
			C	carbono			
		KOH	hidróxido de potasio				
		ánodo	Zn	polvo de zinc			
	óxido de mercurio (II)	cátodo	HgO	óxido mercuríco	Y23 Y29	H6.1 H11 H12	equipamiento médico y audífonos. Tipo botón. Contienen alrededor de un 30% de mercurio
			C	carbono			
		ánodo	Zn	polvo de zinc			
	Zn/aire	cátodo	Hg	mercurio	Y23 Y29 Y35	H6.1 H11 H12 H8	equipamiento médico y audífonos. Contienen más de un 1% de mercurio
			Hg	mercurio			
		electrolito	KOH	hidróxido de potasio			
	óxido de plata	cátodo	Ag ₂ O	óxido de plata	Y23 Y29 Y35	H6.1 H11 H12 H8	relojes, calculadoras, cámaras fotográficas. Usualmente de tipo botón contienen alrededor de 1% de mercurio.
			MnO ₂	dióxido de manganeso			
		ánodo	Zn	amalgama de zinc			
		electrolito	Hg	mercurio			
Li	cátodo	KOH ó NaOH	hidróxido de potasio o hidróxido de sodio	S/ condic H1		equipos electrónicos pequeños, industria y militar. Tipo botón o cilíndricas. Producen tres veces más energía que las alcalinas y mayor voltaje inicial	
		ZnO	óxido de zinc				
	electrolito		disolvente organico				
Ni/ Co	cátodo	NiO(OH)	hidróxido de níquel				
		Ni(OH) ₂					
	ánodo	Co / Co(OH) ₂	hidróxido de cobalto				
	electrolito	KOH + Li(OH)	hidróxido de potasio e hidróxido de litio				

En Argentina las pilas primarias representan aproximadamente el 92% del total de las pilas. Dentro de estas las pilas Zn/C o salinas y las pilas Zn/MnO₂ son las más utilizadas significando el 97,5% del total de las pilas primarias del país (INDEC.2021). Valores similares se encuentran en el resto del mundo. En la Tabla N°2 se puede visualizar la composición aproximada de una pila alcalina estándar (De Michelis et al, 2007). La Tabla N°3 muestra el contenido metálico de la masa negra de una pila alcalina (Velooso et al, 2005).

Tabla N°2: Composición aproximada de una pila alcalina estándar. (Fuente: De Michelis et al, 2007; Elias et al, 2012).

Material	%
masa negra	57
hierro	37
papel y plástico	5
otros	1

Tabla N°3: Composición metálica de la masa negra de una pila alcalina. (Fuente: Veloso et al, 2005).

Metal	Contenido (%m/m)
Zn	17,05
Mn	36,53
K	4,53
Na	0,13
Hg	<0,002
Fe	0,07

La Tabla N°4 muestra los distintos tipos de pilas secundarias/baterías existentes según su composición química.

Tabla N°4: Tipos de pilas secundarias. (Fuente: INTI, 2016. Gestión de pilas y baterías eléctricas en Argentina).

Tipo	Nombre	Composición			Clasificación Ley 24.051		Usos y Características	
		Electrodo	Notación	Compuesto	Anexo1	Anexo2		
Secundarias (recargables)	Ni/Cd	cátodo	Ni(OH) ₂	hidróxido de níquel	Y26	H6.1	equipamiento eléctrico y electrónico de bajo consumo (celulares, laptops) relativa baja tensión. vida útil hasta 1000 recargas	
		ánodo	Cd	cadmio	Y35	H11		
		electrolito	KOH	hidróxido de potasio		H12		
					H8			
	Ni/HM	cátodo	NiO	hidróxido de níquel	Y35	S/		sistema similar al Ni/Cd La densidad de energía producida es el doble de la producida por Ni/Cd, a voltajes operativos similares.
		ánodo		hidruro metálico		condic		
		electrolito	KOH	hidróxido de potasio		H6.1		
					H11			
					H8			
	Ion-Li	cátodo		hidróxidos metálicos con litio	Y42	S/	telefonía celular computadoras, cámaras fotográficas y de video.	
		ánodo		carbón de grafito		condic		
		electrolito		sales de litio y solventes orgánicos		H1		
Pb	cátodo	PbO	hidróxido de plomo	Y31	H5.1	automotores (arranque de motores), industrial y domésticos		
	ánodo	Pb	plomo	Y34	H6.1			
	electrolito	H ₂ SO ₄	ácido sulfúrico		H11, H12, H8			

1.2.2- Efectos negativos de los componentes de las pilas alcalinas, zinc y manganeso, en la salud y el ambiente

1.2.2.1 Efectos negativos del manganeso en la salud y el ambiente

El manganeso puede tener efectos adversos en la salud de humanos y animales. La inhalación de compuestos de manganeso puede causar una respuesta inflamatoria en los pulmones, lo que puede resultar en tos, bronquitis, neumonitis y reducciones menores en la función pulmonar. Además, la exposición inhalatoria a niveles altos de compuestos de manganeso puede causar un síndrome neurológico discapacitante conocido como manganismo, que se caracteriza por síntomas progresivos como afecto embotado, alteración de la marcha, temblores finos y posiblemente trastornos psiquiátricos.

Los primeros signos de manganismo suelen ser subjetivos e incluyen debilidad generalizada, pesadez o rigidez de las piernas, pérdida de apetito, dolor muscular, nerviosismo, irritabilidad y dolor de cabeza. Además, la exposición crónica a niveles más bajos de manganeso puede causar déficits en la capacidad para realizar movimientos rápidos con las manos, pérdida de coordinación y equilibrio, así como síntomas leves como olvidos, ansiedad o insomnio.

Los estudios en humanos y animales indican que los compuestos inorgánicos de manganeso tienen una toxicidad aguda muy baja por cualquier vía de exposición. Sin embargo, la exposición ocupacional a niveles elevados de polvo de manganeso en el lugar de trabajo puede provocar daños en el sistema nervioso central, siendo esta la principal preocupación para la salud después de la exposición al manganeso. Aunque hay evidencia limitada sobre los efectos neurológicos severos asociados con la exposición oral al manganeso, se han reportado efectos negativos como disminución de la libido, impotencia y disfunción sexual en trabajadores expuestos al polvo de manganeso en el aire (ATSDR, 2024).

A su vez, el manganeso puede causar inflamación en la pared celular de las plantas, abrasamiento de las hojas y puntos marrones, así como también causar esterilidad en los suelos.

1.2.2.2 Efectos negativos del zinc en la salud y el ambiente

Las partículas de óxido de zinc ultrafinas pueden tener efectos adversos en la salud tanto de humanos como de animales. La inhalación de estas partículas puede provocar efectos neurológicos no específicos como dolores de cabeza y malestar, así como síntomas gastrointestinales como vómitos, calambres abdominales y diarrea, incluso con presencia de sangre en algunos casos. Además, la exposición crónica al zinc puede causar cambios hematológicos y daños en tejidos gastrointestinales. A su vez, es biomagnificable en ciertos peces.

El consumo excesivo de zinc puede ser tóxico y causar síntomas como letargo, mareos, dificultad para escribir claramente y alteraciones en la función pancreática. Además, la exposición oral a niveles altos de zinc ha sido asociada con anemia, disminución de los niveles de colesterol HDL y daño pancreático. Aunque el zinc es necesario para la función cerebral normal, su exceso puede tener efectos nocivos en el organismo (ATSDR, 2024).

Por otro lado, el zinc puede interrumpir la actividad en los suelos mediante influencias negativas en la actividad de microorganismos y lombrices.

1.3 Marco Legal

1.3.1 Normativa Nacional

Constitución Nacional

La reforma constitucional del año 1994 establece en su Artículo 41 el derecho a un ambiente sano, equilibrado y apto para el desarrollo humano presente y futuro. En ese mismo artículo, la Constitución Nacional da forma al instrumento de “Leyes de Presupuestos Mínimos” que serán sancionadas por el gobierno nacional y complementadas por las provincias en sus jurisdicciones. Así, el gobierno nacional establece los preceptos de base y uniformes para cumplir con el derecho a un ambiente sano y asegurar la protección ambiental.

Ley N° 23.922 Aprobación del Convenio de Basilea sobre el Control de Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación (1991) y Decreto 662 (1991)

Esta Ley establece qué residuos son considerados peligrosos y pueden ser parte de un movimiento entre países (importación, exportación o tránsito) y su eliminación. Determina los procedimientos a seguir en estos casos.

Ley N° 24.051 Residuos Peligrosos (1992) y Decreto 831 (1993)

Esta Ley regula la generación, manipulación, transporte, tratamiento y disposición de estos residuos. Se crea a su vez, el registro obligatorio de generadores, transportistas y operadores. También especifica en sus anexos cuáles son los residuos que se consideran peligrosos y sus características. Los de pilas, son considerados residuos peligrosos por poseer entre sus componentes zinc, soluciones ácidas y/o básicas o ácidos/bases en forma sólida o disolventes orgánicos; así como por tener características de peligrosidad, tales como toxicidad, ecotoxicidad, corrosión u oxidación.

Establece también que la autoridad de aplicación nacional llevará y mantendrá actualizado un Registro Nacional de Generadores y Operadores de Residuos Peligrosos, en el que deberán inscribirse las personas físicas o jurídicas responsables de la generación, transporte, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos. En cuanto a las plantas de tratamiento y disposición final, la ley menciona que dichas plantas serán consideradas como tales cuando modifiquen las características del residuo eliminando sus propiedades nocivas, recuperando energía o materiales, obteniendo un residuo menos peligroso, susceptible de ser recuperado o más seguro

para su transporte o disposición final. Por tratarse de una ley de adhesión, las provincias pueden suscribirse de forma parcial o total o bien dictar sus propias leyes.

Resolución N° 544 (1994)

Establece que los vendedores de acumuladores eléctricos están obligados a recibir el acumulador usado durante la operación de venta. Los vendedores de acumuladores eléctricos en la operación de compra-venta están obligados a recibir el acumulador usado. Deberán contar con un registro en el que se asentará la identificación de los usuarios que han entregado los acumuladores en desuso. El tiempo máximo de almacenaje temporario contado desde la entrega del acumulador eléctrico usado por parte del usuario al minorista hasta la llegada a destino en la planta de tratamiento, será de diez días.

Ley N° 25.916 Presupuestos mínimos para la gestión integral de residuos domiciliarios (2004)

Establece las etapas de gestión: generación, disposición inicial, recolección, transferencia, transporte, tratamiento y disposición final. Determina que la responsabilidad sobre la gestión de estos residuos es de los gobiernos locales.

Ley N° 26.184 Energía portátil (2006)

Prohíbe la fabricación, ensamble e importación de pilas y baterías primarias (no recargables), cuyo contenido sea superior al: 0,0005 % en peso de mercurio; 0,015 % en peso de cadmio; 0,200 % en peso de plomo.

Resolución N° 522-E/2016 Manejo sustentable de residuos especiales de generación universal (REGU) (2018)

Establece los objetivos, definiciones y lineamientos para el desarrollo de una estrategia nacional para el manejo sustentable de REGU, dentro de los cuales se encuentran las pilas y baterías. En este marco, menciona la jerarquía de opciones bajo la cual se deben priorizar las distintas etapas de la gestión de REGU, similar a la de la Ley N° 25.916: 1) prevenir; 2) reutilizar; 3) recuperar materiales, 4) recuperar energía; 5) tratamiento y 6) disposición final.

1.3.2 Normativa de la Provincia de Buenos Aires

Ley N° 11.720. Residuos Especiales (1995) y Decreto 806 (1997)

Regula la gestión integral de residuos especiales, estableciendo directrices para su generación, manipulación, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final. Sus principales objetivos son la disminución de la cantidad de residuos, reducción de los riesgos potenciales asociados al tratamiento, transporte y disposición de estos y la promoción del uso de tecnologías ambientalmente adecuadas para la gestión de residuos especiales.

Resolución N° 592 (2000)

Establece los requisitos técnicos a cumplir para todo establecimiento que almacene en sus instalaciones residuos especiales generados por la actividad de dicho establecimiento.

1.3.3 Normativa del Partido de General Pueyrredón

Ordenanza N° 9096 (1993)

Establece un marco regulatorio para la gestión de pilas eléctricas en desuso. Expresa que las pilas eléctricas en desuso, recibidas por el adjudicatario de la disposición final, recibirán un proceso especial que consistirá en su almacenado, conjuntamente con una sustancia neutralizante, en bolsas de polietileno de alta densidad, de 70 micrones de espesor. Dichas bolsas luego de ser cerradas herméticamente serán alojadas en hormigón.

1.4 Antecedentes

1.4.1 Situación actual de los metales que componen las pilas alcalinas

Los metales que componen las pilas poseen cotización en los principales mercados mundiales para la negociación de metales industriales. Uno de los mercados más importantes: London Metal Exchange, posee las cotizaciones que se pueden ver en la Tabla N°5, la cual muestra los precios en dólares por tonelada de algunos de estos metales.

Tabla N°5: Cotización de algunos de los metales que componen las pilas expresados en dólares estadounidenses según “London Metal Exchange” en Marzo 2024. (Fuente: London Metal Exchange, 2024).

Metal	Precio
	(USD x tonelada)
Zn	2524
Co	28550
Ni	18077
Ki (LiOH)	13228

A su vez, distintos estudios muestran un aumento en la demanda de los metales presentes en las pilas. Por ejemplo, la demanda del manganeso ha crecido en los últimos años en función a su utilización como elemento de aleación dentro de la industria del aluminio, del acero y la producción de pilas y baterías (Zhang, 2007). Un estudio publicado por el Banco Mundial en 2020 estima el incremento de distintos metales utilizados en la producción de distintas formas de energía para 2050. Dentro de estos estudios se encuentran varios de los metales utilizados en la producción de pilas como ser: zinc, manganeso, cobre, níquel, cadmio, hierro y plata (Banco Mundial, 2020).

La Figura N°2 muestra el porcentaje de cambio relativo esperado para 2050, desde el escenario base (2018) en el suministro de tecnologías de generación de electricidad únicamente. En uno de los escenarios posibles, el escenario REmap, se espera por ejemplo que la demanda del zinc y del hierro aumente en más del 200 % para 2050 respecto al escenario base.

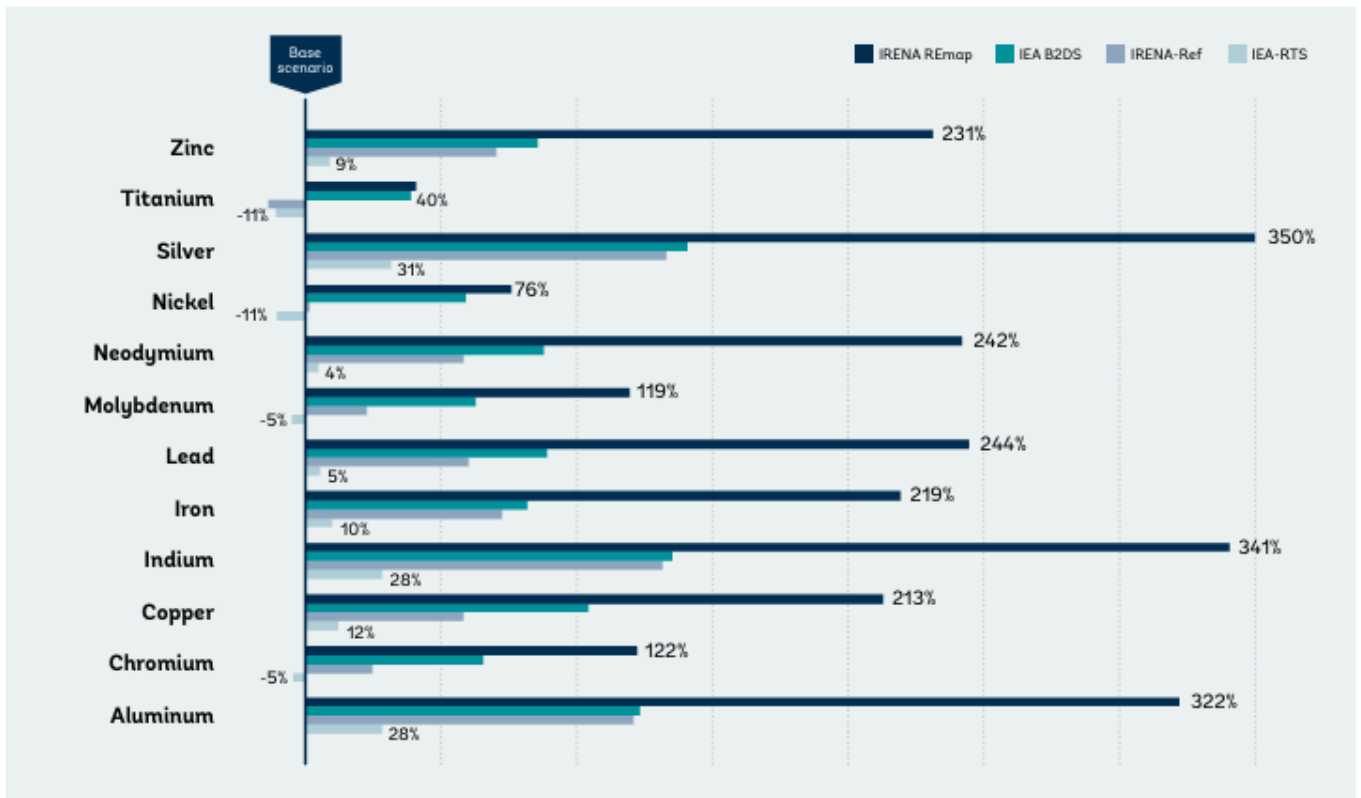


Figura N°2: cambio relativo en la demanda de minerales por tecnologías energéticas hasta 2050 bajo los escenarios RTS, Ref, B2DS, y REmap, comparado con el escenario base. (Fuente: Hun et al, 2020).

En la Figura N°3 se expresa el aumento en millones de toneladas proyectado para 2050 de los distintos metales tomando como base la demanda en 2018 de los mismos. Por ejemplo, considerando los metales más utilizados en la producción de pilas, zinc y manganeso, se estima un aumento mayor al millón de toneladas para el primero y de 0.7 millones de toneladas para el segundo.

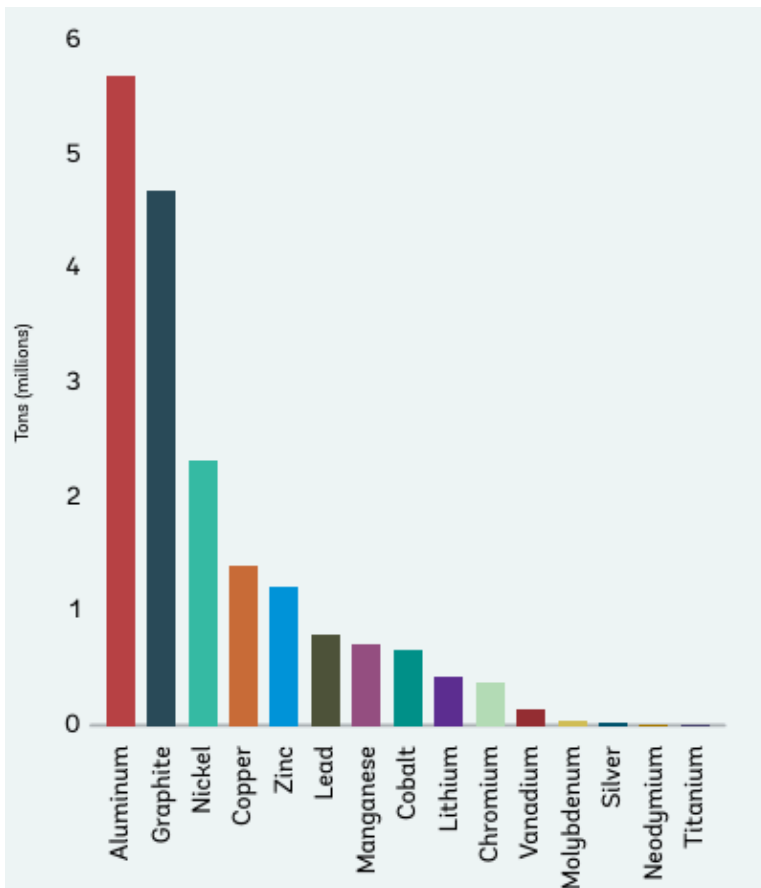


Figura N°3: demanda anual proyectada de minerales bajo el escenario 2DS solo considerando tecnologías para usos energéticos en 2050, en comparación con el nivel de producción de 2018 (Fuente: Hun et al, 2020).

1.4.2 Tecnologías disponibles para el tratamiento y disposición final de pilas y baterías

Como se mencionó anteriormente, en la mayoría de los casos, las pilas en desuso son incluidas como parte de los RSU, esto no siempre es así y existen tecnologías disponibles para el tratamiento y/o disposición final de pilas y baterías. Estas pueden categorizarse en:

- **Disposición final en rellenos de seguridad:** estos rellenos a diferencia de un relleno sanitario están preparados para la disposición final de residuos peligrosos. Esta variante es la más económica, pero encuentra dos limitaciones. Por un lado, la escasa cantidad de rellenos disponibles de este tipo y por el otro la imposibilidad de recuperar los componentes de las pilas.
- **Tecnologías para la inmovilización de los constituyentes peligrosos:** vitrificación, cementación y ceramización, son algunas de las tecnologías que se han propuesto, las cuales presentan diversas variantes técnicas. Una de las más

utilizadas incluye la inmovilización de las pilas dentro de tubos de PVC y estos, una vez sellados, son depositados como relleno en columnas de hormigón. Este tipo de tecnologías presentan serios problemas en cuanto a la dificultad de inmovilizar los componentes de las pilas. Existen diversos ejemplos en los que los componentes de las pilas han corroído todas las barreras físicas impuestas y han escapado al ambiente.

- **Exportación:** para su tratamiento y/o reciclado en países que dispongan de tecnologías existentes. Esta opción presenta la desventaja del alto costo de realizarla además de la imposibilidad de recuperar los componentes de las pilas.
- **Reciclado de componentes:** existen básicamente dos procesos para la recuperación de metales a partir de pilas y baterías agotadas: pirometalúrgico e hidrometalúrgico (o combinaciones y variaciones de ambos). Los procesos pirometalúrgicos involucran la transformación y separación de componentes a partir del tratamiento térmico del residuo en medio reductor (combustión con coque) y separación de los metales volátiles. Los procesos pirometalúrgicos han sido los más utilizados y existen en el mundo grandes plantas de tratamiento de pilas que los aplican. Sin embargo, al trabajar a temperaturas altas el gasto energético de estos es extremadamente elevado y genera un alto contenido de emisiones gaseosas como ser dioxinas, compuestos de cloruro, mercurio, zinc, y cadmio. Por lo cual se requiere un alto control de estas emisiones para operar estos procesos (Nogueria and Margarido, 2004). Por estas razones los procesos pirometalúrgicos están siendo gradualmente reemplazados por procesos hidrometalúrgicos. Los procesos hidrometalúrgicos requieren una etapa previa de separación de los distintos componentes de las pilas. Estos procesos consisten, en general, en la disolución parcial o total de metales que componen la masa negra, en agua con ácidos o bases fuertes y extracción selectiva de metales para su posterior uso en otros procesos productivos. Los procesos hidrometalúrgicos poseen algunos beneficios en comparación con los pirometalúrgicos como su menor costo energético, recuperación de reactivos químicos del proceso y disminución de la contaminación atmosférica ya que no se producen emisiones gaseosas. Sin embargo, la generación de efluentes líquidos es su principal desventaja (Sayilgan et al, 2009).

1.4.2.1 Reciclado de pilas

Antecedentes internacionales

Debido a la regulación establecida por la legislación europea sobre los residuos de pilas y baterías, los productores y distribuidores de pilas deben hacerse cargo del tratamiento de estos residuos. Existen distintas empresas que ofrecen este servicio en Europa. Entre ellas se destacan:

- European Recycling Platform ERP. Definido como “Sistema Colectivo de Responsabilidad Ampliada del Productor (SCRAP)”. ERP ofrece a los productores y/o distribuidores de pilas y baterías, responsables según la legislación del tratamiento de sus residuos, un servicio de recogida de todo tipo de pilas y baterías en desuso y un posterior reciclaje de las mismas. Funciona en distintos países de Europa (Austria, Alemania, Dinamarca, Eslovaquia, España, Finlandia, Francia, Irlanda, Italia, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, Suecia) y fuera de Europa (China, India, Israel, Japón).
- GRS Batterien. Ofrece en Alemania, una red de recolección a nivel nacional de pilas y baterías usadas y un posterior reciclado de estas. Reciclan todo tipo de pilas y baterías. En el caso de las pilas alcalinas y de zinc carbono estas se funden en un horno de arco eléctrico (proceso pirometalúrgico) y se recuperan posteriormente el zinc y ferromanganeso.
- REBAT. De forma similar GRS Batteries ofrece también dentro de Alemania, un servicio de recolección y reciclado de todo tipo de pilas. En el caso de las pilas alcalinas recuperan zinc, manganeso y hierro.
- BATREC. Es una empresa suiza especializada en el reciclaje de residuos industriales especiales. Mediante un proceso pirometalúrgico reciclan cualquier tipo de pilas y baterías.

A diferencia de las empresas ya mencionadas, cabe destacar un proyecto distinto, implementado en España por la Universidad de Málaga, que reúne características similares a las que se plantean en este trabajo. En Málaga, funcionó entre 2011 y 2015 una planta de reciclaje de pilas alcalinas y salinas llamada Ecopilas, dependiente de la Universidad de Málaga. Esta planta recibía, clasificaba y trataba pilas alcalinas y salinas. A través de un proceso hidrometalúrgico lograron recuperar zinc, manganeso, hierro y carbono.

Antecedentes nacionales

Existen pocos antecedentes de iniciativas a nivel nacional en lo que respecta a una gestión diferenciada de las pilas como residuos. A nivel nacional, en cuanto a reciclaje de pilas primarias se destacan cuatro iniciativas que tienen o han tenido cierto desarrollo:

- En 2012 la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) puso en marcha una planta piloto para el tratamiento de pilas alcalinas y de zinc/carbono llamado PlaPiMu-Laseisic, dependiente de la Facultad de Ciencias Exactas y de la Comisión de Investigaciones Científicas (CIC) de la provincia de Buenos Aires (Dubois et al, 2021). Esta planta recuperaba zinc y manganeso con un proceso hidrometalúrgico. El proceso iniciaba con una clasificación de las pilas de forma manual. Las pilas alcalinas y de zinc carbón eran abiertas y desarmadas de forma artesanal, se separaba por un lado la cobertura metálica y papel y por el otro la masa negra, que refiere a la mezcla del ánodo de zinc y el cátodo de manganeso con carbono. Esta se colocaba en un tanque de lixiviación con ácido sulfúrico para su disolución. Posteriormente se filtraba obteniendo una fase sólida formada por dióxido de manganeso y una fase líquida compuesta por zinc y manganeso en solución. Esta solución posteriormente pasaba por un reactor de recuperación obteniendo así zinc y manganeso y como efluente una solución ácida que se neutralizaba y descartaba. Uno de los aspectos destacados de este proceso era que gran parte del ácido sulfúrico utilizado se generaba de forma biológica por medio de bacterias acidófilas. La PlaPiMu tenía capacidad de tratar hasta 100 kg de pilas/mes.

Al día de la fecha el proyecto se encuentra suspendido y la planta, fuera de operación.



Figura N°4. Planta PlaPiMu LASEISIC.



Figura N°5. Generadores biológicos de ácido sulfúrico de la planta PlaPiMu LASEISIC.

- En 2015 existió un proyecto de instalar una planta de reciclado de pilas en Ezeiza, liderado por el Mg. Ing. Alberto Carlos Gauna, quien acreditaba más de 45 años de experiencia de trabajo en la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). Este contaba con el apoyo del Ministerio de Producción, Ciencia y Tecnología de la Provincia de Buenos Aires, el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) y la UTN Facultad Regional Avellaneda. El proyecto se basaba en la recuperación de zinc, manganeso, elementos no ferrosos y potasio de pilas en desuso para su posterior inserción en el mercado productivo. La planta proyectada era de 20000 m² donde trabajarían 110 profesionales, entre técnicos, ingenieros y personal auxiliar. Por razones desconocidas en este trabajo, no se llegó a concretar.
- Desde 2020 en Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) existe un sistema integral de gestión de pilas y baterías llamado Rippila. Este ofrece distintos puntos de recolección de pilas donde los vecinos pueden acercarse a llevar las suyas. Estos se encuentran tanto en empresas privadas como en las Farmacias del Dr. Ahorro o estaciones de servicio Axion Energy o en espacios públicos llamados “puntos verdes” designados por las autoridades de CABA. Las pilas son recolectadas por vehículos de Rippila y llevadas a un centro de almacenamiento primario. Allí las identifican, las pesan, las escanean y las almacenan. Posteriormente son trasladadas hacia el centro de tratamiento IDM en la ciudad de San Lorenzo, Santa Fe. Allí son sometidas a un tratamiento de termo destrucción y enterradas en un relleno de seguridad en esa misma ciudad.
- En la provincia de Córdoba, la empresa Sol.AR se dedica a la fabricación de baterías para automóviles, principalmente baterías de plomo ácido y también de litio. Esta empresa comenzó en 2017 una iniciativa para el reciclaje de pilas y baterías en desuso. La motivación en su caso surgió ante la dificultad de obtener ciertas materias primas para su producción, como ser el litio, plomo, manganeso, grafito, entre otros. Siendo conscientes del potencial de recursos presentes en pilas y baterías, mediante un acuerdo de transferencia tecnológica de la Universidad de Nuevas Gales del Sur en Australia consiguieron hacerse de un procedimiento para el reciclaje de pilas y baterías. A su vez generaron un convenio de colaboración con la Municipalidad de Córdoba para la instalación de centros de acopio que le permitan hacerse de pilas y baterías para posteriormente reciclarlas. Al momento de realizarse este trabajo en función a la información obtenida, esta es la única iniciativa de reciclaje de pilas que se encuentra activa en Argentina.

Antecedentes locales

- En el año 2001 se inició en Mar del Plata una recolección diferenciada de pilas, donde el municipio colocó distintos puntos de recolección de pilas en desuso. Estos puntos de acopio de pilas llamados “comepilas” eran posteriormente recolectados por la empresa recolectora de residuos y acopiados para su posterior tratamiento. Esta iniciativa se centró en la recolección de pilas, pero no brindó una solución económicamente viable para el posterior tratamiento de las mismas. Por esta razón, quedó fuera de implementación.

Capítulo 2: Diseño e implementación de una planta de reciclaje de pilas alcalinas y salinas en Mar del Plata

2.1 Ubicación de la planta

La planta de reciclaje de pilas alcalinas y salinas se instalará en la ciudad de Mar del Plata. Esta recibirá las pilas recolectadas en el Partido de General Pueyrredón de forma semanal y mediante un proceso hidrometalúrgico se recuperará el zinc y manganeso para su re inserción en otros circuitos productivos. La ubicación de la planta de tratamiento estará determinada por la clasificación de la actividad y la asignación de zonas, de acuerdo con la legislación provincial y municipal.

En el ámbito provincial la ubicación de este tipo de emprendimiento está regido por la ley provincial 11.459 y su Decreto Reglamentario 531/19, el cual determina el Nivel de Complejidad Ambiental (NCA) para todo emprendimiento industrial a radicarse en el territorio provincial. De esta determinación del Nivel de Complejidad Ambiental se agrupan las industrias en tres categorías, según su grado de peligrosidad:

- 1era categoría: inocuas
- 2da categoría: incómodas
- 3era categoría: peligrosas.

Para la legislación provincial el rubro de la actividad de la planta de tratamiento de pilas se asimila a “centro de reciclado de residuos y efluentes (de origen industrial, de servicios u otros), excepto de residuos domiciliarios” y se clasifica en la tercera categoría, al incluir la manipulación de Residuos Especiales (Ley Provincial 11720). En cuanto a la asignación de zonas, se dividen en cinco zonas como se observa en la Tabla N°6. Dado que se trata de una actividad de tercera categoría según la legislación provincial, le corresponde la Zona D.

Tabla N°6. Zonificación industrial de acuerdo a la Ley N°11.459 de la Provincia de Buenos Aires.

Tipo	Usos
Zona A	Residencial Exclusiva
Zona B	Residencial Mixta
Zona C	Industrial Mixta
Zona D	Industrial Exclusiva
Zona E	Rural

En el ámbito municipal, la clasificación de actividades y usos del suelo están regidas por el Código de Ordenamiento Territorial del Partido de General Pueyrredón (COT). Según lo establecido en este código, la actividad en cuestión debe considerarse del tipo Industrial clase 5. En cuanto a la zonificación del terreno establecida por la Ordenanza 10068 el presente proyecto debe considerarse dentro del “distrito de industria equipamiento (Ie)”. El Decreto Municipal 1566/96 en su Anexo IV provee una tabla de compatibilidades entre las diferentes nomenclaturas Provinciales y Municipales. Esta establece que no existe compatibilidad entre una zona industrial exclusiva y un distrito de industria equipamiento dentro del ejido urbano del municipio, por lo cual se utilizará la clasificación de distrito industrial I2 de la legislación municipal para establecer la zona donde poder instalar la planta de tratamiento de pilas. De acuerdo a lo mencionado, la única zona permitida para desarrollar el proyecto es la que se observa como I2 (resaltada en color violeta), en la Figura N°6.

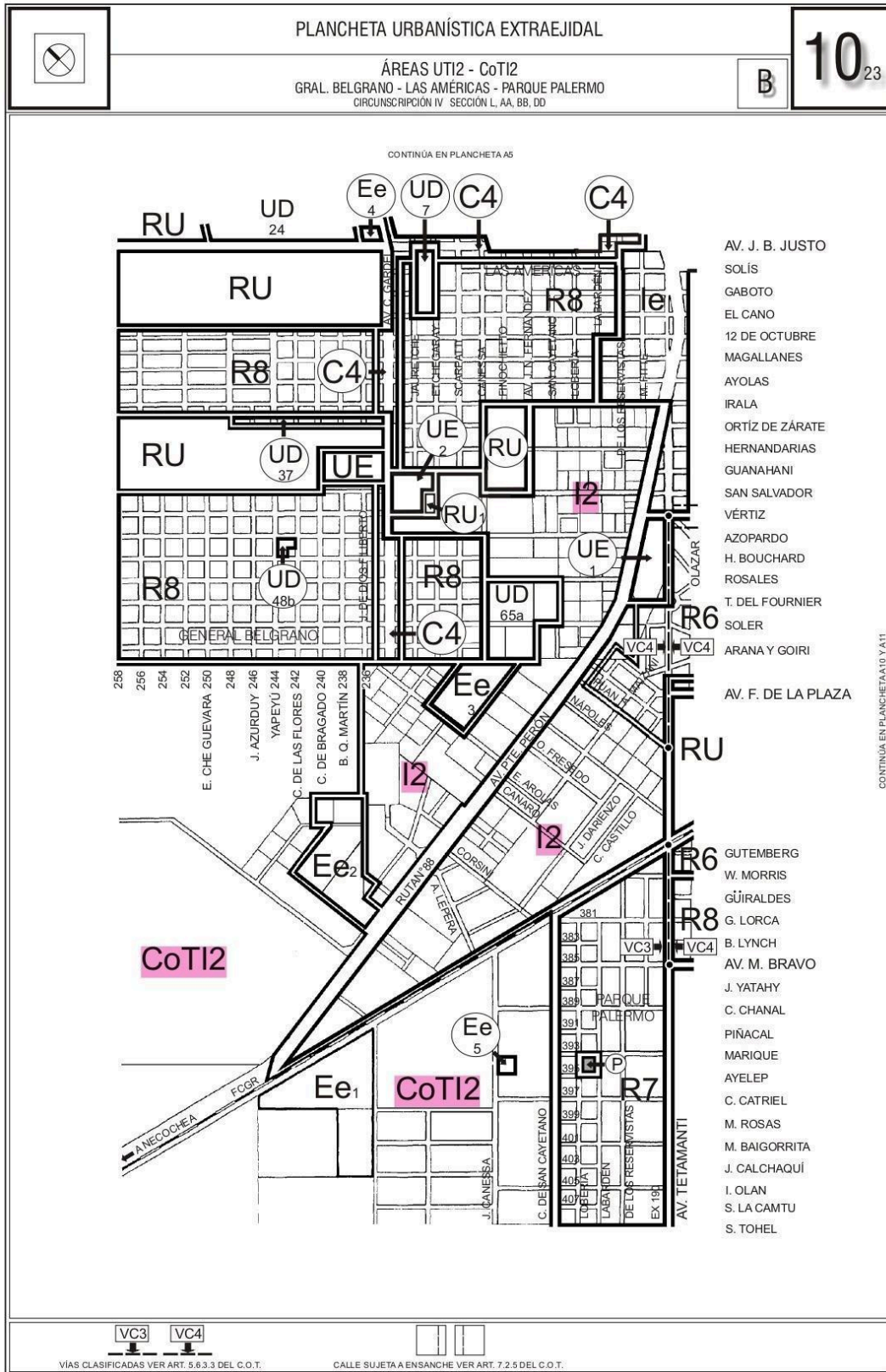


Figura N°6. Zona I2 (resaltada en violeta), establecidas por el Código de Ordenamiento Territorial del Partido de General Pueyrredón (COT). (Fuente: COT, 2024).

La Figura N°7 muestra la zona I2 representada en un plano del Partido de General Pueyrredón.

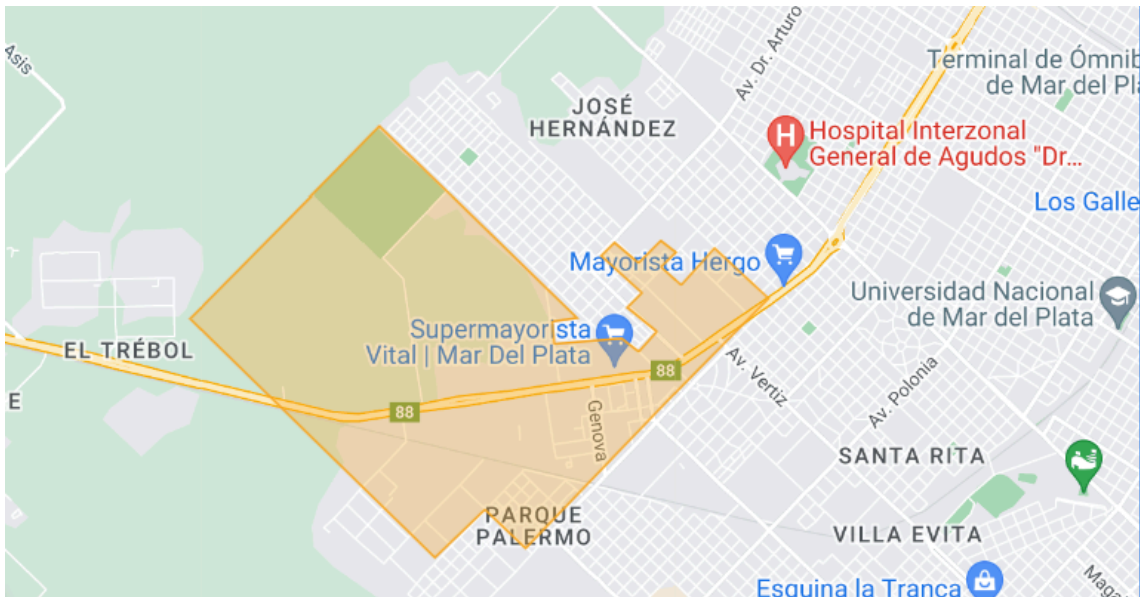


Figura N°7. Zona I2 según lo establecido por el COT, representada en un plano del Partido de General Pueyrredón.

La zona está delimitada al sudeste por la Avenida Tetamanti, al sudoeste por la calle Tohel, al noroeste por la calle N°258 y Avenida Carlos Gardel y al noreste por las calles Arana y Gorri e Irala. Dicha zona, cuenta con servicio de electricidad en media y baja tensión, gas y teléfono de servicio normal, el agua corriente y las cloacas, que, si bien pasan por la Ruta 88 los ramales troncales que atienden el servicio del Parque Industrial General Savio, no cuentan con redes de distribución sobre todo el territorio definido.

2.2 Dimensiones y características

El terreno contará con 20 m de frente y 30 m de largo, resultando en una superficie de 600 m², cumpliendo así con lo establecido por la Ordenanza 10068 del Partido de General Pueyrredón para el distrito de industria equipamiento (Ie). El predio será alambrado con un cerco perimetral. En su ingreso tendrá un playón pavimentado para lograr una fácil circulación y maniobra de vehículos, así como también un sector para estacionamiento. Se edificarán dos construcciones, por un lado, un edificio central donde funcionará la planta de tratamiento, una oficina, un comedor que funcionará también como sala de reuniones y conferencias, una cocina y un baño. La segunda edificación será el galpón de almacenamiento. El plano de la planta de reciclaje de pilas se observa en la Figura N°8.

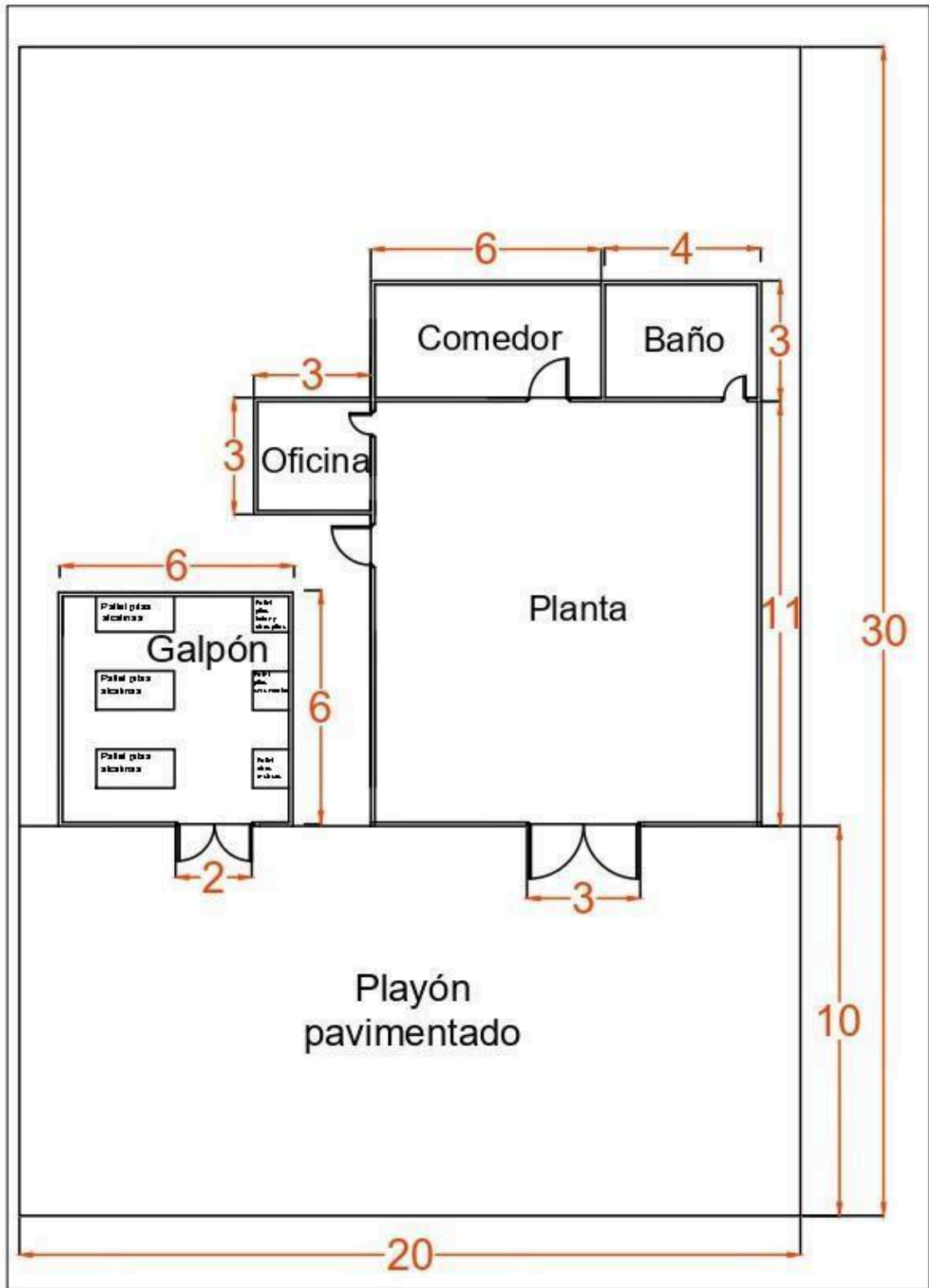


Figura N°8. Plano de la planta de reciclaje de pilas.

2.3 Certificaciones y permisos

Contemplando la legislación ya mencionada anteriormente, para poder llevar a cabo el proyecto será necesario obtener las siguientes certificaciones y permisos.

Nacional

- Certificado de Generador de residuos peligrosos ante la Secretaría de Turismo, Ambiente y Deportes.
- Certificado de Operador de residuos peligrosos ante la Secretaría de Turismo, Ambiente y Deportes.

Provincia de Buenos Aires

- Certificado de Aptitud Ambiental ante el Ministerio de Ambiente de la Provincia de Buenos Aires.
- Inscripción como operador de Residuos Especiales ante el Ministerio de Ambiente de la Provincia de Buenos Aires.
- Inscripción registro de Tecnologías ante el Ministerio de Ambiente de la Provincia de Buenos Aires.
- Inscripción registro de Generador de Residuos Especiales ante el Ministerio de Ambiente de la Provincia de Buenos Aires.
- Permiso de explotación subterránea ante la Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires.

Municipal

- Habilitación municipal
- Aprobación de Explotación del Recurso Hídrico de OSSE (Obras Sanitarias Sociedad de Estado)
- Aprobación de las Instalaciones Sanitarias de Efluentes Líquidos OSSE.

2.4 Operatoria de la planta

El proceso completo puede observarse en la Figura N°9, el diagrama de flujo. El mismo parte de pilas alcalinas como materias primas para la obtención de óxido de manganeso y óxido de zinc como productos finales. Todas las etapas que lo componen se desarrollan a continuación.

2.4.1 Equipos

- Hornos x 2
- Reactor 1/tanque con agitación para lixiviación neutra
- Reactor 2 con agitación para lixiviación ácida
- Máquina cortadora de pilas x 2
- Balanza
- Auto elevador

2.4.2 Etapas del proceso

2.4.2.1 Pretratamiento

Pesaje e identificación

Se recibirán semanalmente aproximadamente 370 kg de pilas en bolsones tejidos de rafia de polipropileno. Se pesarán al ser recibidas, se les asignará un código de identificación, se fecharán y se registrarán los valores obtenidos. (Ej. Bolsón #0001 fecha X, peso X, tipo de residuo X). De esta forma se cumplirá con lo estipulado por el artículo 25 inciso d de la Ley 11720 de la Provincia de Buenos Aires. Los bolsones serán trasladados por un auto elevador hacia el sector de clasificación de pilas.

Clasificación

Se volcará el contenido de los bolsones en una mesa de trabajo, donde dos trabajadores procederán a una clasificación manual de las pilas. En esta etapa se generarán cuatro corrientes de materiales: pilas alcalinas y salinas; pilas secundarias, otras pilas (botón, pilas no clasificables); otros residuos (no pilas).

Por un lado, las pilas secundarias se colocarán en un recipiente plástico y se descartarán en el recipiente de polipropileno para pilas secundarias ubicado en el sector de almacenamiento. Por otro lado, las pilas botón y las que no fue posible clasificar siguen este mismo procedimiento y se colocarán en otro recipiente de polipropileno en el sector de almacenamiento. La tercera corriente de pilas se compondrá de las pilas alcalinas y salinas de todos los tamaños, las cuales serán colocadas en un bolsón tejido de rafia de polipropileno. Esta corriente de pilas seguirá hacia la etapa de desmantelamiento mecánico. En cuanto al resto de residuos que lleguen serán separados en otros tachos para su disposición.

Almacenamiento transitorio

Las corrientes de residuos tanto de pilas secundarias como de pilas botón y no identificables se ubicarán en este sector para luego ser recogidas por un transportista de residuos especiales y serán llevadas a un operador para su tratamiento. De la misma forma este sector podrá utilizarse para el almacenamiento de las pilas alcalinas y salinas que serán tratadas en los siguientes días.

Descripción del sector de almacenamiento

El sector de almacenamiento estará diseñado en concordancia con los requisitos establecidos por la Ley Provincial N° 11720 de residuos especiales, su decreto reglamentario N° 806/97 y la resolución 592/00.

Como puede observarse en la Figura N°10, el sector de almacenamiento se compondrá de un cuarto techado con piso de cemento dividido en dos subsectores. Cada uno de los subsectores contará con tarimas de madera (pallets) ubicados en el suelo donde se colocarán los bolsones y/o recipientes con pilas. En uno de los subsectores se ubicarán los bolsones con pilas alcalinas y salinas que serán almacenadas transitoriamente. En otro de los subsectores se ubicarán recipientes de polietileno tapados donde se colocarán las pilas botón y las no clasificables obtenidas en la etapa anterior. En el tercero de los subsectores se ubicarán recipientes de polietileno cerrados con pilas secundarias.

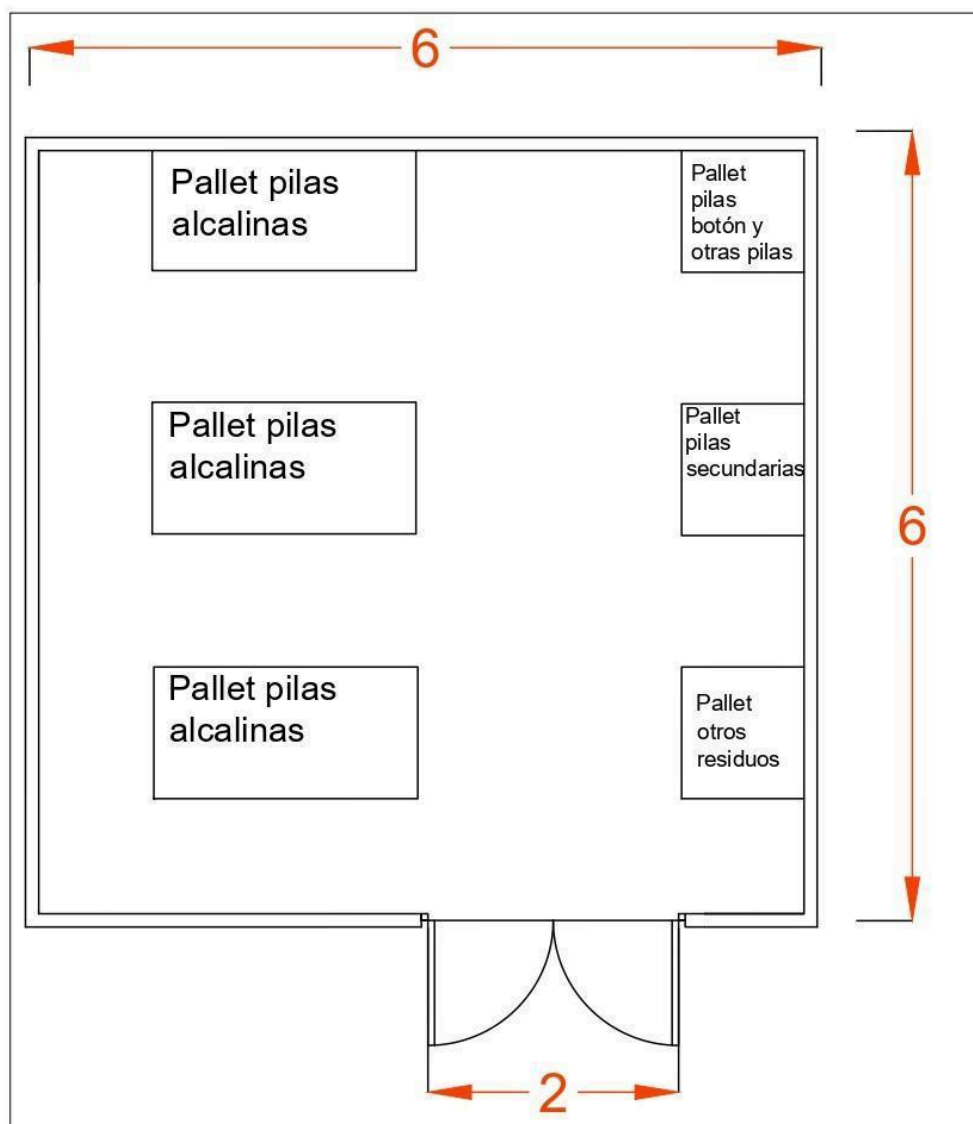


Figura N°10. Plano del Galpón de Almacenamiento.

Desmantelamiento

Este proceso constará de una separación mecánica de los componentes de las pilas. Las pilas alcalinas y salinas provenientes de la etapa anterior se abrirán manualmente con la ayuda de un dispositivo cortador de pilas como puede verse en las fotos N°3 y N°4. Este equipo realizará dos tajos verticales a las pilas para que luego manualmente con una pinza se retire la carcasa metálica. Como se observa en la Foto N°5, una vez abiertas las pilas se separarán manualmente sus componentes. Las láminas plásticas y partículas de papel serán descartadas en un contenedor plástico, la carcasa metálica se colocará en otro recipiente y la masa negra en un tercer contenedor de polipropileno.

Ésta última, ver foto N°6, será la materia prima para utilizar en la siguiente etapa del proceso. Por su parte, las carcasas metálicas serán recogidas para su reciclado. En el caso de los restos de papel y plástico al estar sucios serán descartados como residuos especiales de acuerdo a sus características estipuladas en la legislación. Hasta ese momento se ubicarán en el sector de almacenamiento transitorio.



Figura N°11. Operario utilizando la máquina cortadora de pilas de la planta PlaPiMu LASEISIC. (Fuente: Televisión Pública, 2013)



Figura N°12. Máquina cortadora de pilas de la planta PlaPiMu LASEISIC. (Fuente: Televisión Pública, 2013)



Figura N°13. Partes obtenidas al desarmar pilas alcalinas. Arriba: carcasas. Abajo: separadores de papel, colectores y contactos positivos (partes de las carcasas).



Figura N°14. Masa negra obtenida del desmantelamiento de pilas alcalinas.

2.2.1.2 Tratamiento químico

Lixiviación neutra

Se colocará la masa negra en el reactor 1, con agua destilada en una relación sólido/líquido 1/5. Se utilizará un agitador mecánico para favorecer la reacción. Se dejará reaccionar durante 5 minutos a temperatura ambiente y luego se filtrará utilizando un filtro de polipropileno con un tamaño de poro de 9 μm . Se conservará el sólido filtrado. Se medirá el pH de la solución resultante. El mismo deberá ser de aproximadamente 11 unidades de pH. La solución obtenida será una solución de KOH que se utilizará luego como reactivo precipitante.

Secado 1

La masa negra es secada a 105°C durante 24 h.

Lixiviación ácida selectiva del zinc

Se diluirá la masa negra resultante de la etapa anterior en el reactor 2, en ácido sulfúrico 0.4 % V/V. Se establecerá una temperatura de reacción de 70°C y una relación sólido líquido 1/30 g/mL. Se utilizará agitador mecánico y se dejará reaccionar durante 20 minutos.

Como se observa en la Figura N°15 el total del zinc se solubilizará y también 4.5 % del manganeso. El resto del manganeso y del grafito de la masa negra no se solubilizará. Se filtrará la masa negra y se reserva.

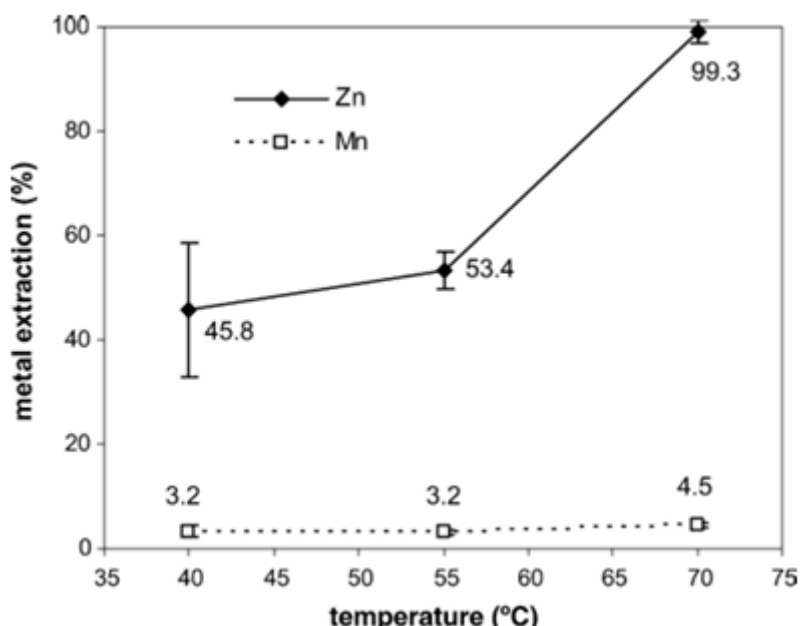


Figura N°15. Rendimientos de extracción obtenidos para el zinc y manganeso en función de la temperatura. ($[\text{H}_2\text{SO}_4]=0.4\%$ V/V, relación sólido/líquido=1/30). (Fuente: Veloso et al, 2005).

Precipitación selectiva del zinc

Utilizando la solución de KOH como reactivo precipitante, se llevará la solución obtenida en el test de lixiviación ácida selectiva a pH 8. Se logrará así la precipitación completa del zinc, como se observa en la Figura N°16. Se filtrará la solución. El sólido obtenido será hidróxido de zinc, $Zn(OH)_2$.

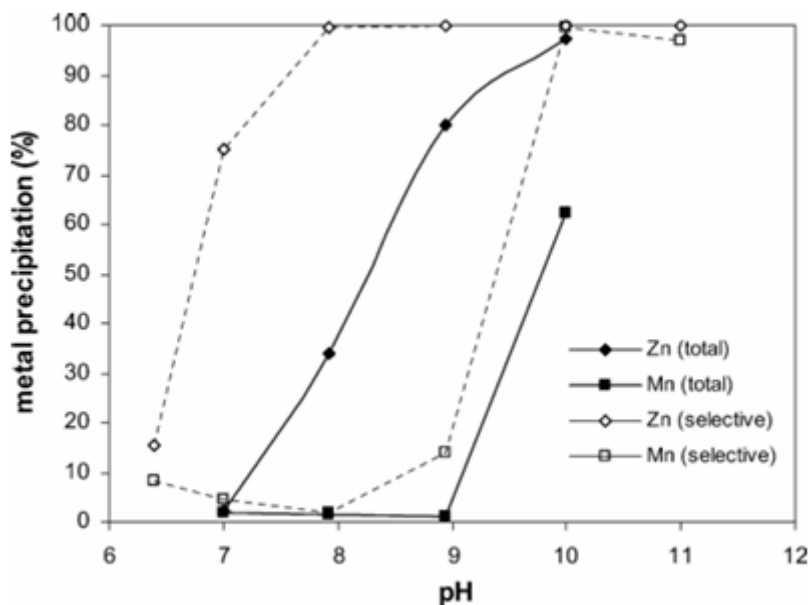


Figura N°16. Precipitación del Zn y Mn con KOH. (Fuente: Veloso et al, 2005).

Descomposición térmica del hidróxido de zinc

Se calentará la muestra de $Zn(OH)_2$ en el horno a 200 °C durante 2 horas. Se dejará enfriar. El producto final será óxido de zinc, ZnO .

Lixiviación ácida selectiva del Manganeso con peróxido de hidrógeno

Se llevará la solución obtenida en el paso anterior a las siguientes condiciones:

- $t=55\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $[H_2SO_4] = 3\text{ \% V/V}$
- relación sólido líquido 1/30 g/mL.

Se agregará la masa negra obtenida en la filtración de la etapa de lixiviación ácida selectiva del zinc. Se agregará peróxido de hidrógeno $[H_2O_2]= 2\text{ \% V/V}$. Se utilizará el agitador. Tiempo de reacción: 20 minutos. Se solubilizará así el total del manganeso, como puede verse en las Figuras N°17 y N°18.

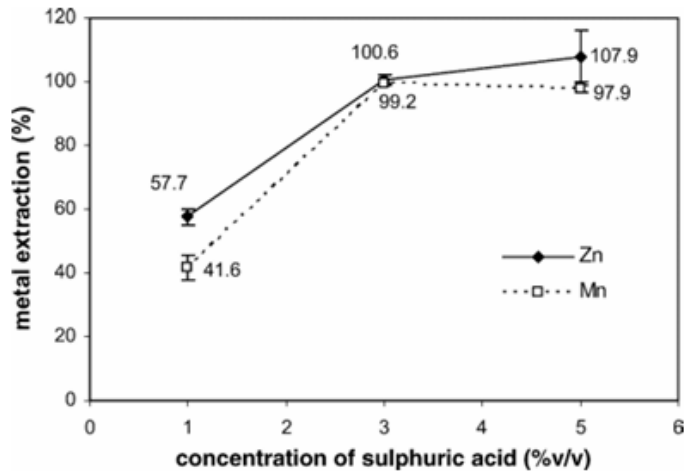


Figura N°17. Rendimientos de extracción obtenidos para el zinc y manganeso en función de la concentración de ácido sulfúrico. ($t=55\text{ }^{\circ}\text{C}$, relación sólida/líquido=1/30, $[\text{H}_2\text{O}_2]=2\text{ } \%$ v/v). (Fuente: Veloso et al, 2005).

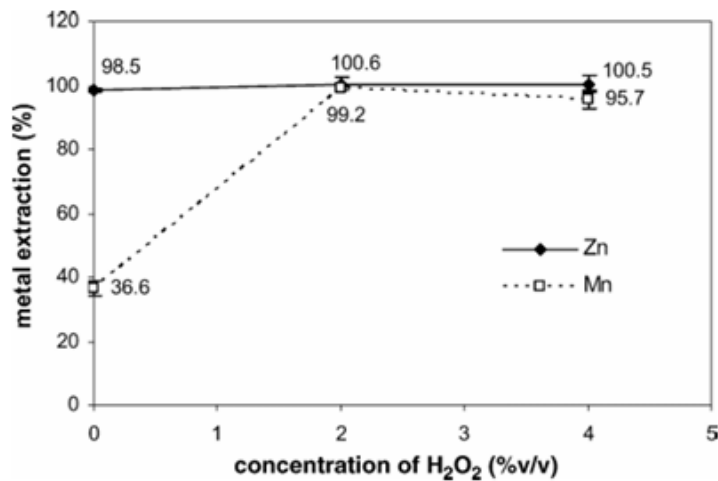


Figura N°18. Rendimientos de extracción obtenidos para el zinc y manganeso en función de la concentración de peróxido de hidrógeno. ($t=55\text{ }^{\circ}\text{C}$, relación sólida/líquido=1/30, $[\text{H}_2\text{SO}_4]=3\text{ } \%$ V/V). (Fuente: Veloso et al, 2005).

Precipitación selectiva del manganeso

Utilizando la solución de KOH como reactivo precipitante, se llevará la solución a pH entre 9 y 10. De esta forma se logrará la precipitación completa del manganeso disuelto como se observa en la Figura N°16. Se filtrará posteriormente. El sólido obtenido será hidróxido de manganeso, $\text{Mn}(\text{OH})_2$.

Descomposición térmica del hidróxido de manganeso

Se calentará la muestra de $\text{Mn}(\text{OH})_2$ en el horno a $250\text{ }^\circ\text{C}$ durante 2 horas. Se dejará enfriar. El producto final será dióxido de manganeso, MnO_2 .

Se obtendrá así aproximadamente 30 kg de óxido de zinc y 60 kg de óxido de manganeso por semana como puede observarse en el balance de masas de la Figura N°19.

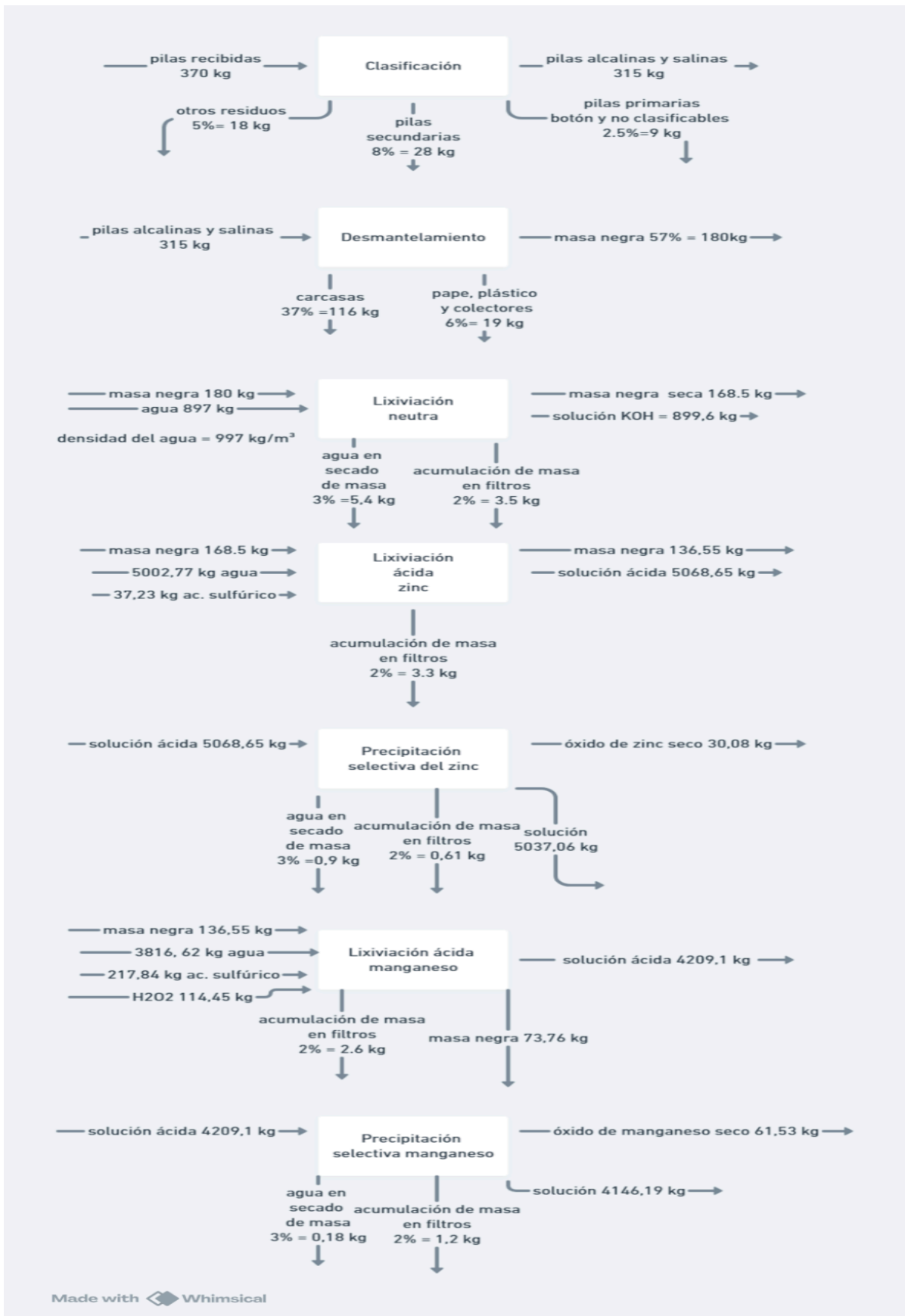


Figura N°19. Balance de masas semanal del proceso de tratamiento de las pilas.

2.5 Reinserción y reutilización

Los óxidos de zinc y manganeso forman parte de los productos comercializados por diversas empresas productoras de productos químicos. Considerando las actividades industriales locales y regionales, se mencionan a continuación los posibles usos que podrán darse al óxido de zinc y óxido de manganeso recuperados.

2.5.1 Óxido de Zinc (ZnO)

Industria del plástico:

- El óxido de zinc puede utilizarse como catalizador en la despolimerización de Poli tereftalato de etileno (PET), para producir el monómero de PET que se utiliza en la producción de botellas de plástico (Payán et al, 2017). Los óxidos de zinc recuperados de las pilas han sido analizados como catalizadores de esta reacción y resultaron activos para la despolimerización de PET con rendimientos de producción similares a los industriales (Fuentes et al, 2019).

Industria del Caucho:

- **Aditivo en neumáticos:** El óxido de zinc se usa como acelerador en la vulcanización del caucho, mejorando la resistencia al calor y el desgaste de los neumáticos.
- **Productos de caucho:** Se añade a varios productos de caucho para mejorar sus propiedades mecánicas y durabilidad.

Industria de la Cerámica:

- **Esmaltes y vidriados:** Se usa en la fabricación de esmaltes cerámicos y vidriados, proporcionando una superficie lisa y brillante a productos de cerámica.

Industria de la Pintura:

- **Pigmento blanco:** El óxido de zinc, también conocido como blanco de zinc, se utiliza como pigmento blanco en pinturas y recubrimientos.
- **Anticorrosivo:** Mejora la resistencia a la corrosión de las pinturas y recubrimientos, lo que es útil en aplicaciones marinas y exteriores.

Industria del Vidrio:

- **Fabricación de vidrio:** Se usa en la producción de ciertos tipos de vidrio especial, mejorando la transparencia y la resistencia al calor.

Protección de Madera:

- **Preservantes de madera:** Se utiliza en tratamientos para proteger la madera de la descomposición y los insectos.

2.5.2 Óxido de manganeso (MnO)

- **Catalizadores:** Se emplea como catalizador en diversas reacciones químicas, como ser la oxidación de CO₂ de compuestos orgánicos provenientes de emisiones gaseosas de industrias, tales como etanol, n-heptano y tolueno. La actividad catalítica de estos óxidos recuperados es similar o hasta superior a óxidos de manganeso preparados a partir de sales comerciales (Gallegos et al, 2013; Gallegos et al, 2017).
- **Producción de acero:** Se utiliza en la fabricación de aleaciones de acero para mejorar la dureza, la resistencia y la durabilidad del producto final.
- **Pigmentos:** El óxido de manganeso se usa en la fabricación de pigmentos para pinturas y barnices, proporcionando colores marrones y negros.
- **Cerámica y vidrio:** En la industria cerámica, se utiliza para colorear la cerámica y los esmaltes. En la producción de vidrio, ayuda a eliminar el color verdoso causado por las impurezas de hierro.
- **Tratamiento de agua:** Se emplea en procesos de tratamiento de agua para eliminar contaminantes como el hierro y el azufre mediante oxidación.

2.6 Cálculo económico

Costo del terreno

El costo del terreno se puede calcular a partir del costo unitario del m². En función a consultas en inmobiliarias de la zona puede definirse en una media de USD 75 el m². Teniendo en cuenta que el terreno sería de 600 m², el costo aproximado del terreno se estima en USD 45,000.

Edilicios

El valor del m² para la construcción edilicia del proyecto se estima a partir del publicado por la Asociación de Pymes de la Construcción APYMECO, el cual sería de USD 1000 el m². En cuanto al costo del m² de cemento para la construcción de la superficie pavimentada se estima como un 20 % del valor para la construcción (CAMARCO, 2024).

Se prevén necesarios 185 m² de superficie techada incluyendo planta, baño, cocina comedor, oficina y galpón de almacenamiento transitorio y 200 m² de superficie

pavimentada para el playón pavimentado. Entonces el costo de la superficie techada sería de USD 185000 y el de la superficie pavimentada de USD 40000.

Se incluirá la instalación de un cerco perimetral. El valor de un cerco de alambre de 2 m de alto x 1 m de largo se estima en USD 30/m². Dado que el terreno tiene un total de 100 m lineales por 2 m de altura se necesitarán 200 m² de cerco. El costo entonces será de USD 6000. Los costos edilicios se resumen en la Tabla N° 7.

Tabla N° 7: costos edilicios.

Item	Superficie (m2)	Valor m2 (USD)	Costo total (USD)
Edificación	185	100	18500
Pavimento	200	20	4000
Cerco perimetral	200	30	60000
Total edilicios			82500

Instalación eléctrica

Se considerará una instalación trifásica simple de baja tensión que cumple con los requerimientos del proyecto. Esta se compondrá de 30 de bocas de iluminación, 40 tomacorrientes y 40 HP instalados. Para determinar el valor de la instalación se utiliza la fórmula que aplica el colegio de ingenieros de la provincia de Buenos Aires (Colegio de Ingenieros de la Provincia de Buenos Aires, 2024):

$$Vi = (K1 \times CV) \times P \times F + Ne \times Be$$

Siendo:

Vi: Valor de la Instalación.

CV: Potencia de fuerza motriz Instalada, en este caso *CV*= 40.

K1: Constante de complejidad de la instalación que tiene que ver con la potencia y la cantidad de unidades, en este caso *K1*= 1,25.

P: Es el precio por cada HP/*CV* instalado = USD 100

F: es la relación entre los elementos que consumen potencia y los que no, en este caso, *F* = 1,45.

Ne: es el número de bocas de iluminación y tomas existente, en este caso, *Ne*= 70

B_e : es el precio por cada boca de iluminación o toma existente, en este caso $B_e = \text{USD } 22$

$$V_i = (1.25 \times 40) \times 100 \times 1.45 + 70 \times 22$$

$V_i = \text{USD } 8790$

A esto se debe agregar el valor de los artefactos lumínicos estimados en USD 18 c/u. En este caso, siendo 30 artefactos para la cantidad de bocas de iluminación disponibles, el costo total será de USD 540. Como se observa en la Tabla N°8, en función a lo calculado el costo total de la instalación eléctrica considerado será de USD 9330.

Tabla N°8: costo de la instalación eléctrica.

Item	cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Capacidad instalada	40 HP	100	4000
Bocas y tomas	70	22	1540
Artefactos	30	18	540
Total Instalación eléctrica			9330

Instalación de gas

Se considerarán en este caso los artefactos a gas natural a utilizar. Como se observa en la Tabla N°9, la instalación constará de 2 calefactores de 5000 kcal instalados en la planta, 2 calefactores de 2000 kcal, para el comedor y oficina, un termotanque de 200 L y una cocina en el comedor.

Tabla N°9: costo de los artefactos a gas.

Item	cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Calefactor 5000 kcal	2	190	380
Calefactor 2000 kcal	2	100	200
Termotanque	1	520	520
Cocina	1	185	185
Total artefactos a Gas			10698

Sistema antiincendios

En lo que refiere a seguridad e higiene en el trabajo, el Art. 176 del Decreto 351/7630 fija que deberá haber un extintor cada 200 m² y que la distancia máxima entre ellos deberá ser de 20 m. Teniendo en cuenta la superficie del área de producción se instalará 1 matafuego de tipo ABC de 10 Kg en la planta y otro en el galpón de almacenamiento transitorio. El costo del sistema antiincendios se observa en la Tabla N°10.

Tabla N°10: costo sistema anti-incendio.

Item	cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Matafuego ABC 10kg	2	95	190
Total sistema anti incendio			190

Equipamiento

Los costos de equipamiento se resumen en la siguiente Tabla N°11.

Tabla N°11: costos de equipamiento.

Item	cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Balanza	1	875	875
Autoelevador	1	11000	11000
Cortadora de pilas	2	230	460
Cinta transportadora	1	1700	1700
Horno	2	20000	40000
Reactor neutro	1	15000	15000
Reactor ácido	1	25000	25000
Bolsones	10	9	90
Bomba de agua	1	220	220
Inodoro	1	90	90
Bacha baño	1	55	55
Bacha cocina	1	55	55
Total Equipamiento			94545

Gastos administrativos

El gasto total de los permisos correspondientes podrá estimarse entre un 0,5% y 4% de la inversión de los Bienes de uso. En este caso se estimará este gasto como un 3% del costo de estos bienes. Por lo tanto, los gastos en permisos y habilitaciones serán de USD 5918. El costo inicial aproximado del proyecto puede verse resumido en la Tabla N°12.

Tabla N°12: costo inicial aproximado del proyecto.

Item	Costo total (USD)
Edilicios	82500
Instalación eléctrica	9330
Instalación de gas	10698
Sistema anti incendio	190
Equipamiento	94545
Gastos administrativos 3%	5918
Total costo inicial del proyecto	203181

Capítulo 3:

Experiencia preliminar de laboratorio. Recuperación del zinc

Introducción

El objetivo de esta experimentación fue obtener óxido de zinc replicando el método hidrometalúrgico planteado en este trabajo a escala de laboratorio. La misma se llevó a cabo en el laboratorio de la universidad utilizando para ello los materiales y equipos disponibles intentando replicar el procedimiento de la forma más fiel posible.

Materiales y equipos

Materiales

- 6 pilas alcalinas AA Energizer
- pinza de punta media caña
- pinza universal
- tijera de podar
- filtros de disco de membrana, nitrato de celulosa de 0.45 μm
- malla filtrante de acero de 20 μm
- ácido sulfúrico
- hidróxido de potasio
- agua destilada

Instrumental de laboratorio

- embudo tipo Buchner de 47 mm
- Kitasato de 500 mL
- bureta de 25 mL
- probeta de 100 ml
- vaso de precipitado de 400 mL
- vaso de precipitado de 250 mL
- placa de Petri
- vidrio reloj
- varilla de vidrio
- pipeta graduada de 1 mL
- espátula
- mortero

Equipos

- bomba de vacío $\frac{1}{4}$ HP
- baño termostático modelo Ballus FAC.
- agitador magnético Fbr
- balanza analítica de laboratorio Adventurer
- pH metro Hanna HI 8424
- estufa

Procedimiento

Desmantelamiento de pilas

Se pesaron las placas de Petri, vasos de precipitado y vidrio reloj en la balanza y se registró el peso. Se cortaron las pilas por un extremo con la tijera de podar y se abrieron manualmente mediante el uso de las pinzas. Se separó la carcasa metálica, el papel, plástico, el colector y la masa negra. Mediante el uso del mortero se molió la masa negra. Se pesaron 3 g de este material en un vidrio reloj mediante el uso de la balanza.



Figura N°20. Desmantelamiento de las pilas.

Lixiviación neutra

Se disolvieron los 3 g de masa negra en 60 mL de agua en el vaso de precipitado de 250 mL siguiendo la relación $\frac{1}{20}$ g/mL. La solución se agitó con el agitador magnético durante 5 min. Se filtró la solución. La filtración se realizó utilizando la bomba de vacío. Como se observa en la Foto N° 8, se conectó la manguera de goma a la entrada lateral del kitasato, se colocó el embudo tipo Buchner en la boca principal y se utilizó un filtro de disco de membrana de 0,45 μm como se ve en la Foto Foto N° 9. El líquido filtrado fue una solución de hidróxido de potasio que se conservó para su uso en un próximo paso. La masa negra filtrada que se observa en la Foto N° 10 se colocó en una placa de Petri, se pesó y luego se dejó secar en la estufa a 40° C durante 48 h.

Pasado ese tiempo se sacó de la estufa como puede verse en la Foto N° 11 y se pesó nuevamente.

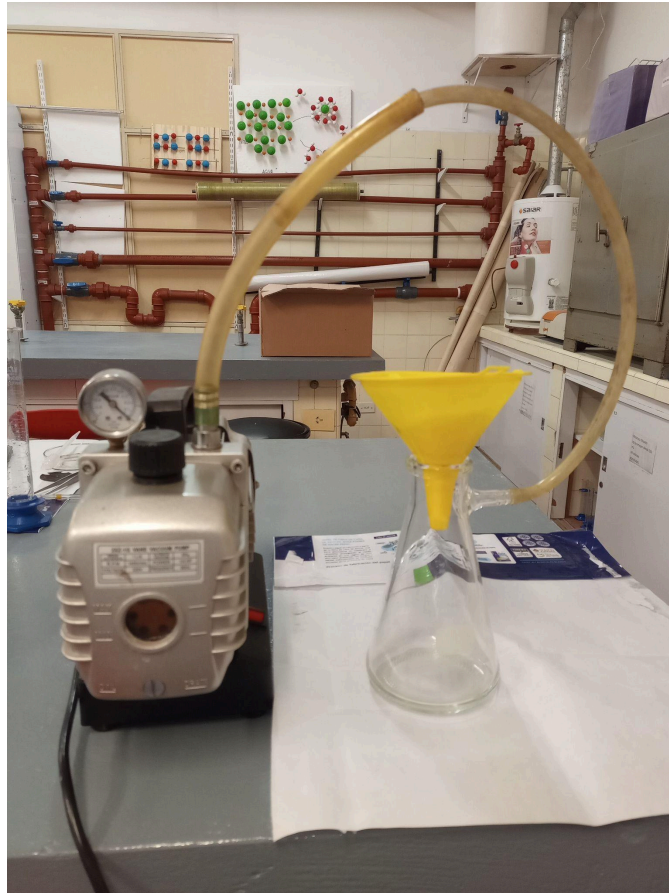


Figura N°21. Equipo de filtrado preparado para la filtración.



Figura N°22. Filtro de membrana de $0,45\ \mu\text{m}$ colocado en el embudo previo a la filtración.



Figura N°23. Masa negra obtenida en la filtración de la solución previo a ser colocada en la estufa.

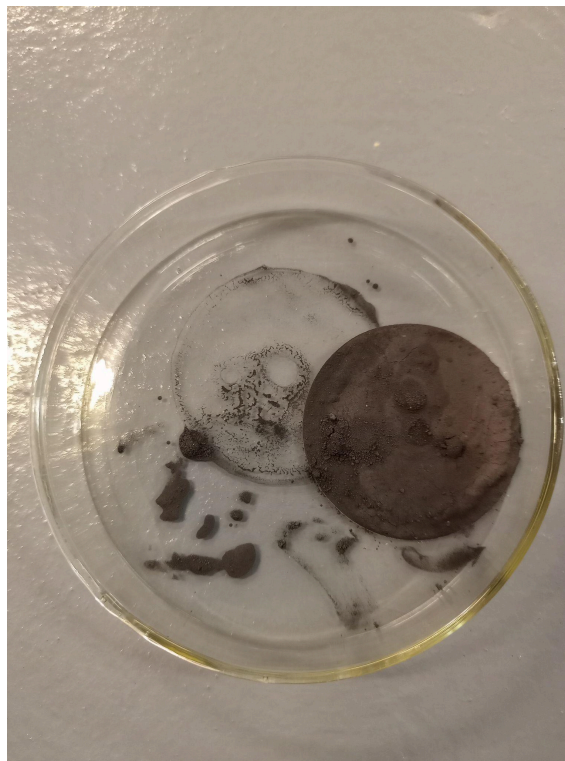


Figura N°24. Masa negra obtenida luego de ser secada en la estufa a 40° C durante 48 h.

Lixiviación ácida

Utilizando el vaso de precipitado de 400 mL, en función a la masa seca obtenida del paso anterior se preparó una solución de ácido sulfúrico 0,4 % V/V con una relación $\frac{1}{30}$ g/mL. Se colocó en el baño termostático a 70° C y se agitó manualmente con una varilla de vidrio durante 20 min. Se realizó una primera filtración siguiendo el mismo procedimiento que en la etapa anterior. Luego se agregaron dos filtros metálicos de 20 μ m sobre el filtro anteriormente usado y se filtró nuevamente para obtener una solución más pura. La solución obtenida se reservó. Los filtros usados fueron descartados.

Precipitación selectiva del zinc

Se midió el pH de las soluciones obtenidas en la etapa de lixiviación neutra y en la etapa de lixiviación ácida y se registraron los resultados. Se preparó la bureta con la solución de hidróxido de potasio obtenida anteriormente, enrasada en 25 mL. Se colocó el pH metro en la solución ácida, como se ve en la Foto N° 12 y mediante la adición de hidróxido de potasio se buscó elevar el pH a 8. Al no ser suficiente el volumen disponible de hidróxido de potasio para llegar al pH deseado, se preparó una solución de 100 mL de hidróxido de potasio 0,1 mol/L y se continuó el proceso hasta llevar la solución a pH 8. Se obtuvo un precipitado amarronado como se observa en la Foto N° 13.

Mediante el uso del equipo filtrado utilizando un filtro de membrana de 0,45 μ m se filtró el precipitado. Se colocó en una placa de Petri como se observa en la Foto N° 14, se pesó y se dejó en estufa a 40° C durante 48 h. Transcurrido el tiempo se quitó la placa de Petri de la estufa y se obtuvo el producto final como se observa en la Foto N° 15.

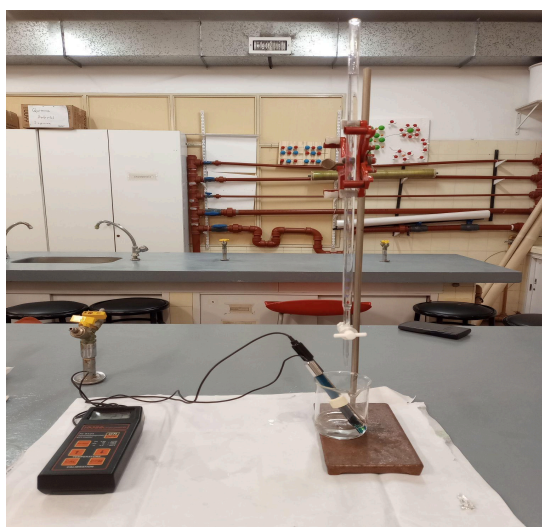


Figura N°25. PH metro colocado en la solución ácida y bureta enrasada con la solución de hidróxido de potasio obtenida en la lixiviación neutra listos para ser utilizados.

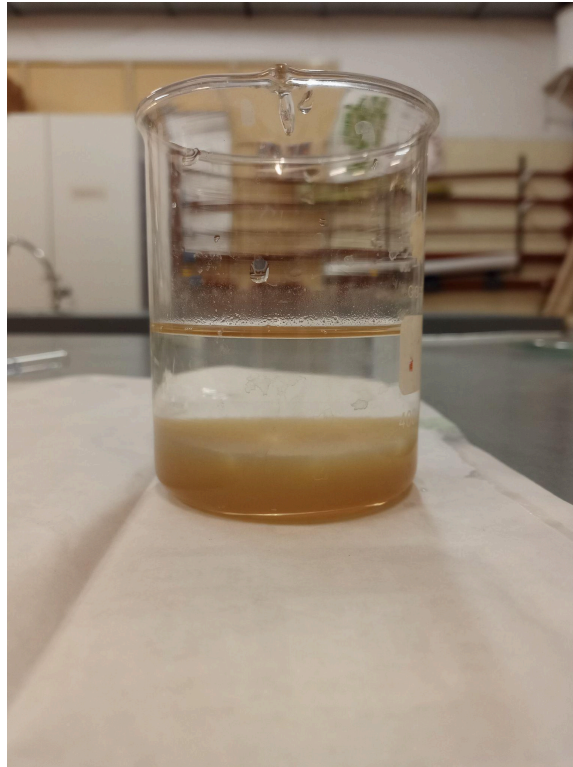


Figura N°26. Precipitado obtenido luego de llevar la solución a pH 8 mediante la adición de hidróxido de potasio.



Figura N°27. Masa obtenida de la filtración del precipitado previo a ser colocado en la estufa.

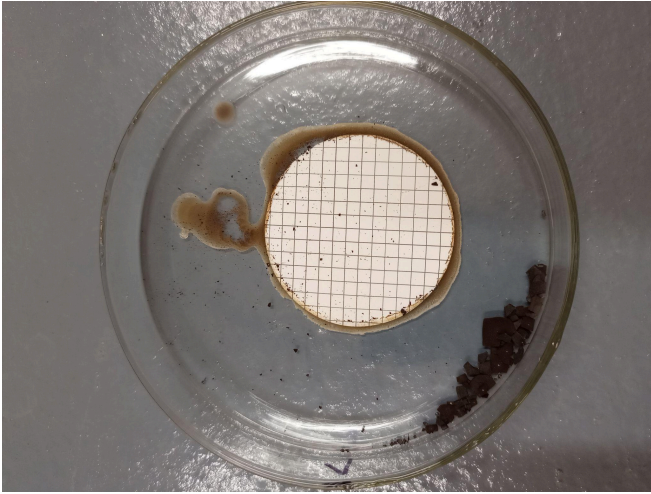


Figura N°28. Sólido seco obtenido como producto final del proceso.

Resultados

Lixiviación neutra

Para la etapa de lixiviación neutra se agregaron 3,0078 g de masa negra molida. Luego de la filtración se obtuvieron 4,0532 g de masa húmeda. Luego de la etapa de secado la masa obtenida fue de 2,4914 g. La solución de KOH obtenida fue de 50 mL.

Lixiviación ácida

En la etapa de lixiviación ácida se disolvieron 2,4914 g en 75 mL de agua. Luego del filtrado se obtuvo un volumen de 67 mL de solución ácida.

Precipitación selectiva del zinc

Mediciones de pH previo a la etapa de precipitación:

- solución KOH obtenida en etapa de lixiviación neutra: pH= 10,04
- solución KOH preparada: pH= 12,69
- solución ácida: pH= 2,10

Se agregaron 50 mL de la solución de KOH obtenida en la etapa de la lixiviación neutra. Resultó en un volumen total de 127 mL y un pH de 3,59.

Se preparó una solución de 150 mL de KOH 0,1 mol/L

El volumen final obtenido de la solución objetivo fue de 239 mL y un pH de 8,03.

La masa filtrada húmeda fue de 0,6261 g (Foto N° 14)

La masa seca obtenida como producto final (Foto N° 15), fue de 0,3848 g.

Conclusión de la experiencia preliminar en el laboratorio

En líneas generales se pudo cumplir el objetivo de realizar todas las etapas planteadas con anterioridad a una escala de laboratorio obteniendo como producto final un sólido metálico.

La realización de este proceso experimental presentó distintos desafíos al no contar con todos los materiales necesarios que permitiera replicar el procedimiento hidrometalúrgico escogido de forma fiel. El mayor inconveniente se produjo en las distintas etapas de filtrado. Al tratarse de un polvo de un diámetro de partícula promedio de 11 μm (Veloso et al, 2005) no resultó sencillo encontrar el filtro

adecuado. Idealmente hubiera sido necesario poseer filtros de 8 -9 μm resistentes a soluciones ácidas.

En una primera instancia se probó con mallas metálicas filtrantes de 20 μm utilizadas de forma doble, pero la filtración no fue efectiva. Posteriormente se pudieron conseguir filtros de disco de membrana de nitrato de celulosa de 0.45 μm . Dado el tamaño del poro fue necesario diseñar un sistema de succión para utilizarlos ya que por gravedad la filtración no sucedía.

El problema principal en este punto fue que el laboratorio no contaba con un embudo Büchner del tamaño requerido (47 mm). Se intentó utilizar embudos más grandes que no resultaron útiles. Finalmente se decidió crear un embudo Büchner de forma artesanal para suplir esta necesidad. Mediante éste (Fotos N°8 y 9), se resolvió inicialmente el problema de la filtración. Sin embargo, dado que estos filtros poseen un diámetro de 47 mm hubo que ajustar la masa inicial de trabajo de 50 a 3 g ya que de lo contrario el filtro se tapaba completamente antes de llevarse a cabo la filtración de manera completa.

Un desafío en este aspecto se generó cuando al filtrar la solución ácida se evidenció que el filtro de membrana de nitrato de celulosa no era resistente al ácido. Esto se resolvió agregando sobre estas dos mallas metálicas de 20 μm .

Es oportuno destacar que el sólido obtenido del último filtrado resultó de un color amarronado en lugar de un color blanco o gris como se hubiese esperado al precipitar hidróxido de zinc. De la misma forma el producto final seco esperado, óxido de zinc, debería haber sido de un color blanco o grisáceo y fue completamente negro. Esto se debe muy probablemente a que la precipitación no fue selectiva como se esperaba, sino que se formaron óxidos e hidróxido de manganeso que también precipitaron conjuntamente con el zinc (Martinez- Troya, 2019). Si bien a nivel teórico se esperaba que el manganeso no precipitara a pH 8 (ver Gráfico N°4), esto no fue así por lo cual sería necesario repetir la experiencia ajustando experimentalmente el pH para lograr la precipitación selectiva del zinc.

El último punto por destacar es que al haber sido necesario ajustar la experimentación utilizando el equipo de filtrado mencionado anteriormente, la pérdida de masa fue muy significativa. Se comenzó con una masa de 3,0078 g y el producto final obtenido fue de 0,3848 g es decir que se recuperó un 13 % del total de la masa, cuando se esperaba recuperar un 17 % puramente de zinc. Para mejorar estos rendimientos es necesario utilizar filtros adecuados de entre 8 y 9 μm con una relación superficie/ volumen filtrado lo más grande posible.

Conclusión general

En este trabajo se propuso la instalación de una planta de tratamiento de pilas alcalinas y zinc/carbono en el Partido de General Pueyrredón, que permita resolver en el municipio el problema que plantea la disposición final de pilas y que brinde la posibilidad de recuperar los metales presentes en las mismas para su reutilización.

Se decidió tratar las pilas alcalinas y zinc/carbono ya que estas representan en Argentina aproximadamente el 90 % del total de las pilas (INDEC.2021). Dada la especificidad que requiere cada tipo de pila para ser tratada se consideró que no sería viable ni significativo tratar en este proyecto el resto de las pilas que componen entre todas un 10 % del total.

Tanto el manganeso como el zinc poseen efectos negativos en la salud y el ambiente. Seguir depositando las pilas en desuso en rellenos sanitarios o basurales a cielo abierto representa un riesgo que puede ser prevenido con su tratamiento.

Por otro lado, es destacable el aumento de en la demanda de zinc y manganeso planteados en distintos trabajos (Zhang, 2007; Banco Mundial, 2020), así como también la cotización internacional de estos metales. Estos no solo poseen un precio internacional de mercado, sino que también requieren un gasto energético elevado para su obtención que podría reducirse si se obtuvieran por medio del reciclado. Según la Comisión Europea, la relación entre la energía necesaria para reciclar el zinc y la energía necesaria para la extracción del recurso primario es de 2.2 a 8. Estas cifras son también importantes dado el hecho de que la producción primaria de metales es la fuente de aproximadamente el 10 % de las emisiones globales de CO₂ (Commission of the European Communities, 2003).

Analizando las distintas tecnologías disponibles para el tratamiento y disposición final de pilas se concluyó que el reciclaje por un método hidrometalúrgico representa la mejor opción. Considerando que el objetivo es la recuperación del zinc y manganeso presentes en las pilas las opciones posibles eran la implementación de un método pirometalúrgico o uno hidrometalúrgico. El método pirometalúrgico fue descartado debido a la alta inversión que requiere la compra de los equipos necesarios para implementarlo, el alto costo energético que representa su implementación, la dificultad que implica trabajar a muy altas temperaturas, y el alto contenido de emisiones gaseosas que genera. La implementación de un método hidrometalúrgico en cambio representa menor inversión en equipos, un costo energético más bajo, la posibilidad de reutilizar los reactivos químicos y un proceso libre de emisiones gaseosas.

La investigación sobre los antecedentes en este campo fueron determinantes. Fue sorprendentemente complejo encontrar información al respecto. La gran mayoría de las iniciativas en este campo son en Europa dado que allí existen

distintas leyes que obligan a las empresas y gobiernos al tratamiento de las pilas. Es por esto que existen empresas privadas especializadas que brindan este servicio principalmente dentro de los países de Europa central.

A nivel nacional queda muchísimo por desarrollar en lo que refiere al tratamiento y específicamente al reciclaje de pilas. Con la excepción de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires no se ha abordado este tema a nivel político y estatal. Solo han sido algunas pocas iniciativas aisladas las que han buscado dar respuesta a este problema. La planta piloto PlaPiMu-Laseisic de la Universidad Nacional de La Plata, fue un excelente puntapié al respecto. Se planteó un proceso hidrometalúrgico para la recuperación de manganeso inicialmente con la posibilidad de recuperar también el zinc y utilizando en parte ácido sulfúrico producido de forma biológica. Esta planta estuvo operativa entre 2012 y 2015 y tenía la capacidad de tratar hasta 100 kg de pilas/mes. Este modelo estuvo en consideración de ser implementado en parques industriales de Argentina, pero por la complejidad legal y administrativa que representa la transferencia tecnológica esto no pudo llevarse a cabo. Luego, al tratarse de un proyecto financiado por el estado de la Provincia de Buenos Aires, por motivos de cambio de gestión gubernamental fue desfinanciado y lastimosamente actualmente está inactivo. De cualquier forma, dio paso a la posibilidad de llevar a cabo el reciclaje de pilas en Argentina motivando otras iniciativas como la que se plantea en este trabajo.

El Partido de General Pueyrredón tuvo como único antecedente conocido la implementación de una recolección diferenciada de pilas y posterior acopio, pero no brindó un tratamiento posterior efectivo a las pilas recolectadas por lo cual se decidió no continuarlo.

Es notorio en este punto entender que las posibilidades de avanzar en este campo son inmensas dado que es un terreno muy poco explorado.

En cuanto a la elección del tipo de planta de reciclaje a implementar se consideraron algunos aspectos claves, como ser:

- Cantidad de pilas generadas en el Partido de General Pueyrredón. Esto representó un primer desafío ya que no se encontraron datos disponibles. Sí existe un trabajo realizado por la Universidad de Buenos Aires (UBA. 2009), el cual midió la cantidad de este residuo generado en Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA). Dadas las similitudes en los hábitos de consumo que pueden existir entre Mar del Plata con CABA al tratarse de dos ciudades grandes se decidió entonces extrapolar estos valores en función a la cantidad de habitantes de General Pueyrredón. Se obtuvo así un total de 23650 kg de pilas en desuso generadas por año en el partido. Se consideró que un 80% de estas podrían ser recolectadas y llevadas semanalmente a la planta de

tratamiento. Como consecuencia la planta recibiría así aproximadamente 370 kg de pilas por semana.

- Ubicación del proyecto. La ubicación se determinó en cuanto a las posibilidades que ofrece la legislación provincial y municipal. El diseño de la planta también se rigió por las exigencias de la legislación y por la cantidad de pilas a tratar.
- Elección del método de tratamiento. Ya se mencionó anteriormente por qué un método hidrometalúrgico era la mejor opción. Sin embargo, existen variantes del mismo. Luego de una investigación bibliográfica extensa se decidió que el desarrollado por Veloso (Veloso et al, 2005), era el elegido. Este plantea la recuperación tanto del zinc como del manganeso siguiendo procedimientos químicos conocidos y relativamente simples sin implementación de una tecnología excesivamente compleja. La implementación de este método permite obtener como producto final óxidos de zinc y manganeso los cuales poseen un valor comercial en el mercado. El balance de masas expresa que, con una entrada semanal de 315 kg de pilas alcalinas al proceso de tratamiento, se obtiene una salida de aproximadamente 30 kg de óxido de zinc y 60 kg de óxido de manganeso. Estos materiales tienen diversos usos industriales. En este trabajo se destacaron los que tienen relación con el tipo de producción industrial local, regional o provincial, acercándose así a una posibilidad real de una utilización de estos en nuevos circuitos productivos.

Se propuso un presupuesto inicial para la instalación del proyecto que arrojó un costo total de USD 203181. El valor comercial en Argentina del óxido de zinc y óxido de manganeso se puede estandarizar en USD 4 el kg (Centauro Alpha SRL; Marpaq S.A. 2024). Tomando como referencia este precio de venta y una producción anual de 4680 kg incluyendo ambos óxidos, se podría estimar una ganancia total de USD 18720. Es decir, se necesitarán aproximadamente 11 años para recuperar la inversión inicial si solo se considera el dinero obtenido por la venta del producto final. Una variable que contemplar para mejorar este balance de costos sería mediante una mejora en los rendimientos del proceso. La experimentación preliminar de laboratorio sirvió para evidenciar que la elección y dimensión de los filtros son una variable central en el rendimiento del proceso. Otro aspecto a considerar es el ajuste del pH para lograr una separación completa de ambos compuestos y evitar pérdidas de masa. Un ajuste experimental en estas variables resultaría en una menor pérdida de masa en las distintas etapas de filtrado y un mayor rendimiento del proceso que se vería reflejado también económicamente.

Por otra parte, es importante recordar que este proceso de reciclaje no tiene que entenderse únicamente como un negocio, sino que posee un valor más allá de lo monetario. Este es el beneficio que aportaría a la salud

de la población local, el cuidado del ambiente y la educación ambiental. La Municipalidad de General Pueyrredón plantea como uno de los objetivos de su Gestión Integral de Residuos sólidos Urbanos (GIRSU), la reducción de residuos destinados a disposición final y valorización de los RSU a través de la implementación de distintas prácticas como ser la separación en origen y recolección diferenciada, el incremento de las prácticas de reciclado en condiciones de formalidad, el incremento de volúmenes de material recuperado de los desechos y la mejora de los mercados del reciclado. (Municipalidad de General Pueyrredón, 2024). A su vez, la Unidad de Gestión de Sostenibilidad Ambiental de la municipalidad plantea también su enfoque de favorecer la economía circular, a través de la reducción de residuos, el consumo responsable, y la promoción de la inversión privada en sostenibilidad. Destacando los residuos especiales de generación universal (REGU), entre los cuales se encuentran las pilas. La instalación de la planta de tratamiento de pilas planteada en este trabajo se encuadraría perfectamente en estos objetivos del municipio. La inversión ya sea privada como estatal sería necesaria para poder llevarlo a cabo. Si bien todo lo planteado en este trabajo puede mejorarse desde muchos aspectos, resulta un primer acercamiento importante a un tema tan poco abordado como es el tratamiento de las pilas, y es en concreto un proyecto que sería posible implementar.

Bibliografía

- *Acción Marplatense no cumple con la Ley de residuos especiales*. 2012. 0223. Recuperado en Septiembre de 2024 de <https://www.0223.com.ar/nota/2012-12-13--accion-marplatense-no-cumple-con-la-ley-de-residuos-especiales>
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). 2004. *Perfil toxicológico del manganeso*. Pp 556. Recuperado en Septiembre 2024 de <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp151.pdf>
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). 2005. *Perfil toxicológico del zinc*. Pp 352. Recuperado en Septiembre 2024 de <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp60.pdf>
- Asociación Pymes de la Construcción. Provincia de Buenos Aires. Recuperado en Septiembre de 2024 de <http://www.apymeco.com.ar/indice.php>
- Barragán, S. 2022. *El desarrollo de microbasurales en el Partido de General Pueyrredón: análisis de sus causas, los riesgos asociados y medidas de gestión*. Universidad Fasto. Mar del Plata.
- BATREC. Recuperado de <https://batrec.ch/>
- Buenos Aires Ciudad. Recuperado en Septiembre de 2024 de <https://buenosaires.gob.ar/residuos/pilas>
- Calderón.M. 2011. *Evaluación de la peligrosidad de pilas en lixiviados*. Facultad de Ciencias, Universidad de Chile. Santiago de Chile. Pp 168.
- Camacho Aguilar, I. 2006. *Importancia del Tratamiento de las Pilas Descartadas*. Conciencia Tecnológica. 32. Pp7. Recuperado en Septiembre 2024 de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94403218>
- Cámara Argentina de la Construcción CAMARCO. 2024. Recuperado de <https://www.camarco.org.ar/>
- Castro Díaz, J, Díaz Arias M. *La contaminación por pilas y baterías en México*. Ciudad de México. Pp22.
- Censo 2022. República Argentina. Recuperado en Septiembre de 2024 de <https://censo.gob.ar/>
- Centauro Alpha SRL. Recuperado en Diciembre de 2024 de <https://www.centauroalpha.com.ar/productos-quimicos/oxido-de-zinc.html>
- *Científicos Industria Argentina*. 2013. Televisión Pública. Recuperado en Septiembre de 2024 de <https://www.youtube.com/watch?v=L3gdg8jVaEw>
- Colegio de Ingenieros de la Provincia de Buenos Aires. Recuperado en Septiembre de 2024 de <http://www.colegioingenieros.org.ar/wp-content/uploads/2019/07/Res.-N%C2%BA-26-58-1-fusionado-1.pdf>
- Comisión de las Comunidades Europeas. Documento de trabajo del personal de la Comisión. Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo sobre baterías y acumuladores, así como baterías y acumuladores usados. Evaluación de impacto ampliada, 2003. Bruselas. Pp 1343. Recuperado en Septiembre 2024 de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX:52003PC0723>

- COT General Pueyrredón. Recuperado en Septiembre de 2024 de <https://www.almenaweb.com/cot/5>
- Cruz.N, Mazzeo.N. 2022. *Guía de gestión integral de pilas y baterías en desuso*. INTI. San Martín. Pp58.
- De Antonio. J, De la Vega. M, Do Carmo. L, Flores. J, Gorosito. L, Gorosito. M, Ortiz. E, Simone. J, Velázquez. C, Melissa. L. 2020. *Informe: ciclo de vida de las pilas*. FAUBA VERDE. Buenos Aires. Pp 62.
- De Michelis. I, Ferella. F, Karakaya. E, Beolchini.F, Veglio.F. 2007. *Recovery of zinc and manganese from alkaline and zinc-carbon spent batteries*. Journal of Power Sources. 172: 975-983.
- De Souza. C, Soares Tenório. J. 2004. *Simultaneous recovery of zinc and manganese dioxide from household alkaline batteries through hydrometallurgical processing*. Journal of Power Sources 136: 191–196.
- *Diagnóstico, producción, importación y distribución y el manejo de los residuos de pilas. Informe final*. 2011. C y V Medioambiente Ltda. Santiago de Chile. Pp119.
- Dubois. F, Falco. L, Fuentes. C, Gallegos. M, Peluso. M, Sambeth. J. 2021. *Un problema ambiental serio: el reciclado de pilas y baterías*. Ambiente en Diálogo.2:37-51.
- Elias.X. 2012. *Reciclaje de Residuos Industriales. Residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora. 2ª Edición*. Díaz de Santos. Madrid. Pp 1322.
- Energizer. Partes de una pila. Recuperado en Septiembre 2024 de <https://energizer.eu/es/battery-parts/#::~:~:text=Colector,conduce%20electricidad%20al%20circuito%20exterior>
- Energizer. Product Datasheet. Recuperado en Septiembre 2024 de www.energizer.eu
- European Recycling Platform. Recuperado en Septiembre 2024 de <https://erp-recycling.org/en-de/who-are-we/>
- *Fabrican baterías de litio a través del reciclado urbano, Alejandro Cometto*. 2021. Canal Local RíoTéTV HD. Recuperado en Septiembre de 2024 de <https://www.youtube.com/watch?v=TPBcRNqq6qg&t=164s>
- Farmacias Dr. Ahorro. Recuperado en Septiembre de 2024 de <https://www.farmaciasdrahorro.com.ar/blog/somos-punto-de-recoleccion-de-pilas-usadas/>
- Fuentes. C, Gallegos. M, Moyano. D, Peluso. A, Cortizo. S, Sambeth.j. *Glicólisis de PET usando como catalizadores sólidos recuperados de pilas*. 2017. Congreso Argentino de Catálisis. Córdoba. Pp6.
- Gallegos. M, Falco. L, Peluso.M, Sambeth. J, Thomas.H. 2013. *Recovery of manganese oxides from spent alkaline and zinc-carbon batteries. An application as catalysts for VOCs elimination*. Waste Management. 33(6):1483-1490.
- Gallegos. M, Lopez. G, Bellotti.N, . L, Sambeth. J, 2020. *Nanopartículas de ZnO obtenidas a partir del reciclado de pilas como potenciales biocidas para pinturas*. Conicet. La Plata. Pp2.
- GMM Pfaudler. Recuperado en Noviembre 2024 de <https://www.gmmpfaudler.com/>
- GRS Batterien. Recuperado en Septiembre 2024 de <https://www.en.grs-batterien.de/>
- *HDL Reciclaje integral de pilas en la primera planta española con todas las fases de tratamiento*. 2015. Historias de Luz. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=mTKTYpXZc3A>

- Hun. K, La Porta. D, Fabregas. T, Laing. T, Drexhage. J. 2020. *Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition*. The World Bank. Washington. Pp112.
- Hywell. Horno de circulación de aire caliente. Recuperado el 22/11/2024 de <https://www.hywellco.com/es/Hot-Air-Circulation-Oven-pd43757251.html>
- IDM. Recuperado en Septiembre de 2024 de <https://www.idmsa.com.ar/general-6>
- *Instalarán una planta de reciclado de pilas en Ezeiza sobre un predio de 20 mil metros cuadrados*. 2015. Energía estratégica. Recuperado en Septiembre de 2024 de <https://www.energiaestrategica.com/instalaran-una-planta-de-reciclado-de-pilas-en-ezeiza/>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, INDEC. 2021. Consulta de comercio exterior de bienes. https://comex.indec.gob.ar/?_ga=2.108944834.1352571715.1634225665-853434226.1634225665#/
- INTI. 2016. *Gestión de pilas y baterías eléctricas en Argentina*. Instituto Nacional de Tecnología Industrial. San Martín. Pp 44.
- Islam. T, Huda. N, Baumber. A, Hossain. R, Sahajwalla. V. 2022. *Waste battery disposal and recycling behavior: a study on the Australian perspective*. Environmental Science and Pollution Research. 29: 58980–59001.
- Martínez-Troya. D. 2019. *Propuesta para la utilización experimental de los óxidos y del hidróxido de manganeso en las enseñanzas medias*. Bórax. 3:2529-9581.
- Marpaq S.A. Recuperado en Diciembre de 2024 de <https://www.marpaq.com.ar/productos/>
- Municipalidad de General Pueyrredón. 2024. *Informe Ambiental Anual 2023-2024*. Recuperado en Diciembre 2024 de <https://www.mardelplata.gob.ar/documentos/enosur/informeambiental20232024.pdf>
- Municipalidad de General Pueyrredón. MGP Servicios Urbanos. Recuperado en Septiembre 2024 de <https://www.mardelplata.gob.ar/residuos%20urbanos>
- London Metal Exchange. Recuperado en Septiembre 2024 de <https://www.lme.com/>
- Oliveira L, Messagie M, Rangaraju S, Sanfelix J, Hernandez Rivas M, Van Mierlo J. 2015. *Key issues of lithium-ion batteries – from resource depletion to environmental performance indicators*. J Clean Prod. 108:354–362.
- Ortiz López, C. 2009. *Estudio de solidificación de pilas y baterías de uso doméstico mediante la técnica de macroencapsulación*. Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental. Escuela Politécnica Nacional. Quito. Pp170.
- *Pilas usadas: dónde se pueden dejar en la Ciudad*. Clarín. Recuperado en Septiembre de 2024 de https://www.clarin.com/sociedad/pilas-usadas-pueden-dejar-ciudad_0_US18MsJ7C1.html
- Porvali A, Ojanen S, Wilson BP, Serna-Guerrero R, Lundström M. 2020. *Nickel metal hydride battery waste: mechano-hydrometallurgical experimental study on recycling aspects*. J Sustain Metall 6:78–90.
- Rebat. Recuperado en Septiembre 2024 de <https://rebat.de/hersteller-und-vertreiber/geraetebatterien/>

- *Reciclado de Pilas Alcalinas: Beneficios y Proceso*. Reciclaje Contemar. Recuperado en Septiembre 2024 de <https://www.reciclaecontemar.es/reciclado-de-pilas-alcalinas/>
- *Reportaje de 101 tv a Ecopiba*. 2016. Promálaga RMI. Recuperado en septiembre de <https://www.youtube.com/watch?v=mTKTYpXZc3A>
- Rippila. *Gestión integral de pilas en desuso*. Recuperado en Septiembre 2024 de <https://rippilas.org/inicio/>
- Sayilgan. E, Kukrek. T, Civelekoglu. G, Ferella. F, Akcil. A, Veglio. F, Kitis. M. 2009. *A review of technologies for the recovery of metals from spent alkaline and zinc-carbon batteries*. Hydrometallurgy. 97: 158-166.
- *Solar: minería urbana para recuperar pilas y baterías*. 2022. La Voz. Recuperado en Septiembre de 2024 de <https://www.youtube.com/watch?v=932lZkwiNBA>
- Strunz. M. 2009. *Pilas: Mitos y Realidades*. ITBA. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Pp 189.
- UBA. 2009. *Estudio para la Identificación y Análisis de Pilas y Baterías*. Facultad de Ingeniería. Universidad de Buenos Aires. Pp27.
- Veloso. L, Rodrigues. L, Ferreira. D, Magalhães.S, Mansur. M. 2005. *Development of a hydrometallurgical route for the recovery of zinc and manganese from spent alkaline batteries*. Journal of Power Sources 152: 295–302.
- Zhang. W, Cheng. CY. 2007. *Manganese metallurgy review. Part I: Leaching of ores/secondary materials and recovery of electrolytic/chemical manganese dioxide*. Hydrometallurgy. 89: 137-159.

Anexos

Cálculos

Obtención de la masa inicial del proceso

RSU en Argentina

Peso Per Cápita (kg/hab/día) de RSU = 0.929 kg/hab/día= 929 g/hab/día

Porcentaje de pilas y baterías en los RSU

0,0123 % respecto del total de RSU generados.

Porcentaje de pilas sobre el total de pilas y baterías (se excluyen baterías Pb y baterías Li-ion)

Las pilas representan el 85% del total de pilas y baterías

Porcentaje de pilas primarias sobre el total de pilas y baterías

Las pilas primarias representan el 69 % del total de las pilas y baterías.

Porcentaje de pilas alcalinas y zinc carbón

Las pilas alcalinas y zinc carbón representan el 97,5 % del total de las pilas primarias.

Total, masa de pilas alcalinas en desuso por habitante por día en Argentina

$929 \text{ g/hab/día} * 0,000123 * 0,69 * 0,975 = 0,077 \text{ g/hab/día}$

Mar del Plata

Según el Censo 2022, el Partido de General Pueyrredón tiene 682605 habitantes.

Masa total de pilas alcalinas y salinas en desuso por día en General Pueyrredón

$0,077 * 682605/1000 = 52,56 \text{ kg/día}$

Masa total de pilas alcalinas y salinas en desuso por semana en General Pueyrredón

$52,56 * 7 = 367,92 \text{ kg/semana}$

Masa total de pilas alcalinas y salinas en desuso por día en General Pueyrredón

$52,56 * 30 = 1576,8 \text{ kg/mes}$

Masa total de pilas alcalinas y salinas en desuso por día en General Pueyrredón

$1576,8 * 12 = 18921,6 \text{ kg/año}$

Dado que el 56,88 % son pilas doble AA (Estudio UBA. 2015), para poder tener una pila estándar para trabajar, simplifico la situación considerando a todas las pilas como AA.

El peso estándar de una pila AA (ficha técnicas Energizer), es de 23 g

$$52560 / 23 = 2285 \text{ pilas alcalinas AA por día en General Pueyrredón}$$

Teniendo en cuenta que el 57 % de una pila alcalina corresponde a su masa negra (De Michelis et al, 2007). Entonces se obtiene:

$$52,56 * 0,57 = 30 \text{ kg de masa negra por día en General Pueyrredón.}$$

Balance de masas

Lixiviación neutra

densidad del agua = 997 kg/m³

relación sólido líquido 1/5 g/mL:

$$180 \text{ kg} / 900 \text{ L agua} = 180 \text{ kg masa} / 897,3 \text{ kg agua}$$

Porcentaje de potasio presente en la masa negra = 4.53 % = 8 kg

Agua perdida en secado 3 % = 27kg

Solución acuosa de KOH = 897,3 kg - 5,4 kg + 8 kg = 899,6 kg

masa negra seca (salida) = 180 kg - 3.5 kg - 8 kg = 168, 5 kg

Lixiviación ácida selectiva del zinc

relación sólido líquido $\frac{1}{3}$ g/mL:

$$168,5 \text{ kg} / 5055 \text{ L solución}$$

$$5055 \text{ L} = 5040 \text{ kg solución}$$

ácido sulfúrico 0,4 % V/V

Densidad ácido sulfúrico $\bar{\rho}$ = 1,84 g/mL

$$5055 \text{ L solución} * 0.004 = 20.22 \text{ L ác. sulfúrico}$$

$$20.22 \text{ L ác sulfúrico} = 37,23 \text{ kg}$$

masa de agua en la solución = 5040 kg - 37,23 kg = 5002,77 kg

% zinc en masa negra = 17,05 % = 180 kg * 0,1705 = 30.69 kg zinc

% manganeso en masa negra = 36,53 % = 180 kg * 0.3653 = 65,75 kg manganeso

solubilización completa del zinc = 30.69 kg

4.5 % del manganeso solubiliza = $65,75 \text{ kg} * 0.045 = 2.96 \text{ kg}$ manganeso

masa negra húmeda (salida) = $168,5 \text{ kg} - 3.3 \text{ kg} - 30.69 \text{ kg} - 2.96 \text{ kg} + 5 \text{ kg} = 131,55 \text{ kg}$

masa solución (salida) = $5040 \text{ kg} - 5 \text{ kg} + 2.96 \text{ kg} + 30,69 \text{ kg} = 5068,65 \text{ kg}$

Precipitación selectiva del zinc

$30,69 \text{ kg zinc} - (30,69 * 0,02) = 27.39 \text{ kg}$

solución (salida) = $5068,65 \text{ kg} - 0,9 \text{ kg} - 0,61 \text{ kg} - 30,08 \text{ kg} = 5037,06 \text{ kg}$

Lixiviación ácida selectiva del Manganeso con peróxido de hidrógeno

contenido seco de masa negra = $136.55 \text{ kg} - 5 \text{ kg} = 131,55 \text{ kg}$

relación sólido líquido $1/30 \text{ g/mL} = 131,55 \text{ kg} / 3946,5 \text{ L solución}$

ác. sulfúrico 3 % V/V = $3946,5 \text{ L} * 0.03 = 118,39 \text{ L}$ ácido sulfúrico concentrado

$118,39 \text{ L ácido sulfúrico} * 1,84 \text{ kg/L} = 217,84 \text{ kg ácido sulfúrico}$

volumen de agua en solución = $3946,5 \text{ L} - 118,39 \text{ L} = 3828,11 \text{ L agua}$

masa de agua en solución = $3828,11 \text{ kg} * 0,997 \text{ kg/L} = 3816,62 \text{ kg agua}$

peróxido de hidrógeno 2 % V/V = $3946,5 \text{ L} * 0,02 = 78,93 \text{ L}$

densidad peróxido de hidrógeno, $\delta = 1,45 \text{ g/mL}$

masa de peróxido de hidrógeno = $78,93 \text{ L} * 1,45 \text{ kg/L} = 114,45 \text{ kg}$

masa de manganeso presente = $65,75 \text{ kg} - 2,96 \text{ kg} = 62,79 \text{ kg manganeso}$

masa negra (salida) = $136,55 \text{ kg} - 62,79 \text{ kg} = 73,76 \text{ kg}$

Precipitación selectiva del manganeso

62,79 kg manganeso en solución que precipita.

pérdida de 2 % en filtrado.

óxido de manganeso seco (salida) = 61,53 kg