

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUÍMICA



“OBTENCION DE OXIDO DE ZINC A PARTIR DE PILAS CARBONO-ZINC DESECHABLES”

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO**

CHUQUICHANCA RAYME, ERICK JESUS

LEON TINEO, DIANA VIOLETA

Callao, 2019

PERU

DEDICATORIA

A Dios, por brindarnos la determinación y fortaleza para llegar a culminar esta etapa tan importante de nuestras vidas profesional.

A nuestras familias, por ser el motor que nos empuja día a día en el cumplimiento de nuestros objetivos.

A nuestro asesor, por brindarnos sus conocimientos y tiempo en el desarrollo de esta tesis.

PROLOGO DEL JURADO

La presente tesis fue Sustentada por los Bachilleres **CHUQUICHANCA RAYME ERICK JESÚS y LEÓN TINEO DIANA VIOLETA** ante el **JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS** conformado por los siguientes profesores ordinarios

ING. SANEZ FALCON LIDA CARMEN	PRESIDENTA
ING. ANGELES QUEIROLO CARLOS ERNESTO	SECRETARIO
ING. CARLOS PAREYRA LEONARDO RUFINO	VOCAL
ING. CARRASCO VENEGAS LUIS AMÉRICO	ASESOR

Tal como está asentado en el Libro de Actas N°02 de Tesis sin Ciclo de Tesis Folio N° 133 y Acta N°316 de fecha **NUEVE DE SETIEMBRE DEL 2019**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico en la modalidad de Titulación de Tesis sin Ciclo de Tesis, de conformidad establecido por el reglamento de Grados y Títulos aprobado por Resolución N° 245-2018-CU.- CALLAO, 30 DE OCTUBRE DEL 2018.

AGRADECIMIENTO

Nuestro especial agradecimiento a los catedráticos de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao por todos los conocimientos brindados durante los años de estudio y aprendizaje en nuestro desarrollo como profesionales. Al Dr. Luis Carrasco Venegas por impulsarnos y orientarnos en el desarrollo de esta investigación. Al Ing. Roberto Lazo por los consejos brindados de su experiencia profesional. Al personal administrativo de la Facultad de Ingeniería Química de la UNAC por su apoyo en cada etapa de esta tesis.

A las empresas ALS Perú S.A y Quimtia S.A por brindarnos el asesoramiento en el desarrollo de ciertas caracterizaciones llevadas a cabo en esta investigación.

Y por último a todas las personas que directa e indirectamente contribuyeron para la realización de la presente investigación.

ÍNDICE

INDICE	1
ÍNDICE DE TABLAS.....	3
ÍNDICE DE FIGURAS	4
RESUMEN.....	6
ABSTRACT	7
I.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
1.1. Descripción de la realidad problemática	8
1.2. Formulación del problema	9
1.2.1. Problema general	9
1.2.2. Problema específico	9
1.3. Objetivos de la investigación	10
1.3.1. Objetivo General.....	10
1.3.2. Objetivos específicos.....	10
1.4. Limitantes de la investigación	10
II.MARCO TEÓRICO	13
2.1. Antecedentes.....	13
2.2. Bases teóricas	17
2.2.1. El Zinc	17
2.2.2. Pilas	29
2.2.3. Óxido de zinc	38
2.3. Definición de términos básicos	47
III.VARIABLES E HIPÓTESIS	49
3.1 Definición de las variables en la investigación.....	49
3.2 Operacionalización de variables	50
3.3 Hipótesis General	51
3.4 Hipótesis Específicas.....	51

IV.METODOLOGÍA	52
4.1 Tipo de Investigación	52
4.2 Diseño de la Investigación	52
4.3 Población y muestra	58
4.4 Técnica e instrumentos de recolección de datos	59
4.5 Procedimiento de recolección de datos	62
V.RESULTADOS	76
VI.DISCUSIÓN DE RESULTADOS	90
6.1 Contrastación de hipótesis con los resultados.....	90
6.2 Contrastación de resultados con otros estudios similares	92
VII.CONCLUSIONES	94
VIII.RECOMENDACIONES	95
IX.REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	96
ANEXOS	99
ANEXO I: Matriz de consistencia	99
ANEXO II: D.S 001-2012-MINAM Reglamento Nacional para la gestión y manejo de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.....	100
ANEXO III: Análisis de zinc por complexometría.....	108
ANEXO IV: Método ICP61	110
ANEXO V: Determinación de óxido de zinc.....	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Otras aleaciones de zinc.....	23
Tabla 2: Operacionalización de variables.....	50
Tabla 3: Diseño experimental para la determinación del tiempo de lixiviación con ácido sulfúrico.....	55
Tabla 4: Diseño experimental para la determinación de la concentración adecuada del hidróxido de sodio.....	55
Tabla 5: Diseño experimental para la determinación del pH adecuado de la reacción.....	56
Tabla 6: Diseño experimental para la determinación de la temperatura de calcinación.....	57
Tabla 7: Diseño experimental para la determinación del tiempo adecuado de calcinación.....	57
Tabla 8: Técnicas y normas para análisis químico.....	59
Tabla 9: Equipos, materiales, reactivos y soluciones.....	61
Tabla 10: Porcentaje de zinc por método volumétrico Zn-VOL70.....	76
Tabla 11: Resultados de análisis por ICP de la pila carbono-zinc desechable.....	77
Tabla 12: Estequiometría de la reacción del zinc en la lixiviación con ácido clorhídrico.....	78
Tabla 13: Estequiometría de la reacción del zinc en la lixiviación con ácido sulfúrico.....	80
Tabla 14: Concentración del zinc lixiviado a diferentes tiempos.....	81
Tabla 15: Cantidad de hidróxido de Zinc formado utilizando diferentes concentraciones de hidróxido de sodio.....	82
Tabla 16: Cantidad de hidróxido de zinc precipitado con respecto al pH de la reacción.....	84
Tabla 17: Determinación de la temperatura de calcinación.....	86

Tabla 18: Determinación del tiempo de calcinación.....	88
Tabla 19: Determinación del rendimiento del óxido de zinc.....	89

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribución del consumo del zinc metálico en función a su aplicación.....	19
Figura 2: Producción y consumo del zinc 2008.....	24
Figura 3: Producción de zinc en minería 2008.....	24
Figura 4: Desechos como fuente de minerales.....	26
Figura 5: Esquema de una pila alcalina.....	30
Figura 6: Esquema de una pila zinc-carbon.....	33
Figura 7: Consumo mundial de óxido de zinc.....	41
Figura 8: Consumo mundial por aplicaciones del óxido de zinc.....	43
Figura 9: Interacción de variables.....	49
Figura 10: Esquema de muestreo.....	58
Figura 11: Equipos utilizados en el análisis de contenido de zinc	60
Figura 12: Reactor esférico de tres bocas.....	60
Figura 13: Otros equipos.....	62
Figura 14: Diagrama de bloques del proceso de obtención del óxido de zinc.....	63
Figura 15: Reducción de tamaño de carcasa de la pila.....	64
Figura 16: Lixiviación con ácido clorhídrico.....	65

Figura 17: Lixiviación con ácido sulfúrico.....	66
Figura 18: Disolución de la solución sulfatada.....	67
Figura 19: Separación de impurezas de la solución.....	68
Figura 20: Separación de interferentes de la solución.....	69
Figura 21: Precipitación del hierro.....	69
Figura 22: Compuesto de hierro Jarosita.....	70
Figura 23: Formación del hidróxido de zinc.....	71
Figura 24: Obtención del hidróxido de zinc a diferentes condiciones.....	72
Figura 25: Etapa de calcinación en la obtención del óxido de zinc.....	74
Figura 26: Óxido de zinc.....	75
Figura 27: Concentración del zinc lixiviado con respecto al tiempo.....	81
Figura 28: Formación de hidróxido de zinc considerando diferentes concentraciones del hidróxido de sodio y el pH.....	83
Figura 29: Cantidad de hidróxido de zinc formado con respecto al pH.....	85
Figura 30: Determinación de la temperatura de calcinación respecto al porcentaje de pureza del óxido de zinc.....	87
Figura 31: Tiempo de calcinación con respecto a la cantidad de óxido de zinc formado.....	88

RESUMEN

El alcance del presente trabajo tuvo la finalidad de obtener óxido de zinc a partir de las pilas de carbono-zinc desechables; las pilas de carbono-zinc desechables fueron recolectadas de los contenedores de almacenamiento de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos de la empresa Quimtia S.A, materia prima caracterizada en cuanto al contenido de zinc para su utilización en el proceso de obtención del Óxido de zinc mediante lixiviación ácida y posterior precipitación y calcinación. La reutilización de las pilas es de acuerdo a los lineamientos indicados en el D.S. 001-2012-MINAM Gestión y Manejo de RAEE.

En este trabajo se empleó el método de lixiviación ácida en la preparación de la muestra utilizando ácido clorhídrico como primer agente lixivante y posterior a ello ácido sulfúrico hasta obtener una solución de sulfato de zinc purificada. Se encontró que el contenido de zinc en las pilas de carbono-zinc desechables fue 20.35%. Se logró precipitar el hidróxido de zinc utilizando hidróxido de sodio al 30% bajo condiciones de temperatura ambiente y a un pH de reacción de 6.5, bajo estos parámetros se logró precipitar la mayor cantidad de hidróxido de zinc. En la etapa de calcinación, los resultados demostraron que el mayor porcentaje de pureza del óxido de zinc formado es de 86% a una temperatura de calcinación de 850 °C por una hora de proceso.

ABSTRACT

The purpose of this work was to obtain zinc oxide from disposable carbon-zinc batteries; Disposable carbon-zinc batteries were collected from the storage containers of Waste Electrical and Electronic Equipment of Quimtia S.A, a raw material characterized in terms of zinc content for use in the process of obtaining zinc oxide by acid leaching and later precipitation and calcination. There use of the batteries is according to the guidelines indicated in D.S. 001-2012-MINAM.

In this work, the acid leaching method was used in the preparation of the sample using hydrochloric acid as the first leaching agent and subsequently sulfuric acid until a purified zinc sulfate solution. It was found that the zinc content in the disposable carbon-zinc batteries was 20.35%. It was possible to precipitate the zinc hydroxide using 30% sodium hydroxide under ambient temperature conditions and at a reaction pH of 6.5, under these parameters it was possible to precipitate the greatest amount of zinc hydroxide. In the calcination, the results showed that the highest percentage of purity of the zinc oxide formed is 86% at a calcination conditions about temperature of 850 ° C for one hour of processing.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

La minimización y control de los residuos industriales está siendo crecientemente importante a la luz de las necesidades concurrentes de protección ambiental y competitividad. En nuestro país los sectores que generan mayores volúmenes de residuos industriales son la industria metalúrgica (68.7%), las industrias de metales comunes (11%), las imprentas (10.6 %), las refinerías de petróleo (6%) y las textilerías y curtiembres (2%). En Lima y Callao, se puede apreciar que la industria de metales no ferrosos del total de residuos generados se recicla 61.5 %, los residuos, no se disponen en rellenos sanitarios; y el 15.4 % de estos residuos son dispuestos a cielo abierto. (Vega Montenegro Lupe, 2005)

El zinc, uno de los metales que en su uso genera residuos, se encuentra en diversos materiales u objetos, como en las pilas de carbono-zinc que son de alto uso en los equipos electrónicos portátiles y que tras agotarse forman parte de los residuos sólidos considerados peligrosos. En los últimos 30 años, el consumo de pilas y baterías ha crecido considerablemente (De Souza et al., 2001). La gran mayoría de las pilas y baterías de equipos electrónicos son arrojadas con el resto de la basura domiciliaria, siendo vertidas en su

conjunto en botaderos a cielo abierto, y un porcentaje mínimo en rellenos Sanitarios y/o de Seguridad.

Por tal motivo se trata a las pilas desechables de carbono-zinc mediante purificación química convirtiéndose en materia prima para la obtención de productos derivados del zinc como es el óxido de zinc.

El óxido de zinc (ZnO) tiene una gran cantidad de aplicaciones en la industria farmacéutica y cosmética, la industria metalúrgica, la industria de componentes y baterías eléctricos y otras industrias manufactureras de espejos, monedas, cementos dentales, pinturas, etc. Estas industrias podrán obtener ZnO de primera calidad, provenientes de las pilas desechables.

En el presente trabajo se pretendió obtener Óxido de Zinc a partir de un residuo sólido peligroso como es la pila carbono-zinc utilizando un proceso hidrometalúrgico.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál debe ser el proceso de obtención del óxido de zinc a partir de pilas carbono-zinc desechables?

1.2.2. Problema específico

a) ¿Cuál es el contenido de zinc presente en las pilas carbono-zinc desechables?

- b) ¿Cuáles son las condiciones de operación en la obtención de óxido de zinc a partir de pilas carbono-zinc desechables?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo General

Determinar el proceso de obtención del óxido de zinc a partir de pilas carbono-zinc desechables.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Determinar el contenido de zinc en las pilas carbono-zinc desechables.
- b) Establecer las condiciones de operación en la obtención de óxido de zinc a partir de pilas carbono-zinc desechables.

1.4. Limitantes de la investigación

Las razones de la limitante de la investigación son las siguientes:

1.4.1. Teórico

- Actualmente en el Perú no existe una cultura global sobre el manejo y disposición final de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos como son las pilas de carbono-zinc desechables según lo indicado en el D.S001-2012-MINAM.

Reglamento Nacional para la Gestión y Manejo de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE).

- No existen fuentes bibliográficas de régimen nacional sobre el aprovechamiento de las pilas de carbono-zinc desechables como materia prima para la obtención de otros compuestos.
- No existe un dato estadístico del consumo de pilas per cápita y de la deposición final de las pilas en rellenos sanitarios de seguridad.

1.4.2. Temporal

- Existe la probabilidad de no cumplir el programa de pruebas experimentales debido a no poder contar con la disponibilidad del tiempo de laboratorio del lugar de análisis
- El desconocimiento del tiempo a emplear para cada prueba según las etapas del proceso.

1.4.3. Espacial

- Falta de disponibilidad de personal a cargo de las instalaciones de laboratorio donde se realizaron las pruebas experimentales.

- Aceptación del uso de espacio y equipos especializados en los laboratorios de empresas tercera como soportes requeridos en la investigación de la tesis.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Romina Falco, María Lorena (2013) en su tesis doctoral **“Optimización de un proceso biohidrometalúrgico de recuperación de metales de pilas alcalinas y de cinc-carbón agotadas”** realizó un estudio de este proceso en una planta piloto constituida por dos biorreactores air-lift donde se produce medio ácido reductor mediante las bacterias acidófilas *Acidithiobacillus thiooxidans*, este medio se mezcla con las pilas en el reactor de lixiviación donde se extraen cinc y manganeso. La solución de estos metales se traslada al reactor de recuperación donde se obtiene el producto final del proceso: cinc y manganeso en forma de sales, óxidos o metales dependiendo del proceso de recuperación utilizado: electrólisis o extracción líquido-líquido. La productividad máxima de los biorreactores fue de 25mMH⁺/día, equivalente a una producción mensual de 51 moles de H⁺. La eficiencia máxima de lixiviación para el cinc fue 100% y para el manganeso, 60%. En los ensayos de electrólisis, el cinc se depositó en el cátodo con un 90% de pureza y el MnO₂ en el ánodo, con una pureza de un 82%. En la extracción líquido-líquido, utilizando Cyanex 272 (ácido bis-2,4,4-trimetilpentil fosfínico), la eficiencia de extracción fue 90% para el cinc y 10% para el manganeso. Los óxidos de manganeso obtenidos

en este proceso pueden ser utilizados como catalizadores para la eliminación de COVs.

Pérez Macías, John Henry (2011) en su tesis denominada **“Obtención de polvos de zinc por vía electrolítica”**, incluye en su metodología el diseño y selección de materiales para la construcción de la celda electroquímica, el sistema de secado implementado y el estudio de las variables del proceso, que permitan validar las condiciones óptimas de producción de polvos de zinc por vía electrolítica, con resultados satisfactorios. La versatilidad para aplicar diferentes tratamientos a las piezas que salen del proceso de pulvimetalurgia le da una gran ventaja a este método de fabricación de piezas.

Bisang J. M. (2006) en su trabajo de investigación **“Producción electroquímica de polvos metálicos”** estudia la producción de polvos metálicos por vía electroquímica en la cuales se discuten los parámetros que condicionan sus características y propiedades. Los polvos metálicos ocupan un rol importante y en la práctica industrial ellos son usados en la fabricación de piezas dando origen a la pulvimetalurgia en nuestro país, como reactivos en la industria química y en procesos catalíticos o de adsorción donde son apreciados por su alta área específica. Los mayores argumentos para la producción de piezas estructurales por pulvimetalurgia son:

tamaños y formas exactas, peso definido, mecanizado despreciable, alta eficiencia en el uso de materiales y bajo consumo de energía.

Herrero Villalibre, Diego (2010) en su tesis doctoral "**Desarrollo de procesos hidrometalúrgicos para la fabricación de compuestos de zinc a partir de óxido waelz**" desarrollada en España, pretende estudiar la recuperación de zinc a partir de óxido Waelz, un concentrado de óxido de zinc y plomo, mediante procesos hidrometalúrgicos con el fin de obtener un producto de compuesto de zinc de la calidad.

El proceso Waelz se fundamenta principalmente en el tratamiento de los polvos de acería en un horno rotativo, denominado horno Waelz, en el que se producen las reacciones de oxidación – reducción necesaria para separar los metales pesados, fundamentalmente zinc y plomo, que son reoxidados formando el óxido Waelz. El resto de los elementos presentes en los polvos de acería, principalmente óxidos de hierro, cal y sílice, dan lugar a escorias inertes no ecotóxicas. Éstas, una vez transformadas, constituyen un subproducto denominado Ferrosita, con diversas aplicaciones en siderurgia.

Casal Ramos, Julio Andrés (2011) desarrolló la investigación **“Síntesis de sales de zinc mediante la valoración de un residuo proveniente de una industria de galvanizado en caliente de Venezuela”**. En esta investigación se caracterizó los polvos de galvanizado provenientes de una planta venezolana ubicada en el occidente del país, obteniendo que en su mayoría se encontraban formados por zinc y en menor grado por otros elementos como hierro, sodio, potasio, magnesio y calcio. Un análisis cualitativo de fases DRX reveló la presencia de óxido de zinc (ZnO) y zinc metálico (Zn) como fases predominantes del residuo estudiado. La producción de sales de zinc provenientes del galvanizado se realizó por dos metodologías con ligeras variaciones. Estas metodologías se realizaron para la comparación por vía húmeda el cual ambas se disolvieron con HCl 5M y se hizo reaccionar una con ácido cítrico comercial y otra con una solución de NaOH 5M luego a ambas se les adicionó el reactivo de etanol. Por ambos procesos se obtuvo un producto blanco y en forma de polvo que fue caracterizado por picnometría, MDB, IRTF Y DRX resultando que en ambos productos sintetizados presentaban las mismas fases: acetato de zinc, lactato de zinc, citrato de sodio, y cloruro de sodio. El análisis químico reveló que la cantidad de zinc alcanzaba el 21% en pesos mientras que el sodio varió de 12% a 5% en peso respecto a las muestras comparadas. Por otra parte zinc fueron muy parecidas en densidad,

tamaño de partícula, superficie específica y morfología. Este método es rentable por su bajo costo y además de mejorar las características del producto.

2.2. Bases teóricas

2.2.1 El Zinc

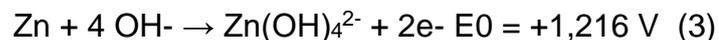
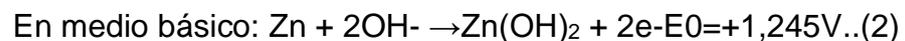
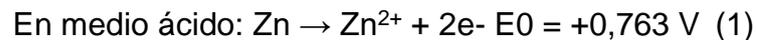
a) Propiedades

El zinc es un metal cristalino de color blanco, ligeramente azulado, y brillante. Se trata de un metal quebradizo a bajas temperaturas, pero se vuelve muy maleable y dúctil entre 100 y 150 ° C. El zinc es insoluble en agua, y soluble en alcohol, en ácidos, con desprendimiento de hidrógeno y NO_x -sólo cuando se disuelve en ácido nítrico-, y álcalis. En contacto con la humedad se cubre con una capa de óxido o carbonato básico de color grisáceo que lo aísla, protegiéndolo contra la corrosión. Prácticamente el único estado de oxidación (E.O.) que presenta el zinc es el +2. En el año 2004 se publicó la preparación del primer y único compuesto conocido de zinc con E.O. +1 (Resa, I.; Carmona, E.; Gutiérrez-Puebla, E.; Monge, A. 2004 Vol 305), la fórmula del compuesto es R-Zn₂-R y contiene enlaces Zn – Zn

análogos a los enlaces metal – metal que se encuentran en el ión Hg_2^{2+} .

El zinc es un elemento anfótero, formando iones de zinc divalentes tanto en medio ácido como en medio neutro, e iones zincato en disoluciones básicas.

El metal es muy buen agente reductor. El alto potencial de reducción del zinc tanto en medio ácido (ver reacción 1), como en medio básico (ver reacción 2 y 3), se muestra a través de sus potenciales estándar de reducción (Porter, F.1991 pg. 533):



Estos potenciales relativamente elevados representan un gran gradiente potencial en las reacciones de oxidación anteriores. Esto es así para zinc que actúa anódicamente, o como agente reductor.

El zinc es capaz de generar una gran energía eléctrica que favorece la utilización de polvo de zinc en pilas y baterías. Otro factor favorable es el bajo peso equivalente del zinc: 32,704, así como su baja pérdida de polarización. Otra característica

electroquímica importante es que el sobrevoltaje de hidrógeno en el zinc es elevado.

b) Compuestos del zinc

Los compuestos químicos que contienen zinc suponen alrededor de un 6 % (ver Figura 1) del consumo mundial de zinc. El óxido de zinc es cuantitativamente el más importante, seguido del sulfato de zinc heptahidratado, el cloruro de zinc y el fluoruro de zinc. En los últimos años se ha producido un aumento en el consumo de compuestos como el tiocarbonato de zinc y el estearato de zinc. Dicho aumento está relacionado, principalmente, con la producción de plásticos. A pesar de ello, estos compuestos, y el resto de compuestos de zinc, son de menor importancia desde un punto de vista de consumo.

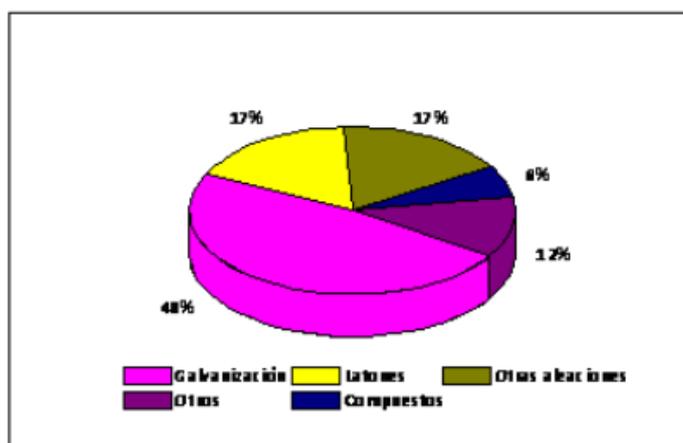


Figura 1. Distribución del consumo del zinc metálico en función a su aplicación. Asociación Latinoamericana del Zinc, Latiza.

- Sulfato de Zinc

Existen diferentes tipos de sulfato de zinc en función de su grado de hidratación. Los más comunes son el sulfato de zinc heptahidratado y el monohidratado. El sulfato de zinc heptahidratado se obtiene mediante lixiviación en medio sulfúrico de materiales que contienen zinc. La disolución purificada de sulfato de zinc se evapora hasta que su densidad relativa es de 1,4 a 80 ° C. Durante el enfriamiento se forman los cristales de sulfato de zinc heptahidratado. Los cristales obtenidos se pueden secar a 30 ° C para evitar eflorescencia. El sulfato de zinc monohidratado se produce por deshidratación térmica o por deshidratación con etanol al 95 %.

Las aplicaciones del sulfato de zinc se centran en la fabricación de baños de precipitación, en su utilización como electrolito para baños de galvanizado, como aditivos en fertilizantes y piensos, como astringente o desinfectante en medicina, como conservante de la madera y aditivo para blanquear papel y en el tratamiento de aguas.

- Cloruro de zinc

El método más habitual de obtener cloruro de zinc de alta pureza es a partir de zinc y ácido clorhídrico en estado gaseoso a 700 ° C (Habashi, F.1997Vol. IIpg 128). Cuando no

se precisa una gran pureza en el cloruro de zinc, se disuelve el zinc contenido en diferentes materias primas en ácido clorhídrico concentrado. El licor resultante contiene diversas cantidades de hierro, plomo, manganeso, cobre y cadmio. Después de las pertinentes etapas de purificación, la disolución se evapora obteniéndose el cloruro de zinc.

Los usos principales del cloruro de zinc están relacionados con su utilización como material de relleno en baterías y pilas, como antiespumante en procesos petroquímicos, en la fabricación de desodorantes y en diversas aplicaciones químicas, tales como la hidroclicación de etanol a monocloroetano o la hidrólisis catalítica del benzotricloruro.

- Fluoruro de zinc

El fluoruro de zinc tetrahidratado se forma cuando carbonato u óxido de zinc reaccionan con una disolución de ácido fluorhídrico.

El fluoruro de zinc se utiliza como aditivo en los baños de galvanización electrolítica, en esmaltes de porcelana, y en algunos vidrios especiales con índice de refracción elevado. También se utiliza como fluido soldador y como agente de fluoración en síntesis orgánicas.

- Óxido de Zinc

El óxido de zinc se puede producir a través de diversos procesos. Su pureza y su calidad dependen del método que se haya empleado en su producción. En el método indirecto, también conocido como método francés, se calienta y se oxida el zinc puro fundido al ponerlo en contacto con una corriente de aire. Se forma un óxido de zinc de gran pureza que se recoge en unas cámaras de sedimentación donde se separa en función del tamaño de partícula. A este compuesto se le conoce normalmente como zinc blanco. En el proceso directo, o proceso americano, las materias primas utilizadas son minerales y coproductos de zinc, que normalmente contienen plomo. Un material que contiene carbono se calienta con la materia prima, reduciéndose ésta para generar vapor de zinc. Este vapor se oxida con aire y se separa según el tamaño de partícula.

Los materiales de partida para los procesos químicos húmedos son disoluciones purificadas de zinc. Se precipita carbonato o hidróxido de zinc y se filtra la disolución. A continuación, el sólido obtenido se lava, se seca y se calcina a unos 800 ° C (Habashi, F1997Vol. IIpg 225).

- Principales aleaciones de zinc

En lo que a las aleaciones de zinc se refiere, la más conocida es el latón. Esta aleación está formada por cobre y zinc del cual entre el 55 y el 90 % es de cobre, siendo el resto zinc. La producción de latón representa el segundo mercado para el zinc. En función de las propiedades que se desea conseguir se varían las proporciones de la mezcla y se pueden agregar otros elementos tales como el níquel o el estaño. En la tabla 1 se muestran otras aleaciones de zinc menos conocidas.

Tabla 1

Otras aleaciones de zinc

Nombre	Otros elementos además del zinc
Maillechort	Cobre y níquel
Metal inglés	Estaño (70-94%), plomo (0 - 9%), antimonio (5-24%) y cobre (0-5%)
Tombac	Cobre (80-83%)
Zamak	Aluminio (3.9-4.3%), magnesio (0.03-0.06%) y cobre (1-3%)

Herrero Villalibre. 2016.

c) Mercado del zinc

- Mercado del zinc metálico

El zinc ocupa el cuarto lugar a nivel de producción de metal en el mundo, superado únicamente por el hierro, el aluminio y el cobre. Aunque se explota en más de 50 países, los cinco

primeros productores, China, Australia, Perú, EEUU y Canadá, se reparten alrededor del 65%(Latiza, 2008) de la producción mundial (Ver figura 2 y figura 3).

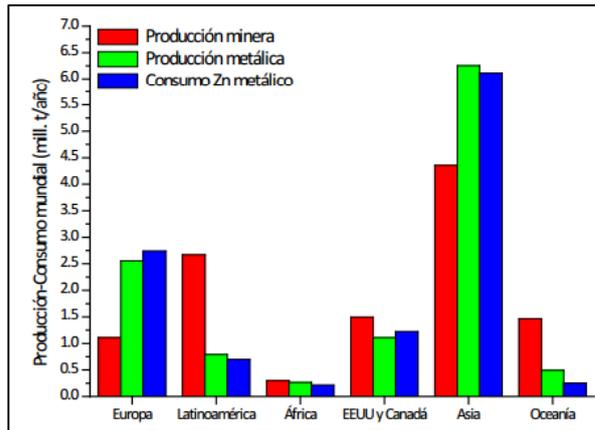


Figura 2. Producción y consumo de zinc 2008. Asociación Latinoamericana del Zinc, Latiza.

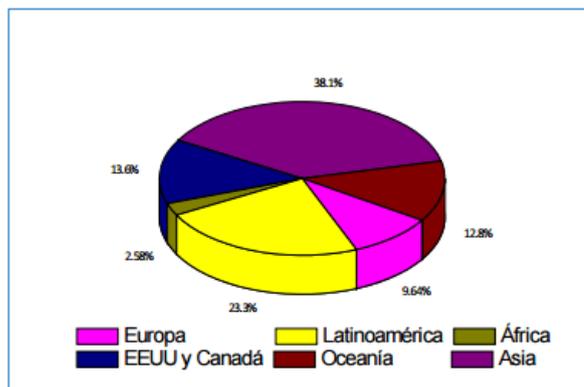


Figura 3. Producción de zinc en minería 2008. Asociación Latinoamericana del Zinc, Latiza.

- Reciclaje del zinc

El zinc, cuyo consumo anual en el mundo es superior a los 9 millones de toneladas, es un metal de usos y aplicaciones múltiples que se puede reciclar indefinidamente sin que pierda sus propiedades físicas o químicas. Gracias a la durabilidad de la mayor parte de los productos de zinc, este metal constituye un recurso muy valioso y sostenible para futuras generaciones. En la actualidad, el 30% de la producción mundial de zinc proviene del reciclado y aproximadamente el 80% del zinc disponible para su reciclaje realmente se recicla (Befesa Zinc S. A., 2002).

Se obtienen 600,000 TM de zinc solo de latón reciclado y se espera para este año que los desechos de acero protegidos con zinc destinados al reciclaje aumenten en un 50%(Latiza, 2008).

Los desechos provenientes de productos de latón son los más usados para reciclar zinc, representando un 42% del total de zinc reciclado. Los residuos provenientes del galvanizado representan el 27% del total de zinc reciclado, luego con un 16% se encuentra los desechos de las piezas de zinc fundadas a presión, el polvo de zinc filtrado por los hornos de las acerías representa un 6% al igual que las chapas de acero

y en último se encuentran los compuestos de zinc (Ver figura 4).

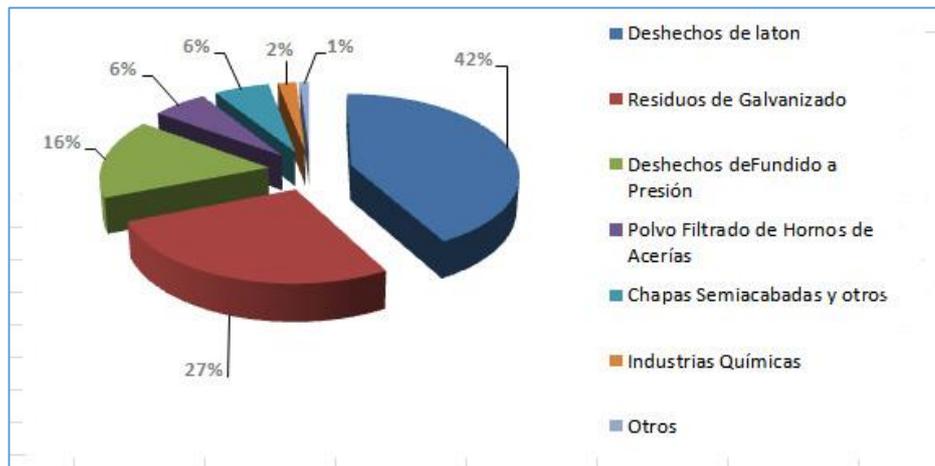


Figura 4. Desechos como fuente de minerales. Asociación Latinoamericana del Zinc, Latiza.

Chatarra de Acero cubierta de zinc

En lo que respecta al reciclado de la chatarra de acero recubierto de zinc, se produce sobre todo de dos fuentes: la chatarra de procesos de fabricación y la de productos obsoletos. Normalmente la chatarra nueva se produce durante la fabricación de la chapa acero recubierto de cinc o durante la fabricación de vehículos, componentes para la construcción y otros procesos de fabricación de piezas. El volumen de residuos de chapa galvanizada defectuosa que se genera en las líneas de galvanizado continuo oscila entre el 0,5 y el 2% de la producción.

La chatarra de productos obsoletos (denominada muchas veces chatarra vieja) está formado por electrodomésticos y vehículos cuya vida útil llega a su fin, conducciones de aire acondicionado que se recuperan de edificios a demoler, vallas protectoras que se desmontan de autopistas y carreteras, postes de alumbrado, etc.

Reciclado de vehículos

Los automóviles y demás vehículos se fabrican con multitud de materiales. Las cantidades varían en función del diseño, pero el acero es, con mucho, el material predominante. La carrocería de un automóvil moderno se fabrica principalmente con chapa de acero recubierto de zinc, que mejora la resistencia de la corrosión del acero. Si el acero no estuviera correctamente protegido contra la corrosión, la vida de los automóviles sería más corta, lo que aumentaría el consumo de recursos naturales en la fabricación de nuevos vehículos que sustituyeran a los dañados por la corrosión. Cada año se convierten en chatarra solo en Europa, más de 10 millones de automóviles. Los autos que ya cumplieron su vida útil se recogen y desguazan parcialmente antes de enviarlos a las plantas de trituración.

La trituradora produce chatarra de acero recubierto de zinc, otros metales, caucho y plásticos. Los materiales que produce

la trituradora se separan en tres categorías: chatarra de acero, que incluye acero con y sin recubrimiento, otros metales y una mezcla de caucho, plásticos, espuma, que se procesan en industrias ajenas a la metalúrgica. El material formado por “otros metales”, contiene aluminio, cobre y aleaciones de zinc y acero inoxidable. Este material es procesado y recuperado. Finalmente, el acero de zinc que se recupera en la trituradora pasa a formar parte de la materia prima de las acerías, en hornos donde se separa el zinc y el acero para producir nuevos productos. El zinc se separa del acero en este proceso convirtiéndose en un óxido que forma parte del polvo que sale del horno en forma de humo. El polvo se recoge y pasa a ser una materia prima con la que se produce zinc y otros productos que contienen zinc.

Baterías y pilas

El zinc se utiliza en la fabricación de una variedad de batería, tanto primarias y recargables, de consumo e industriales. El más conocido de estos químicos son las baterías de pilas de zinc-carbón y alcalinas, que juntas dominan el nivel AAA, AA, C y D.

Sirven para la prótesis de oído, las computadoras portátiles y teléfonos móviles; para accionar los vehículos eléctricos de cero - emisión como autobuses, camionetas postales, carros

de entrega y sillas de ruedas; para accionar unidades de aire acondicionado en los carros.

2.2.2. Pilas

Dispositivo capaz de generar electricidad a partir de una reacción redox espontánea. Son dispositivos de energía portátil que pueden servir como fuente de energía eléctrica directa a un voltaje constante. Están compuestas principalmente de un cátodo, un ánodo, y una solución salina que actúa como electrolito.

a) Tipos de pilas

Existen varios tipos de pilas que difieren entre sí en su composición química, se pueden clasificar en dos grupos: primarias y secundarias.

Pilas primarias: son aquellas pilas en las que su fuente de energía es una reacción química irreversible. Es decir, sólo pueden utilizarse hasta su descarga completa y luego deben ser descartadas.

Pilas secundarias: Son aquellas pilas que utilizan como fuente de energía una reacción química reversible. Por lo tanto, pueden recargarse y tienen varios ciclos de uso, aunque su vida útil termina luego de varias recargas dependiendo del

número de cargas, del tipo de pila y de la tecnología utilizada para su construcción (Mortimer, 1983 pg. 121).

- Pilas Alcalinas

Las pilas alcalinas están compuestas por un ánodo de cinc de una gran superficie específica, un cátodo de dióxido de manganeso de alta densidad, y un electrolito de hidróxido de potasio. En la figura 5 se ilustra el corte de una pila alcalina típica.

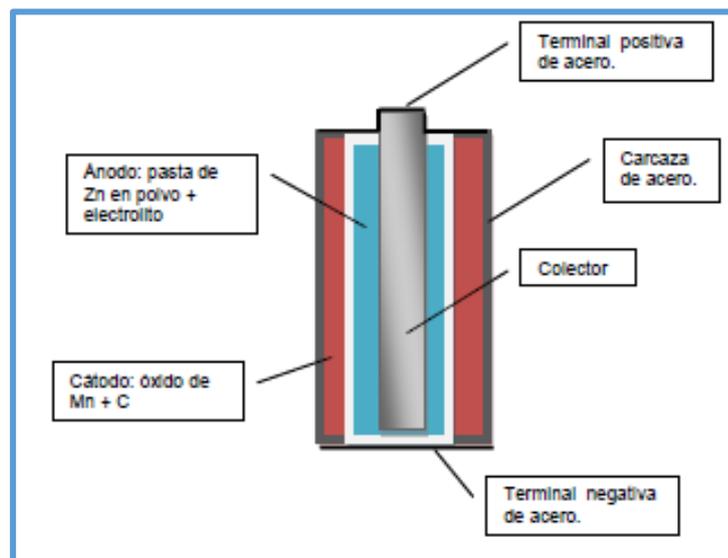


Figura 5. Esquema de una pila alcalina.

Cátodo: es una mezcla de dióxido de manganeso electrolítico de alta pureza y carbón conductor.

Ánodo: es una mezcla gelatinosa de cinc en polvo y electrolito.

Separadores: están compuestos de materiales especiales que previenen la migración de partículas sólidas en la pila.

Carcaza de acero: es el envase que contiene los materiales activos de la pila, y sirve como colector del cátodo.

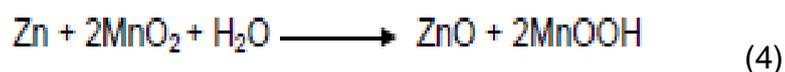
Colector de latón: es el colector del ánodo.

Terminales positivas y negativas: son las superficies de contacto, están hechas de acero niquelado.

Film plástico: es el envoltorio plástico que aísla eléctricamente la pila.

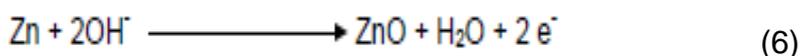
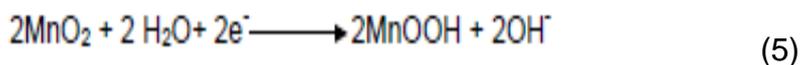
- Electroquímica de las pilas alcalinas

Una pila alcalina produce electricidad cuando el cátodo de dióxido de manganeso es reducido y el ánodo de cinc oxidado, según la reacción (4):



Durante esta reacción se consume agua y se produce el ion hidroxilo (OH⁻) en el cátodo, como lo describe reacción (5).

Mientras que en el ánodo, se consume el ion hidroxilo y se produce agua (ver reacción 6).



La velocidad de reacción depende de la calidad de la materia prima y de la disponibilidad de OH⁻ y agua. Cátodo y ánodo

se separan para que la reacción no ocurra si no está el circuito cerrado, esto ocurre cuando la pila se conecta a un artefacto y éste se enciende, entonces los electrones comienzan a fluir. La mayoría de las pilas alcalinas están diseñadas para operar en un rango determinado de voltaje, entre 1,6 y 0,9 V por celda (Energizer, 2008).

- Zinc – Carbón

Están divididas en dos grupos: LeClanché o Cloruro de Cinc. Ambos sistemas están compuestos por un ánodo de cinc, cátodo de dióxido de manganeso y un electrolito ligeramente ácido. La diferencia entre estos dos tipos de pilas de cinc-carbón es precisamente el electrolito. En el caso de las pilas LeClanché, el electrolito es una mezcla de cloruro de amonio y cloruro de cinc en agua. Para las pilas Cloruro de Cinc, como su nombre lo indica, el electrolito es una solución de cloruro de cinc en agua. A continuación se describen detalladamente las partes de una pila de cinc-carbón (ver figura 6).

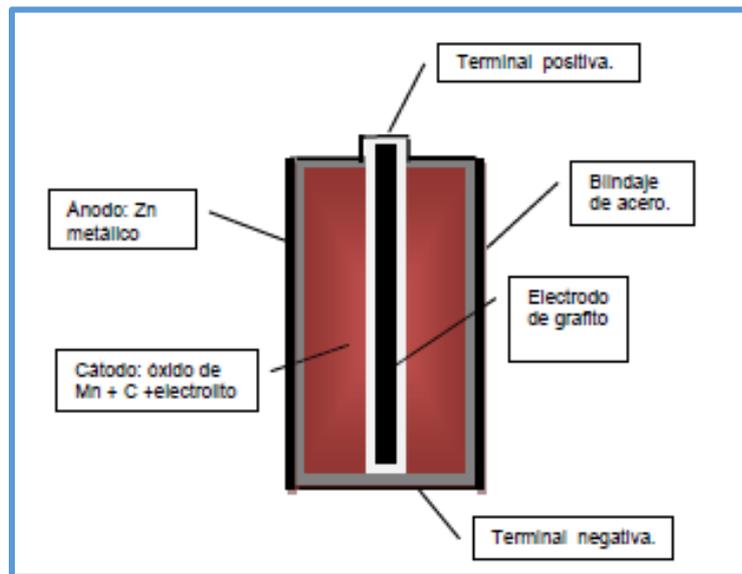


Figura 6. Esquema de una pila zinc-carbón.

Cátodo: Es una mezcla de óxido de manganeso y carbón conductor, generalmente en forma de carbón *black2*, y electrolito.

Ánodo: compuesto por una aleación de cinc de alta pureza, es también el envase que encierra los materiales activos de la pila.

Electrodo de carbón: es el colector de la corriente catódica.

Separadores: de pasta de almidón o papel estucado, que previenen la migración de partículas sólidas dentro de la pila.

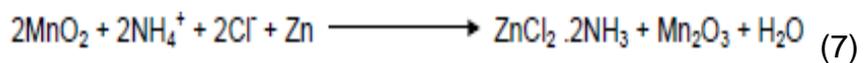
Terminales positivo y negativo: de acero cromado.

Cubierta exterior de nylon o plástico y sellado plástico. Para aislar la pila y evitar la pérdida de sus componentes (Eveready, 2001).

- Electroquímica de las pilas Zinc – Carbón

LeClanché

Este tipo de pilas funciona mediante la reacción química (7):



El voltaje de este tipo de pila es de 1,55 V (Eveready, 2001).

Cloruro de Zinc

La reacción que ocurre en este tipo de pilas es la descrita en la ecuación (8). Generalmente poseen mayor proporción de carbón *blacken* el cátodo, mayor cantidad de electrolito, y mayor acidez del mismo, en comparación con las pilas LeClanché.

El voltaje promedio es de 1,60 V.



(8)

b) Recuperación de metales reciclables en pilas

En la actualidad existen numerosos enfoques a nivel internacional para encontrar la solución al problema de las pilas agotadas, pero ninguno de ellos ha sido aceptado universalmente. La tecnología nos brinda diferentes alternativas para la disposición final y/o tratamiento de las pilas como por ejemplo rellenos sanitarios de seguridad, estabilización, incineración o reciclado (Bernardes *et al.*, 2004). En los últimos años varias tecnologías para el reciclado

de pilas y baterías han sido desarrolladas en muchos países, entre ellas está la pirometalurgia, hidrometalurgia (lixiviación ácida, lixiviación alcalina, lixiviación ácido-reductora, extracción por solvente, electrólisis y precipitación química) (Sayilgan, 2009; Moscardini, 2008; De Souza & Tenório, 2004).

A continuación, se presenta una breve descripción de la metodología general y los casos particulares más aplicados para la tecnología de reciclado de pilas y baterías (Romina Falco, María 2013 pg. 235).

- Al iniciar un proceso de recuperación de este tipo de residuos, es necesario clasificarlos y desmantelarlos, para esto se utilizan procesos físicos como separación por tipo y tamaño, separación magnética, molienda o trituración. Existen distintos tipos de pilas y baterías que funcionan con diferentes reacciones químicas de las alcalinas y de cinc-carbón, y por lo tanto, están compuestas por diferentes metales, por lo que la clasificación previa al comienzo del tratamiento es fundamental. Luego es necesario abrirlas o triturarlas para dejar expuestos los compuestos químicos que se encuentran en su interior y para disminuir el tamaño de partícula, lo que facilita un mayor contacto del material de las pilas con el reactivo químico que se utilice para tratarlas.

- Un segundo paso es la separación magnética, con lo que todas las partes compuestas por materiales ferrosos son separadas físicamente siendo éste el primer producto reciclable que se obtiene de las pilas, el que puede ser enviado a fundición y recuperado. Lo que queda ahora es un barro mezcla de compuestos metálicos que forman cátodo y ánodo, carbón, electrolito: hidróxido de potasio o cloruro de amonio según el tipo de pila, papel y plástico, estos últimos dos fácilmente identificables y separables. Luego se realiza una segunda molienda del barro para homogeneizar el tamaño de partículas. El tratamiento físico de molienda suele ser energéticamente costoso, por lo que se deben estudiar las condiciones de molienda y los tamaños de partícula necesarios para lograr una buena eficiencia de reciclado minimizando los costos de esta etapa del proceso.

- Métodos pirometalúrgicos: la pirometalurgia es un método muy usado para el reciclado de baterías. Los métodos pirometalúrgicos consisten básicamente en la volatilización selectiva de los metales a elevadas temperaturas seguida de condensación.

Pirólisis y reducción: utilizando esta técnica, el agua y el mercurio son evaporados, separados y condensados. Los compuestos orgánicos son destruidos térmicamente y

emitidos como CO₂ y agua. La fracción metálica que queda en el horno luego de la pirólisis, se trata por reducción a 1500°C aproximadamente. En este paso se producen aleaciones metálicas. Las corrientes gaseosas generadas son incineradas a temperaturas alrededor de 1000°C y luego templadas para evitar la formación de dioxinas. La escoria generada en el proceso contiene mercurio y puede ser tratada por destilación. El agua residual utilizada para el enfriamiento del gas debe ser tratada en una planta de tratamiento de efluentes.

- Métodos hidrometalúrgicos: otra tecnología muy utilizada para el diseño de procesos de reciclado de pilas y baterías es la hidrometalurgia. La hidrometalurgia tiene algunas ventajas respecto de la pirometalurgia, como, por ejemplo, menos requerimientos para las instalaciones industriales, posible recuperación de los reactivos químicos utilizados para la lixiviación, y menores emisiones de gases y partículas, lo que se traduce en menor contaminación del aire. De todas formas, para mejorar la disolución de los metales es necesario realizar operaciones previas a la lixiviación, como pre-clasificación por tipo de pila y batería, desmantelamiento de las mismas, separación magnética. El procedimiento es largo y se necesita una gran cantidad de reactivos químicos.

También se generan efluentes acuosos que deben ser tratados para evitar contaminación secundaria.

2.2.3. Óxido de zinc

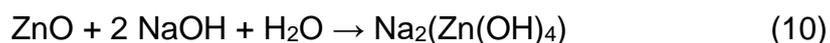
a) Propiedades fisicoquímicas

El óxido de Zinc cristalino es termocrómico, esto es que posee la capacidad de cambiar de color debido a los cambios de temperatura. Cambia de blanco a amarillo cuando es calentado y es capaz de volver a blanco cuando es enfriado. Este cambio de color es producido por una pequeña pérdida de oxígeno a altas temperaturas para formar el Óxido de zinc no estequiométrico que es de color amarillo.

El óxido de zinc es un óxido anfótero, que es prácticamente insoluble en agua y alcohol, pero que es soluble en la mayoría de los ácidos (ver reacción 9):



Como ya hemos dicho, es un óxido anfótero y puede reaccionar también con las bases para dar zincatos solubles (reacción 10):



El óxido de Zn también forma productos parecidos al cemento cuando reacciona con el ácido fosfórico. Estos materiales, son

usados en odontología. El componente mayoritario de este “cemento de fosfato y zinc” es la hopeíta, un mineral que tiene la fórmula $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$.

El ZnO se descompone a 1975 °C para dar Zn gas y oxígeno. Calentando con carbono, convertimos el Óxido de zinc en Zinc metal, que es más volátil (reacción 11).



Además, también reacciona con sulfuro de hidrógeno para dar sulfuro de zinc. Esta reacción es usada comercialmente para remover H_2S usando polvo de ZnO (ver reacción 12).



El óxido de Zinc puede cristalizar de tres formas distintas:

Wurzita (4:4) (Empaquetamiento hexagonal compacto, EHC)

Blenda de Zinc (4:4) (Empaquetamiento cúbico compacto, ECC)

Tipo NaCl (6:6)

La estructura tipo wurzita es la más estable a temperatura ambiente y por tanto la más común. Se puede interconvertir a estructura blenda de zinc trabajando a altas presiones y ésta puede ser estabilizada por el crecimiento de ZnO en una estructura de entramado cúbico. En ambos casos, el Zn y el O tienen coordinación tetraédrica. La estructura tipo NaCl solo

ha sido observada a muy altas presiones (alrededor de 10 GPa) y no merece la pena su estudio.

El ZnO tiene una banda de valencia de aproximadamente 3.3 eV a temperatura ambiente. Esta banda de valencia le permite sustentar grandes corrientes eléctricas, un bajo ruido de comunicación y que se pueda trabajar con él a alta temperatura.

El ZnO es un compuesto relativamente blando ya que presenta una dureza de 4.5 en la escala de Mohs. Sus constantes eléctricas son más pequeñas que la de otros semiconductores relevantes como el GaN. Su alta capacidad calorífica y su conductividad térmica, unidos a su baja expansión térmica y a su alta temperatura de fusión, son propiedades que lo hacen muy útil en el ámbito de la cerámica. El ZnO tiene un alto tensor piezoeléctrico (comparable al de otros semiconductores como el GaN o el AlN), lo que significa que al ser sometido a tensiones mecánicas adquiere una polarización eléctrica en su masa, apareciendo una diferencia de potencial y cargas eléctricas en su superficie.

b) Usos y Aplicaciones del Óxido de Zinc

El óxido de zinc es un compuesto químico que sólo se encuentra en la naturaleza en la zincita. La zincita es la forma mineral del óxido de zinc (ZnO) y contiene hasta el 80% del mismo presentando como posibles impurezas hierro y manganeso. El óxido de zinc se puede obtener a través de diversos procesos industriales, aunque en la actualidad su producción principalmente es a partir de zinc metálico. Su pureza y su calidad dependen del método que se haya empleado en su producción (procesos pirometalúrgicos e hidrometalúrgicos).

Según la International Zinc Association, el consumo mundial de óxido de zinc se estima en más de 1,2 millones de toneladas anuales (Ver figura 7).

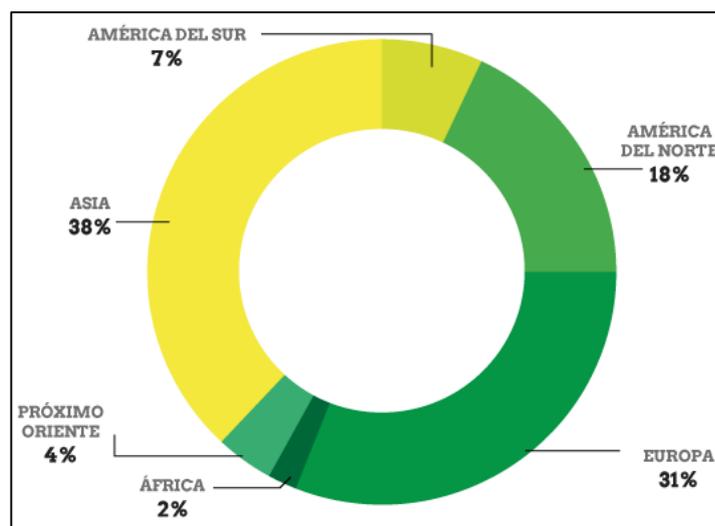


Figura 7. Consumo mundial de óxido de zinc. Proyecto Life Greenzo.

Los principales usos y aplicaciones del óxido de zinc son los siguientes:

- El óxido de zinc en la industria farmacéutica

El óxido de zinc se utiliza principalmente como pomada o polvo antiséptico debido a que cierra los poros de la piel protegiéndola de agentes externos que pueden provocar inflamaciones o empeorar heridas.

- Usos del óxido de zinc en la industria metalúrgica

Este compuesto químico, gracias a su solubilidad en el alcohol y en los ácidos, es indispensable para la fabricación de espejos y monedas, además de poseer características que permiten que pueda ser mezclado para la formación de aleaciones con otros metales. También se utiliza para la producción de componentes electrónicos y para el recubrimiento de piezas de acero que son propensas a la oxidación.

- El óxido de zinc en la industria cosmética

El óxido de zinc se utiliza como capa protectora en la piel evitando la picazón y el ardor. Igualmente se ocupa como agente desodorante ya que elimina los malos olores y las

bacterias causantes de la sudoración. Funciona como protector solar y como componente regenerativo de la piel.

- El óxido de zinc en aplicaciones dentales

El óxido de zinc es de gran ventaja en diversos campos vinculados al bienestar humano, por ejemplo, en casos de la salud bucal este elemento químico es usado en la elaboración de cementos útiles en la reparación de piezas dentales. Cuando es combinado el óxido de zinc con el eugenol se llega a producir un cemento adhesivo el cual no es rechazado por el organismo que puede colocarse sobre la parte interna y blanda del diente con el fin de cubrir las perforaciones generadas en endodoncias.

En la figura 8 se muestra el consumo mundial por aplicaciones del óxido de zinc.

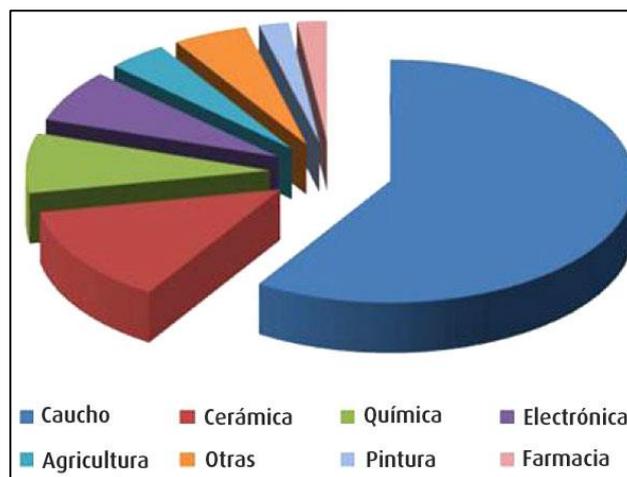


Figura 8. Consumo mundial por aplicaciones del óxido de zinc. Proyecto Life Greenzo.

c) Formas de obtención del óxido de zinc

El óxido de zinc se produce mediante 3 procesos diferentes: mediante dos procesos por vía seca: el proceso “indirecto” (o “Francés”), el “directo” o proceso “Americano” y, un proceso por vía húmeda (Miksits Michael; Tiburius, Christoph, 1996 pg. 186).

- Proceso indirecto o Proceso Francés

En el proceso seco indirecto, el material de partida es zinc metal (con una pureza de 92-99.995 %), metal refinado, residuos metálicos y chatarra.

El zinc metal se funde, se vaporiza por ebullición y se oxida, con exceso de aire, en estado vapor a óxido de zinc.

La primera etapa del proceso se efectúa en reactores con calentamiento directo tales como muflas, retortas y hornos rotativos.

A continuación, el vapor de zinc se quema (oxida) para producir óxido de zinc, que se enfría con un exceso de aire, y se separa de la mezcla ZnO/aire en cámaras de sedimentación, en el que la distribución fraccionada de las partículas de ZnO tiene lugar según su tamaño.

Este método indirecto fue descubierto por LeClaire (Francia) en 1844 por lo que ha heredado el nombre de proceso

Francés. Su producción consiste en la aglomeración de partículas de ZnO con un tamaño aproximado de 0.1 a varios micrómetros. La mayoría de ZnO del mundo es producido por el método francés.

- Proceso directo o Proceso Americano

En el proceso seco directo el material de partida está constituido por residuos que contienen óxido de zinc.

El material se mezcla con un agente reductor (coque pulverizado) y se alimenta a un horno. El ZnO se reduce a elevada temperatura (aproximadamente a 1000 °C) dando lugar a zinc que se vaporiza a dicha temperatura. Se inyecta aire sobre la superficie, oxidando al zinc a estado vapor produciéndose óxido de zinc que es arrastrado por la corriente de aire saliente. Este estado del proceso se efectúa en reactores con calentamiento directo tales como hornos rotativos y hornos verticales de soleras múltiples.

El óxido de zinc se enfría con un exceso de aire, y se separa de la mezcla ZnO/aire en cámaras de sedimentación, en el que la distribución fraccionada de las partículas de ZnO tiene lugar según su tamaño.

Debido a la baja pureza del material de partida, el Zn obtenido es también de baja calidad comparado con el obtenido en el proceso indirecto.

- Proceso por vía húmeda

En el proceso “húmedo”, el material de partida es una disolución purificada de una sal de zinc (predominantemente ditionato, sulfato, o cloruro).

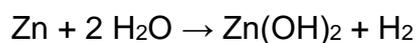
El hidróxido y/o carbonato se precipitan por adición de álcalis y se separan de la solución mediante filtración.

Finalmente, el óxido de zinc se genera por calcinación (deshidratación, descarbonatación) del hidróxido o del carbonato de zinc o de la mezcla de ambos.

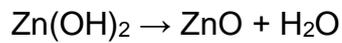
- Obtención de Óxido de Zinc a nivel laboratorio

Un gran número de métodos de producción de óxido de zinc existen debido a los estudios científicos y a las aplicaciones electrónicas. Estos métodos pueden ser clasificados según diversos criterios como son la forma del Óxido de zinc obtenido, la temperatura o el tipo de proceso.

El Óxido de zinc blanco pulverizado ordinario puede ser producido en el laboratorio por electrólisis de una disolución de bicarbonato sódico con un ánodo de Zinc. En este proceso se produce hidróxido de Zinc e hidrógeno gas según la reacción:



El hidróxido de Zinc es posteriormente calentado en horno y descompone a Óxido de zinc.



2.3. Definición de términos básicos

Chatarra: Materia de desecho formado por trozos de metales.

Zinc: Elemento químico de número atómico 30, masa atómica 65,37 y símbolo *Zn*; es un metal del grupo de los elementos de transición, de color blanco azulado, de brillo intenso, de estructura laminosa, muy frágil y oxidable con la humedad; se usa como capa protectora o galvanizador para el hierro y el acero, como componente de distintas aleaciones.

Aleación: Es una combinación de propiedades metálicas, que está compuesta de dos o más elementos metálicos. Las aleaciones están constituidas por elementos metálicos. El elemento aleante puede ser no metálico.

Óxido de zinc: Es un compuesto químico de color blanco. Se le conoce también como blanco de cinc. Su fórmula es ZnO y es poco soluble en agua pero muy soluble en ácidos.

Material reciclado: El Material Reciclado es el producto resultante del Reciclaje, puede extraerse de prácticamente todas las materias que se someten al Reciclado, con la excepción de los materiales más contaminantes, como son

las pilas o la basura nuclear, para los que aún no existen procesos eficientes de reutilización.

Reacción Química: es todo proceso termodinámico en el cual una o más sustancias, por efecto de un factor energético, se transforman, cambiando su estructura molecular y sus enlaces, en otras sustancias llamadas productos.

III. VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1 Definición de las variables en la investigación

La presente investigación se caracteriza por ser longitudinal estudiando la variable a lo largo del tiempo establecido, por ser éste el determinante en la relación causa efecto.

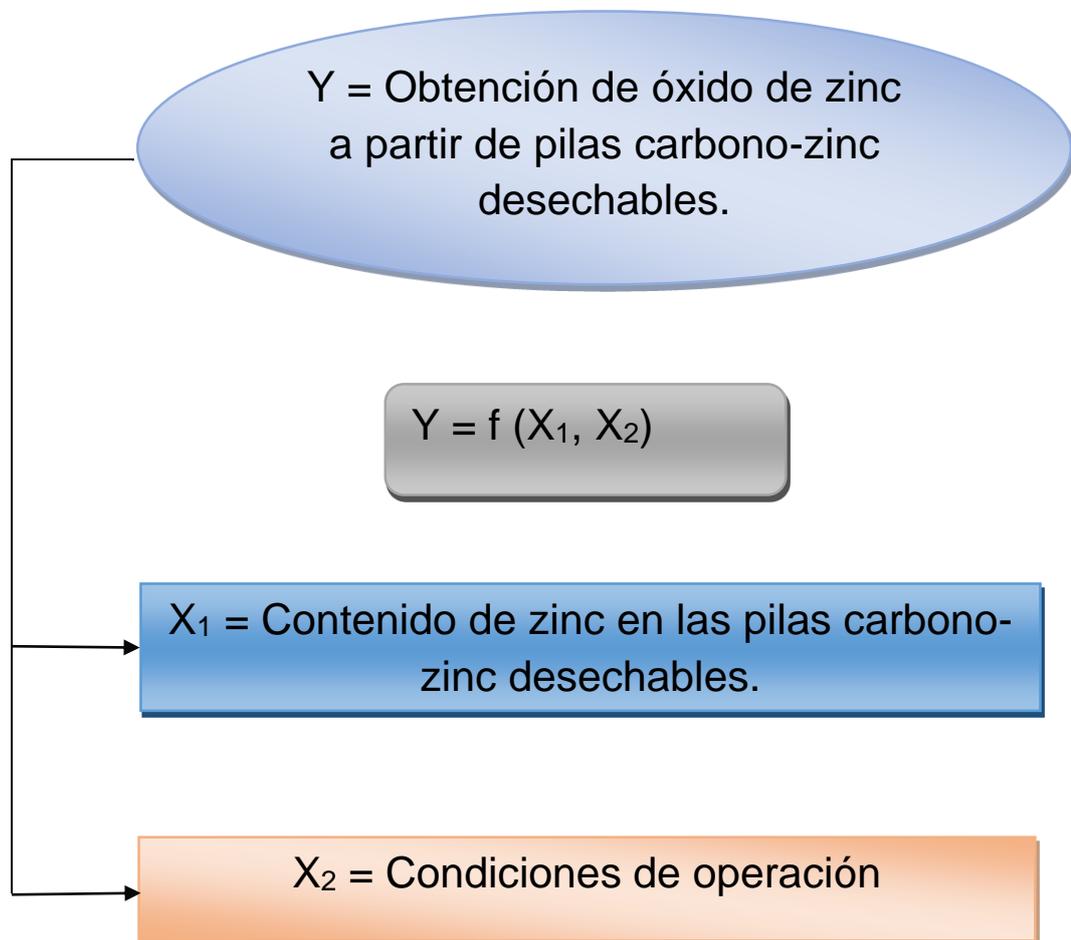


Figura 9. Interacción de variables.

3.2 Operacionalización de variables

Tabla 2
Operacionalización de variables

VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
Y= Obtención de óxido de zinc a partir de pilas carbono-zinc desechables.	Parámetros fisicoquímicos	-Porcentaje de pureza -Porcentaje de rendimiento	-Ensayos por volumetría
VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
X ₁ = Contenido de zinc en las pilas carbono-zinc desechables.	Parámetros Químicos	Concentración de zinc (%)	-Ensayos volumétricos -Análisis por ICP
X ₂ =Condiciones de operación	Parámetros fisicoquímicos	-pH -Concentración de reactantes -Temperatura (°C) -Tiempo (min)	-Ensayos experimentales .

Elaboración propia

3.3 Hipótesis General

El contenido del zinc presente en las pilas carbono-zinc desechables a través de tratamientos fisicoquímicos a determinadas condiciones de operación permite la obtención de óxido de zinc.

3.4 Hipótesis Específicas

- a) Las pilas carbono-zinc desechables presentan un mínimo de 19% de contenido de zinc.
- b) El pH de la reacción, la concentración de los reactantes, la temperatura y el tiempo de calcinación influyen en la obtención del óxido de zinc a partir de pilas carbono-zinc desechables.

IV. METODOLOGÍA

4.1 Tipo de Investigación

- Por su finalidad

La investigación realizada es de tipo aplicada debido a que los resultados sirven para ser empleados en un proceso de mayor escala.

- Por su diseño interpretativo

La investigación realizada es de tipo experimental, ya que el estudio se realizó mediante la observación, registro y análisis de las variables que intervinieron en el proceso de obtención del óxido de zinc.

- Por el énfasis de la naturaleza de los datos manejados

La investigación realizada es del tipo cuantitativo, ya que las variables de la investigación son medibles.

4.2 Diseño de la Investigación

Para el diseño de nuestra investigación se tomaron las siguientes consideraciones:

- a) Definición del escenario de la investigación

El trabajo de investigación tiene como área de desarrollo el laboratorio de investigación, desarrollo e innovación ubicado en la

facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.

b) Elección del método

La primera etapa de nuestra investigación consistió en conocer el contenido de zinc en la pila desechable para lo cual se utiliza el método volumétrico (Valoración Complexométrica con EDTA) y el método instrumental (Análisis por Espectroscopía de Plasma-ICP) para corroborar la presencia del zinc y de otros metales.

Según la composición de la pila es necesario separar y reducir los interferentes que ésta contiene (otros metales como por ejemplo el plomo y el hierro), por lo cual se lleva a cabo la lixiviación en medio ácido (digestión ácida), obteniendo sulfato de zinc que al ser purificado se utiliza como reactante en la obtención del hidróxido de zinc al reaccionar con hidróxido de sodio. El óxido de zinc se produce al calcinar el hidróxido de zinc a una determinada temperatura.

c) Determinación de las variables de diseño

Se ha utilizado información científica importante y específica para cuantificar los indicadores de las principales variables anteriormente señaladas con el propósito de determinar las condiciones de operación como son el pH de la reacción, temperatura y tiempo de calcinación que intervienen en el porcentaje de pureza, color y tamaño de partícula del óxido de zinc a obtener a partir de las pilas zinc carbono desechables.

d) Recolección de información necesaria para el objeto de estudio. Debido a la dificultad de obtener información para todos los indicadores de las variables contempladas, lo cual es necesario para alcanzar todos los propósitos de estudio, se ha recolectado información de fuentes secundarias que fueron productos de investigaciones previas.

Se han ensayado diferentes valores para determinar los valores adecuados para cada indicador.

- Para determinar el contenido de zinc en las pilas de carbono zinc desechables, se realizó análisis por volumetría. El principio del método es la valoración Complejométrica con el Ácido Etilendiaminotetraacético conocido como EDTA; el EDTA tiene la capacidad de donar hasta sus seis pares de electrones libres para la formación de enlaces covalentes coordinados a los cationes metálicos, lo que permite determinar con facilidad el punto de equilibrio en la titulación. Posterior a la titulación, para corroborar la presencia del zinc en la pila, se realizó el análisis instrumental por Espectroscopía de Plasma ICP, en este ensayo debemos considerar el límite de control aceptable QC descrito en el Anexo IV. En la etapa de lixiviación ácida, para determinar el tiempo de lixiviación de las pilas con el ácido sulfúrico se analizó el contenido de zinc lixiviado a diferentes tiempos.

Tabla 3

Diseño experimental para la determinación del tiempo de lixiviación con ácido sulfúrico.

Tiempo de reacción	%Zinc lixiviado
t_1	P_1
t_2	P_2
t_{n-1}	P_{n-1}
t_n	P_n

Elaboración propia

Si en el experimento, P_n es mayor que P_{n-1} entonces t_n será el tiempo adecuado para la lixiviación.

- Para determinar la concentración adecuada del hidróxido de sodio después de la etapa de purificación se trabajó a diferentes concentraciones, en el cual se hizo reaccionar un volumen determinado de muestra purificada con otro volumen de hidróxido de sodio hasta alcanzar diferentes valores de pH en la reacción.

Tabla 4

Diseño experimental para la determinación de la concentración adecuada de hidróxido de sodio.

pH de la reacción	Hidróxido de Sodio		
	20%	30%	50%
$pH_{inicial}$	Medición de la cantidad del Hidróxido de Zinc formado después de un determinado tiempo, filtrado y secado.		
pH_{i+1}			
pH_{i+n}			
pH_{final}			

Elaboración propia

- Para determinar el pH adecuado de la reacción se hizo reaccionar un volumen de hidróxido de sodio de concentración óptima a diferentes valores de pH en el rango donde se obtuvo mayor cantidad de precipitado formado según la tabla 5.

El diseño experimental de esta etapa se muestra en la tabla 5.

Tabla5

Diseño experimental para la determinación del pH adecuado de la reacción.

pH de la reacción	Cantidad del hidróxido de zinc precipitado
pH ₁	C ₁
pH ₂	C ₂
pH ₃	C ₃
pH ₄	C ₄

Elaboración propia

Si en el experimento, C₃ es mayor que C₂ y C₄ entonces pH₃ será el pH adecuado de la reacción.

- Los ensayos para determinar la temperatura adecuada de calcinación se llevaron a cabo en una mufla que alcanza una temperatura máxima de 1200 °C. Se tomó en consideración que las temperaturas a estudiar deben ser mayores a 125°C ya que es la temperatura a la cual comienza a descomponerse el hidróxido de zinc en óxido de zinc y para esto se estudiaron diferentes temperaturas a un determinado tiempo y al finalizar la calcinación se calcularon las concentraciones del óxido de zinc formado. La pureza del óxido de zinc se determinó por el método de Valoración Óxido de Cinc descrito en la USP 39.

Tabla 6

Diseño experimental para la determinación de la temperatura de calcinación.

Temperatura de calcinación (°C)	Pureza del óxido de zinc (%)
T ₁	P ₁
T ₂	P ₂
T ₃	P ₃

Elaboración propia

Si en el experimento, P₃ es mayor a P₂ entonces T₃ será la temperatura adecuada de calcinación.

- Para determinar el tiempo de calcinación del Óxido de Zinc, se introdujeron diferentes muestras en la mufla a la temperatura adecuada obtenida y manteniéndolas durante diferentes intervalos de tiempo. En este caso, se determinó que la calcinación había finalizado por diferencia de peso entre las diferentes muestras.

El diseño experimental de esta etapa se presenta en la tabla 7.

Tabla 7

Diseño experimental para la determinación del tiempo adecuado de calcinación.

Tiempo de calcinación	Peso del óxido de zinc
t ₁	M ₁
t ₂	M ₂
t _{n-1}	M _{n-1}
t _n	M _n

Elaboración propia

Si en el experimento, M_n es mayor y constante entonces t_n será el tiempo adecuado de calcinación.

- Para ello, también fue necesario recolectar información acerca de análisis para la determinación del óxido de zinc, comparar el color con una muestra patrón y determinar el tamaño de partícula.

4.3 Población y muestra

Población: Son las pila recolectadas y almacenadas dentro de contenedores para materiales peligrosos (pilas y/o baterías de equipos electrónicos, controles, equipos de medición, etc.) de acuerdo al Plan de Manejo de Residuos Sólidos implementado en la empresa Quimtia S.A. ubicada en Av. Néstor Gambeta N° 369 – Callao.

Muestra: El tamaño de la muestra extraída debe ser representativa, para ello se tomará tres muestras de 1 Kg de pilas de carbono – zinc agotadas de tamaño AA y AAA.

La metodología de muestreo se presenta en la figura 10.

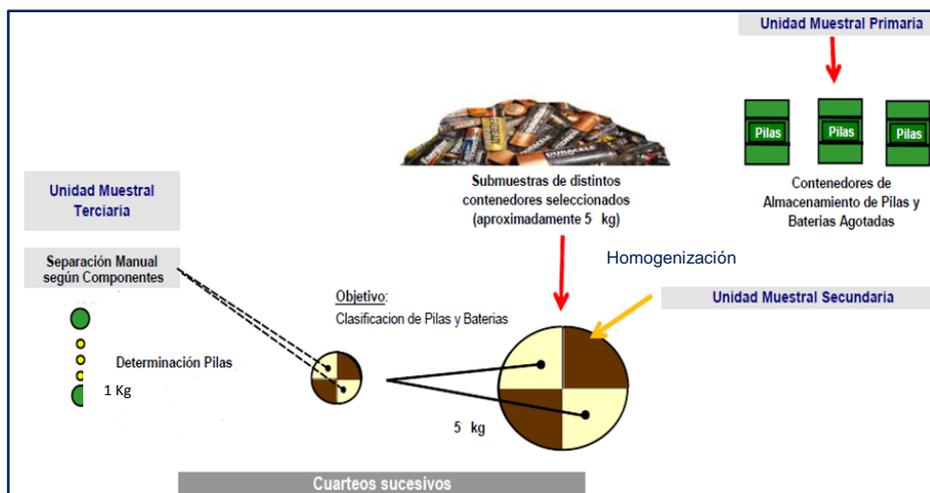


Figura 10. Esquema de muestreo

4.4 Técnica e instrumentos de recolección de datos

En la recolección de datos se aplicaron técnicas de investigación descriptiva y métrica.

- Preparación mecánica de las pilas

En esta etapa, se utilizó una técnica descriptiva para acondicionar las pilas carbono-zinc desechables previa a la etapa de lixiviación.

- Contenido del zinc en las pilas carbono-zinc desechables

Para contrarrestar nuestra primera hipótesis específica, se realizó un estudio del contenido de zinc en las pilas en el laboratorio de química de la empresa ALS. Las técnicas y normas utilizadas en los análisis químicos se presentan en la tabla 8.

Tabla8
Técnicas y normas para análisis químico

ANÁLISIS	TÉCNICA	MÉTODO	EQUIPOS
Contenido de Zinc	Valoración Complexométrica	Zn-VOL70	Titulador Automático T5 Mettler Toledo
	Análisis instrumental por Espectroscopía de Plasma ICP	ICP61	ICP-OES Radial Simultáneo Varian 725-ES.

Elaboración propia

En la figura 11 se muestran los equipos descritos en la tabla 8.

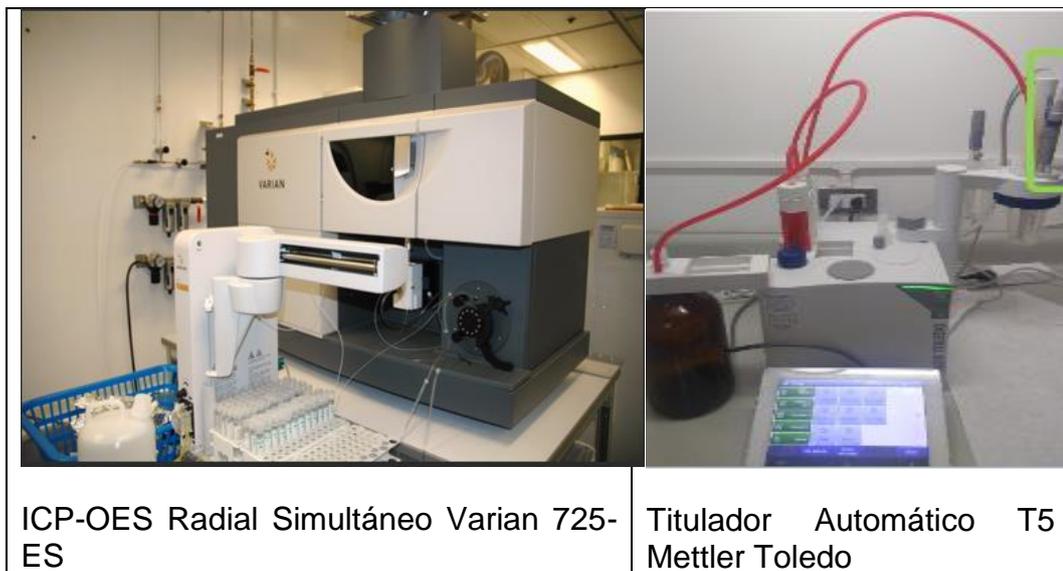


Figura 11. Equipos utilizados en el análisis de contenido de zinc.

- En la etapa de lixiviación ácida, la pila se descompone logrando separar el zinc de los otros elementos; esta lixiviación se llevó a cabo en un reactor esférico de tres bocas de material de vidrio de capacidad de 1 litro, con una columna rellena de anillos raschig para el arrastre de vapores (Ver figura 12).



Figura 12. Reactor esférico de tres bocas

Además, se utilizaron otros equipos, materiales para laboratorio y reactivos descritos en la tabla 9 y señalados en la figura 13. Estos fueron parte de las siguientes etapas como lo son la purificación y la calcinación.

Tabla 9

Equipos, materiales, reactivos y soluciones

EQUIPOS	MATERIALES	REACTIVOS	SOLUCIONES
-Plancha térmica	-Tiras reactivas pH rango 0 a 14		-Solución
-Cronómetro	-Beaker de 200ml y de 500ml	-Ácido clorhídrico c.c. Q.A. (37%)	extractiva (NH ₄ OH + NH ₄ Cl) se
- Balanza Mettler Toledo con precisión de 0.1mg	-Probeta de 25ml	-Ácido nítrico c.c. Q.A. (65%)	disuelve 160g de NH ₄ Cl y 400ml de
-Bomba sumergible de 220V	-Vaguetas	-Cloruro de amonio	NH ₄ OH en 600ml
-Mufla Thermolyne Premium large	-Crisoles de porcelana	- Hidróxido de Sodio (99%)	de agua destilada
	-Desecador		-Persulfato de amonio al 10% p/v
	-Papel filtro watman #40		
	-Embudos		

Elaboración propia

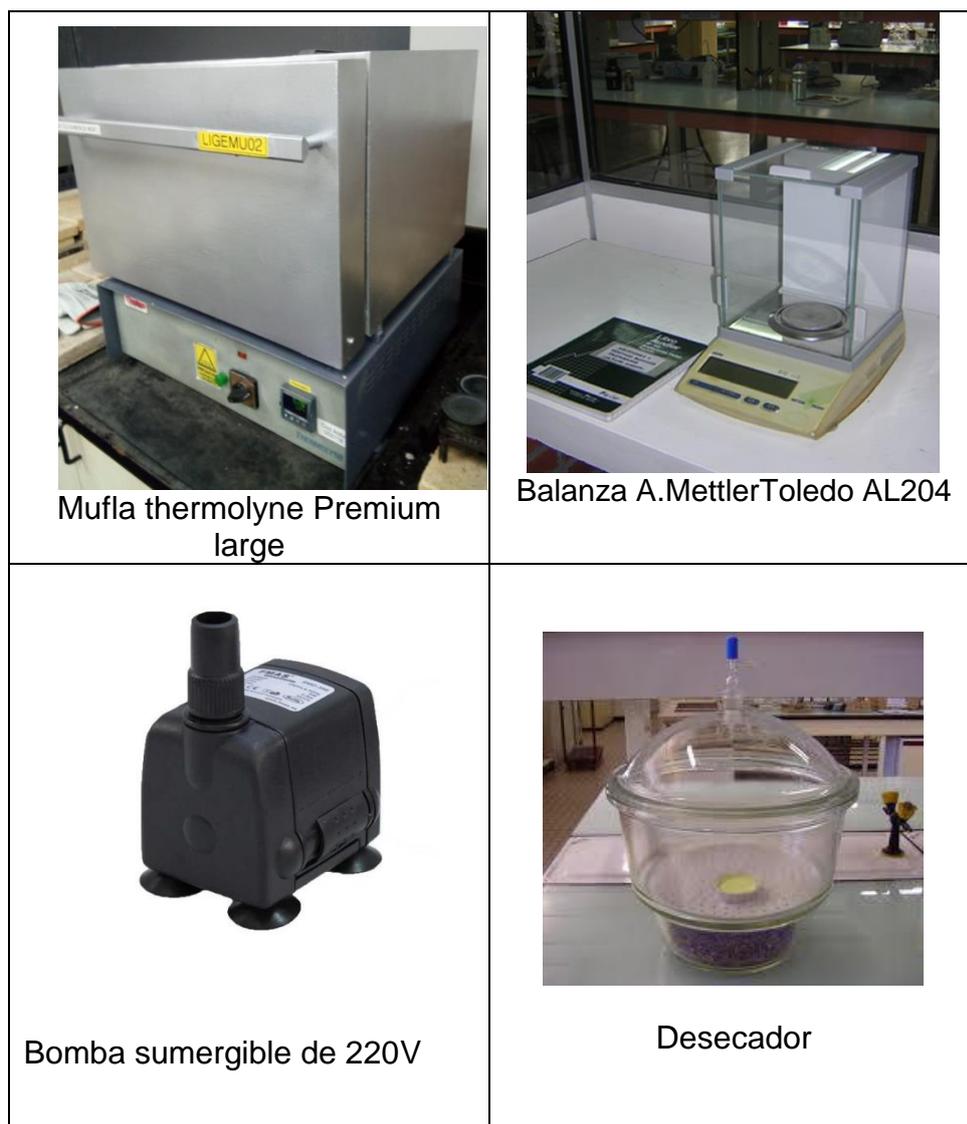


Figura 13.Otros equipos

En la determinación del porcentaje de pureza del óxido de zinc, se utilizó la norma USP 39 como referencia en el análisis.

4.5 Procedimiento de recolección de datos

En la recopilación de datos sobre los hechos abordados como objeto de investigación, se emplearon análisis fisicoquímicos y cálculos

matemáticos a las muestras evaluadas. Estas muestras fueron de aproximadamente 10 gramos cada una.

El procedimiento constó de cuatro fases, tal como se muestra en la figura 14.

La primera fase consistió en la preparación mecánica de las pilas para su mejor tratamiento. En la segunda fase se llevó a cabo la lixiviación ácida de las pilas hasta obtener la solución de sulfato de zinc requerida para la tercera fase que es la de purificación. En la purificación se separa principalmente el hierro contenido en la pila. La cuarta fase es la obtención del Óxido de Zinc, en la cual en primera instancia se obtiene el hidróxido de zinc y mediante calcinación llegamos a nuestro producto deseado.



Figura 14. Diagrama de bloques del proceso de obtención del óxido de zinc.

a) Preparación mecánica de las pilas.

Las partes de las pilas fueron divididas de forma manual separando la carcasa, el papel, plástico, y la parte interna constituida por una pasta negra.

La carcasa, parte de la pila con contenido de zinc, se reduce de tamaño en un rango comprendido de 0.8 mm a 2 mm.

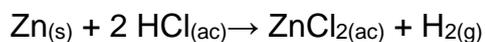


Figura 15. Reducción de tamaño de carcasa de la pila.

b) Lixiviación ácida.

En esta etapa se procedió a pesar 10g de muestra tratada en el punto (a) y fue transferida al reactor, posteriormente se añadieron 10ml de ácido clorhídrico concentrado y se calentó a temperatura aproximada de 200°C hasta desprendimiento de vapores blancos

y reducción del volumen (el tiempo de reducción del volumen es de 15 a 20 min), ocurriendo la siguiente reacción:



Con desprendimiento de vapores blancos característico del hidrógeno gaseoso (H_2).



Figura 16. Lixiviación con ácido clorhídrico.

Después de la reducción del volumen en la lixiviación con el ácido clorhídrico se dejó enfriar ligeramente la solución. Posterior a ello, se añadió 10 ml de ácido sulfúrico al 50% y se dejó calentando hasta desprendimiento de abundantes vapores blancos y reducción del volumen hasta 3 ml aproximadamente (el tiempo de reducción del volumen es de 2 a 3 horas).

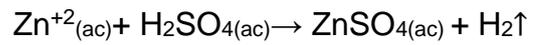


Figura 17. Lixiviación con ácido sulfúrico.

A la solución obtenida se añadió 50 ml de agua desionizada y se calentó hasta ebullición. Se dejó enfriar para filtrar la solución obtenida.

Nota: Se añade el agua para disolver la solución formada en esta etapa.

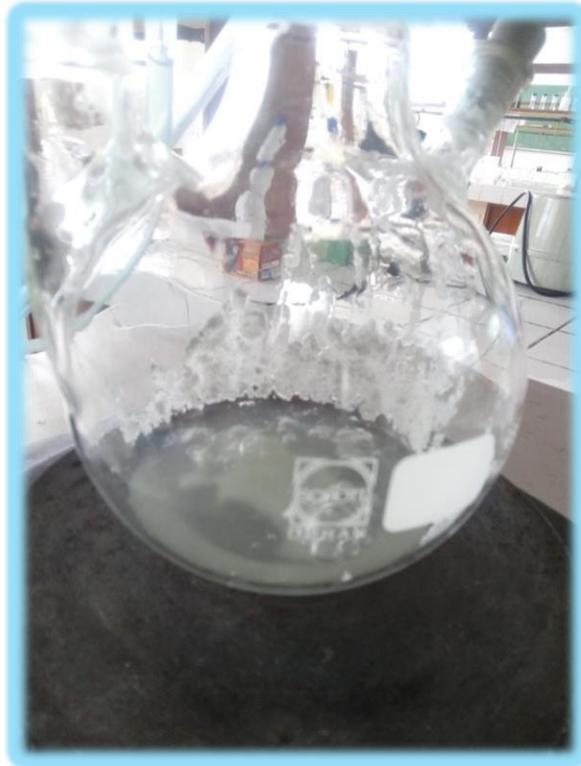


Figura 18. Disolución de la solución sulfatada.

Finalmente, se filtró la solución usando papel filtro cualitativo, se lavó 5 veces con solución de ácido sulfúrico al 5% y 6 veces con agua desionizada.

El precipitado obtenido está compuesto por plomo e impurezas como el carbono de las pilas.



Figura 19. Separación de impurezas de la solución.

c) Purificación

La solución filtrada se calentó a una temperatura de 150°C por 5 min, luego se adicionó 5ml de solución de persulfato de amonio al 10% continuando con el calentamiento por 10 minutos para luego dejar enfriando.

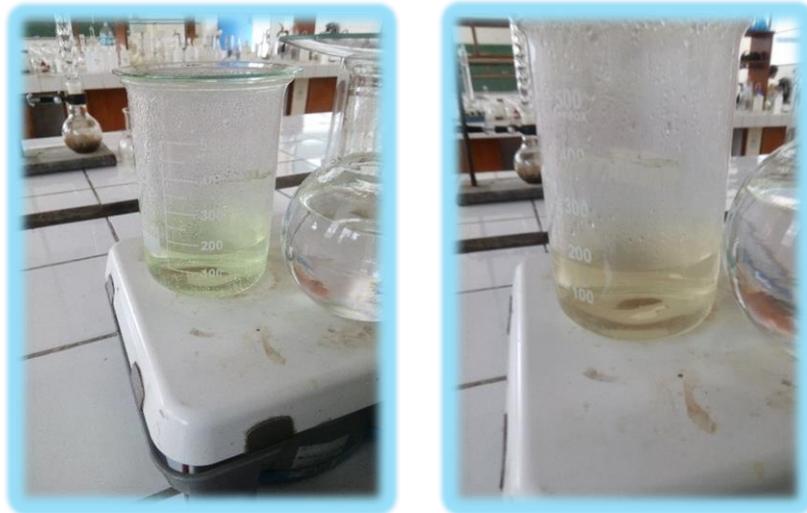


Figura 20. Separación de interferentes de la solución.

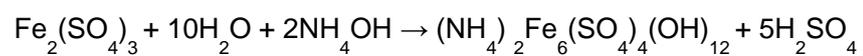
Se añadió 10 ml de solución extractiva (160g de cloruro de amonio más 400 ml de amoníaco a un aforo de 1L) hasta ebullición controlando el pH a 3.5. Luego se observó la precipitación del hierro, en esta etapa aumenta la recuperación del zinc.



Figura 21. Precipitación del hierro.

La solución obtenida se filtró en caliente utilizando papel cuantitativo whatman N° 40, el filtrado se trasladó a un vaso de 400ml y se lavó el papel whatman 6 a 7 veces con agua caliente (en el papel queda depositado el hierro).

Donde se presenta la siguiente reacción:



El compuesto principal es la jarosita, precipitado de color rojizo.

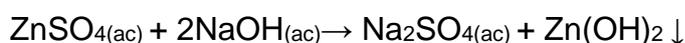


Figura 22. Compuesto de hierro: Jarosita.

d) Obtención del óxido de zinc

- Formación del hidróxido de zinc

En esta etapa previa se obtuvo hidróxido de zinc; la formación del hidróxido de zinc se dio mediante la reacción entre la solución filtrada (sulfato de zinc) y el hidróxido de sodio según la siguiente reacción:



Se tomó un volumen determinado de muestra (solución de sulfato de zinc) y se agregó otro volumen de hidróxido de sodio al 20% y se homogenizó, previamente se midió el pH de la muestra. Se trabajó a temperatura ambiente. Se observa la formación de un precipitado de color blanco característico del hidróxido de zinc (Ver figura 23).

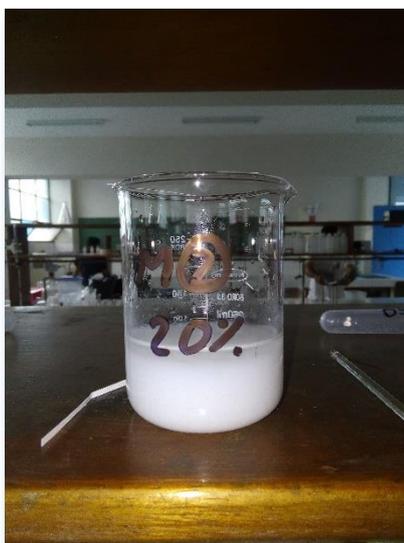


Figura 23. Formación de hidróxido de zinc.

- Se repite esta operación con hidróxido de sodio a concentraciones de 30 y 50 %.

- Repetimos las operaciones anteriores hasta llegar a pH de 4, 5, 6, 7 y 8.



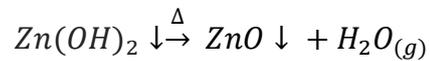
Figura 24. Obtención del hidróxido de zinc a diferentes condiciones.

Para determinar el pH adecuado de la precipitación del hidróxido de zinc, se utilizaron volúmenes de hidróxido de sodio al 30% y otro volumen de muestra de sulfato de zinc a valores de pH en un rango ajustado de 5 a 8. El pH adecuado es aquel en el que precipita la mayor cantidad de hidróxido de zinc. El tiempo de reposo utilizado para comparar los resultados obtenidos para los diferentes valores de pH fue de 30 minutos.

- Formación del Óxido de Zinc

Una vez finalizada la etapa de precipitación del hidróxido de zinc, el sólido obtenido se somete a calcinación con el fin de

obtener un óxido de zinc de la mayor pureza posible. La reacción es la siguiente:



En esta etapa el precipitado formado de hidróxido de zinc se filtró utilizando papel cuantitativo whatman N° 40, posteriormente se colocaron las muestras en crisoles de porcelana y se llevaron a la mufla para calcinación. Se trabajó a tres temperaturas diferentes: 300, 600 y 850 °C. Para cada uno de los casos el tiempo durante el cual se mantuvieron las muestras en la mufla fue de 1 hora. Para determinar que la calcinación se había completado se analizaron las muestras resultantes mediante volumetría (métodos volumétricos según la Farmacopea de Estados Unidos USP), de manera que fue posible calcular las concentraciones del óxido de zinc formado. La temperatura de trabajo es aquella para la que se obtuvo una pureza de óxido de zinc mayor.



Figura 25. Etapa de calcinación en la obtención del óxido de zinc.

El óxido de zinc obtenido se colocó dentro de un desecador hasta que alcance temperatura ambiente, y luego se procedió a tomar el peso final y calcular el porcentaje de rendimiento del proceso.



Figura 26. Óxido de zinc.

Una vez determinada la temperatura es preciso calcular cuál es el tiempo mínimo necesario para completar la calcinación. En este caso, se determinó que la calcinación había finalizado por diferencia de peso entre las diferentes muestras. Se inició con un tiempo de 40 minutos.

V. RESULTADOS

5.1. Determinación del Contenido de zinc en las pilas carbono-zinc desechables.

5.1.1. Análisis volumétrico

Mediante el método volumétrico Zn-VOL70 (Método: Análisis de Zinc por Complexometría) que se encuentra descrito en el Anexo III se determinó el porcentaje de zinc en las pilas desechables. En la tabla 10 se detallan los resultados obtenidos.

Tabla 10

Porcentaje de Zinc por método volumétrico Zn-VOL70

Muestra	Peso de muestra (g)	% Zinc
	0.5043	20.1200
	0.5046	20.6615
	0.5053	20.2644

Elaboración propia.

Se obtuvo que el porcentaje promedio de contenido de zinc en las pilas carbono-zinc desechables es de **20.35%**.

5.1.2. Análisis por Espectroscopía de Plasma (ICP).

Mediante el método instrumental ICP61 se determinaron las diferentes concentraciones de metales presentes en la pila carbono-zinc, según la siguiente tabla:

Tabla 11

Resultados de análisis por ICP de la pila carbono-zinc desechable

N°ASAI	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Bi
	mg/Kg						
28468	0.45	408	22.41	3.86	12.58	<0.01	2.51

N°ASAI	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	Fe
	mg/Kg						
28468	657	<0.01	6.42	10.08	798	132	1020

N°ASAI	Ga	Hg	K	Li	Mg	Mn	Mo
	mg/Kg						
28468	4.18	<0.01	302	4.71	<0.01	6413	10.97

N°ASAI	Na	Ni	P	Pb	S	Sb	Se
	mg/Kg						
28468	1555	1131	127	4136	0.13	<0.01	7.48

N°ASAI	Si	Sn	Te	Ti	U	V	Zn
	mg/Kg						
28468	110	23.35	<0.01	3.36	<0.01	23.9	1521

Elaboración propia

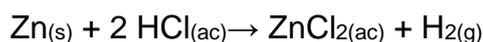
De la tabla 11 observamos que la pila de carbono-zinc desechable además del zinc contiene hierro, manganeso, sodio, níquel y plomo en mayor proporción.

5.2. Lixiviación ácida

Se trabajó con un peso de muestra de 10g, se digirió dicha muestra con ácido clorhídrico y ácido sulfúrico, para ello se utilizó 10ml de cada ácido. Al final de la lixiviación se obtiene una solución de sulfato de zinc.

5.2.1. Lixiviación con Ácido Clorhídrico

La adición de los 10ml de ácido clorhídrico fue en exceso, la muestra con contenido de zinc promedio de 20.35% reacciona según la siguiente ecuación:



Siguiendo la estequiometría de la reacción, obtenemos lo descrito en la tabla 12.

Tabla 12

Estequiometría de la reacción del Zinc en la lixiviación con ácido clorhídrico.

Componentes de la Rx	Zn	HCl	ZnCl ₂	H ₂
Inicio	65.38g	2(36.46)g	136.286g	2g
En la reacción	2.035g	X	Y	

$$X = 2.27g$$

$$Y = 4.24g$$

Nota: El ácido clorhídrico utilizado fue de grado Q.P. de 37% de pureza y 1.19 g/ml de densidad.

La concentración del ácido clorhídrico es:

$$M = \frac{10 * \text{Densidad} * \% \text{peso}}{\text{Masa molecular}}$$

$$M = \frac{10 * 1.19 * 37}{36.5} = 12.063 \text{ mol/L}$$

El reactivo limitante es el Zinc, entonces el volumen teórico de ácido clorhídrico es:

$$M = \frac{n}{V(\text{sol})} = \frac{\text{peso}}{\text{Masa molecular} * V(\text{sol})}$$

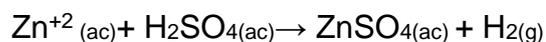
$$V(\text{sol}) = \frac{2.27}{36.46 * 12.063} = 0.005164L = 5.156mL$$

$$V(\text{sol}) = 5.16 \text{ mL}$$

5.2.2. Lixiviación con Ácido Sulfúrico

Se añadió 10 ml de ácido sulfúrico al 50% de pureza.

El zinc es soluble y reacciona desprendiendo hidrógeno, formando la solución de sulfato de zinc.



Siguiendo la estequiometría de la reacción, obtenemos lo descrito en la tabla 13.

Tabla 13

Estequiometría de la reacción de Zinc en la lixiviación con ácido sulfúrico.

Componentes de la Rx	Zn ⁺²	H ₂ SO ₄	ZnSO ₄	H ₂
Inicio	136.286g	98.097g	161.47g	2g
En la reacción	4.24g	Z	W	

$$Z = 3.052\text{g}$$

$$W = 5.023\text{g}$$

La concentración del ácido sulfúrico al 50% es:

$$M = \frac{10 * \text{Densidad} * \% \text{peso}}{\text{Masa molecular}}$$

$$M = \frac{10 * 1.84 * 97 * 0.5}{98.097} = 9.097 \text{ mol/L}$$

El reactivo limitante es el cloruro de Zinc, entonces el volumen teórico de ácido sulfúrico al 50% es:

$$M = \frac{n}{V(\text{sol})} = \frac{\text{peso}}{\text{Masa molecular} * V(\text{sol})}$$

$$V(\text{sol}) = \frac{3.052}{98.097 * 9.097} = 0.00342\text{L} = 3.42\text{mL}$$

Los resultados obtenidos del análisis del porcentaje de zinc lixiviado luego de reaccionar durante diferentes rangos de tiempo se presentan en la tabla 14.

Tabla 14

Concentración del zinc lixiviado a diferentes tiempos

Tiempo de reacción	%Zinc lixiviado
0	58.0
30	64.0
60	68.0
90	72.0
120	75.0
150	79.0
180	80.5
210	80.53

Elaboración propia

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 14,

elaboramos la figura 27.

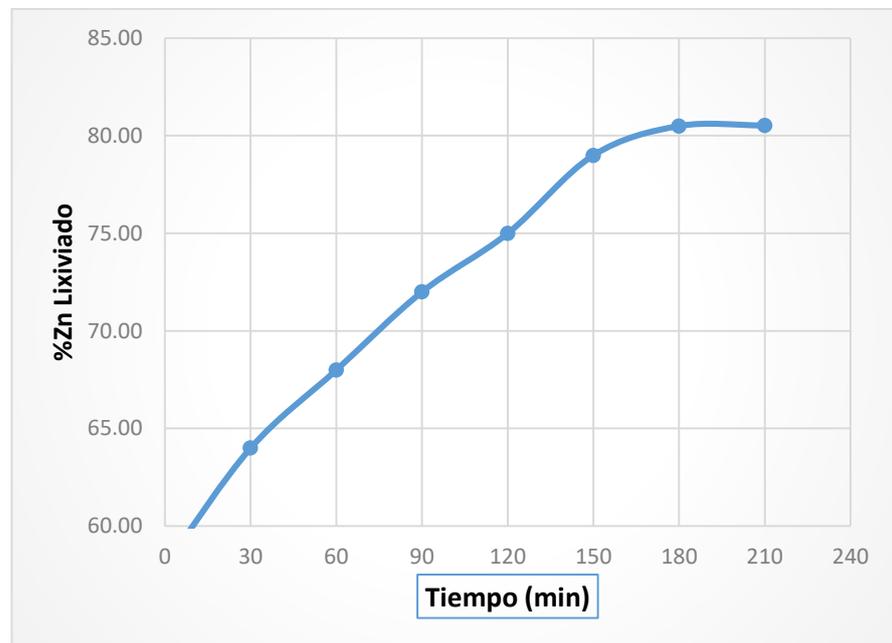


Figura 27. Concentración del zinc lixiviado con respecto al tiempo.

En este grafico se observa la relación del aumento del porcentaje de zinc con respecto al tiempo en la digestión sulfúrica.

5.3. Formación del hidróxido de zinc

5.3.1. Determinación de la concentración adecuada de hidróxido de sodio

Se prepararon 3 soluciones de hidróxido de sodio a diferentes concentraciones: 20, 30 y 50% en p/v y se tomó en consideración valores diferentes de pH de la reacción con el sulfato de zinc purificado. Los resultados obtenidos de la cantidad de precipitado de hidróxido de zinc formado se muestran en la tabla 15.

El volumen utilizado de la solución de sulfato de zinc fue de 40 ml, y el volumen de hidróxido de sodio de acuerdo al pH deseado.

Tabla 15

Cantidad de hidróxido de Zinc formado utilizando diferentes concentraciones de hidróxido de sodio.

pH	Cantidad de Zn(OH) ₂ formado a diferentes concentraciones de NaOH (g)		
	NaOH al 20%	NaOH al 30%	NaOH al 50%
3.5	0	0	0
4	5.05	15.26	13.65
5	8.95	21.56	19.52
6	15.50	24.70	23.70
7	15.12	24.00	23.00
8	14.98	23.20	22.50

Elaboración propia.

De acuerdo a los datos obtenidos en la tabla 15 elaboramos la figura 28, donde observamos que la cantidad máxima de hidróxido de zinc formado luego de 30 minutos es con una solución de hidróxido de sodio al 30% p/v.

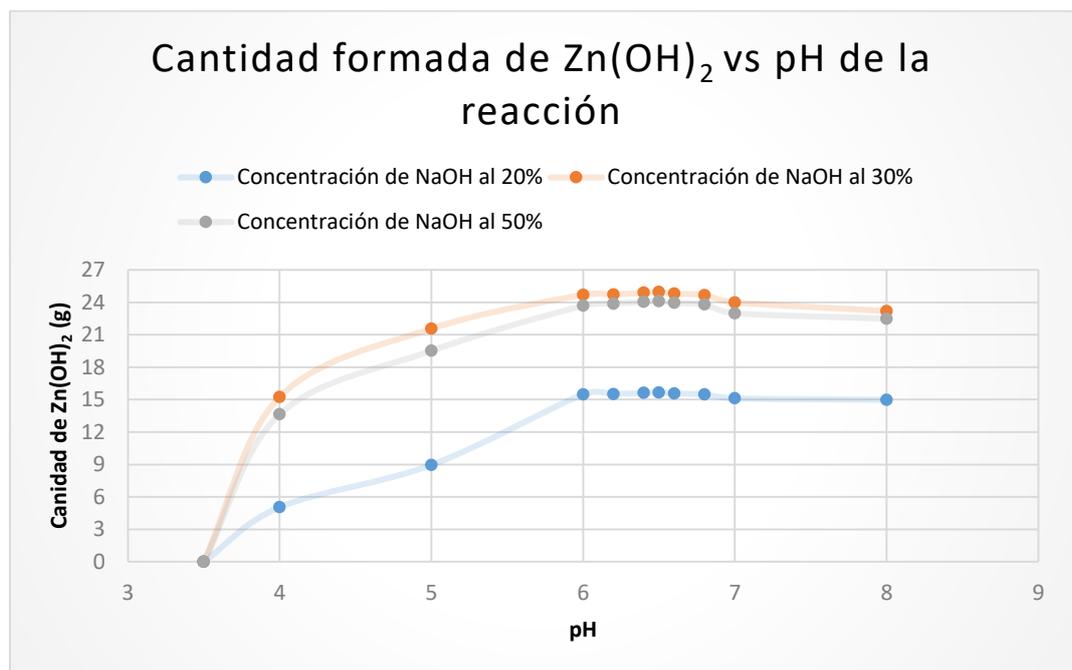


Figura 28. Formación de hidróxido de zinc considerando diferentes concentraciones de hidróxido de sodio y el pH.

5.3.2. Determinación del pH de la reacción de formación del hidróxido de zinc

Una vez que se obtuvo la concentración adecuada del hidróxido de sodio para la obtención del hidróxido de zinc, hidróxido de sodio al 30 %, se hizo reaccionar con la solución de sulfato de zinc en un rango de pH de 5 a 8, valores obtenidos de la tabla 15.

En la tabla 16 se muestran los resultados de la cantidad de hidróxido de zinc formado.

Tabla 16

Cantidad de hidróxido de zinc precipitado con respecto al pH de reacción

pH de la reacción	Cantidad de hidróxido de zinc precipitado (g)
5.0	22.00
5.5	22.50
6.0	23.90
6.5	24.60
7.0	24.32
7.5	24.10
8.0	23.50

Elaboración propia

De acuerdo a los datos obtenidos en la tabla 16 elaboramos la figura 29, donde observamos cómo para valores menores de 6.5 la cantidad de hidróxido de zinc precipitado aumenta notablemente al incrementar el valor del pH. En cambio, para valores superiores a 6.5, la cantidad de hidróxido de zinc precipitado se mantiene en un valor prácticamente constante. Por lo tanto, se considera que el pH con el que se logra precipitar la mayor cantidad de hidróxido de zinc es 6.5.

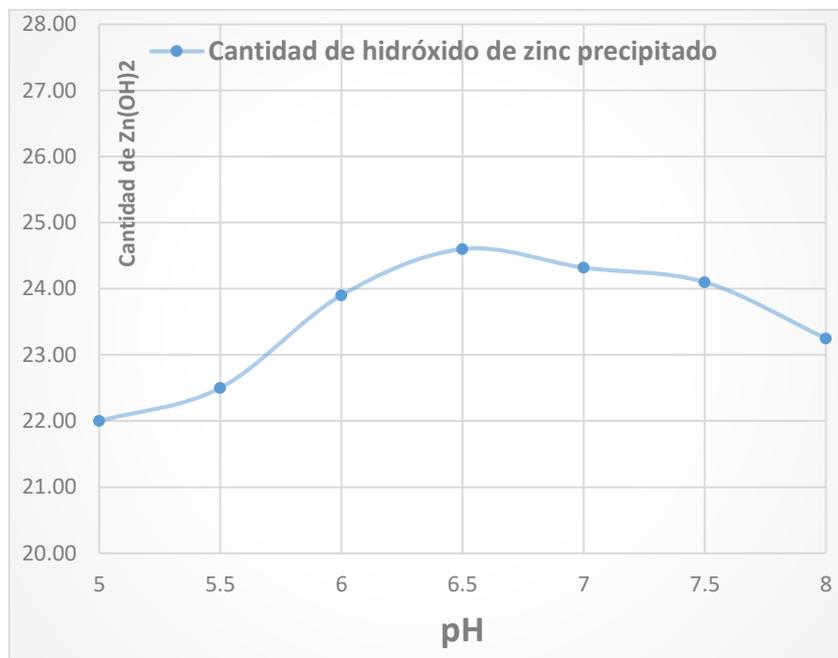


Figura 29. Cantidad de hidróxido de zinc formado con respecto al pH.

5.4. Formación del Óxido de zinc

Una vez finalizada la etapa de precipitación, el sólido obtenido se somete a una etapa de calcinación con el fin de obtener un óxido de zinc de la mayor pureza posible. Al igual que en la etapa de precipitación, es necesario optimizar los parámetros críticos de esta etapa, en este caso son la temperatura y el tiempo de calcinación.

5.4.1. Determinación de la temperatura adecuada de calcinación

Se analizó la pureza del Óxido de zinc obtenido en la etapa de calcinación, donde diferentes muestras fueron sometidas a diferentes temperaturas, el tiempo en el que se realizaron dichas

pruebas fue de una hora. La muestra se trató del precipitado de hidróxido de zinc obtenido con hidróxido de sodio al 30% y a un pH de 6.5.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 17.

Tabla 17

Determinación de la temperatura de calcinación

N° Muestra	Pureza del Óxido de Zinc a diferentes temperaturas (%)		
	300 °C	600 °C	850 °C
1	30.2	56.5	83
2	36.8	60.8	84.3
3	33.1	59.8	82.4
4	42.5	64.89	87.02
5	39.8	63.25	85.39
6	40.5	66.5	86.08

Elaboración propia

De acuerdo a los datos obtenidos en la tabla 17 elaboramos la figura 30, donde observamos cómo para valores de 850 °C se obtiene mayor porcentaje de óxido de zinc. En cambio, para temperaturas menores, el porcentaje de óxido de zinc es menor. Por lo tanto, se considera que la temperatura adecuada de formación del óxido de zinc es de 850 °C.

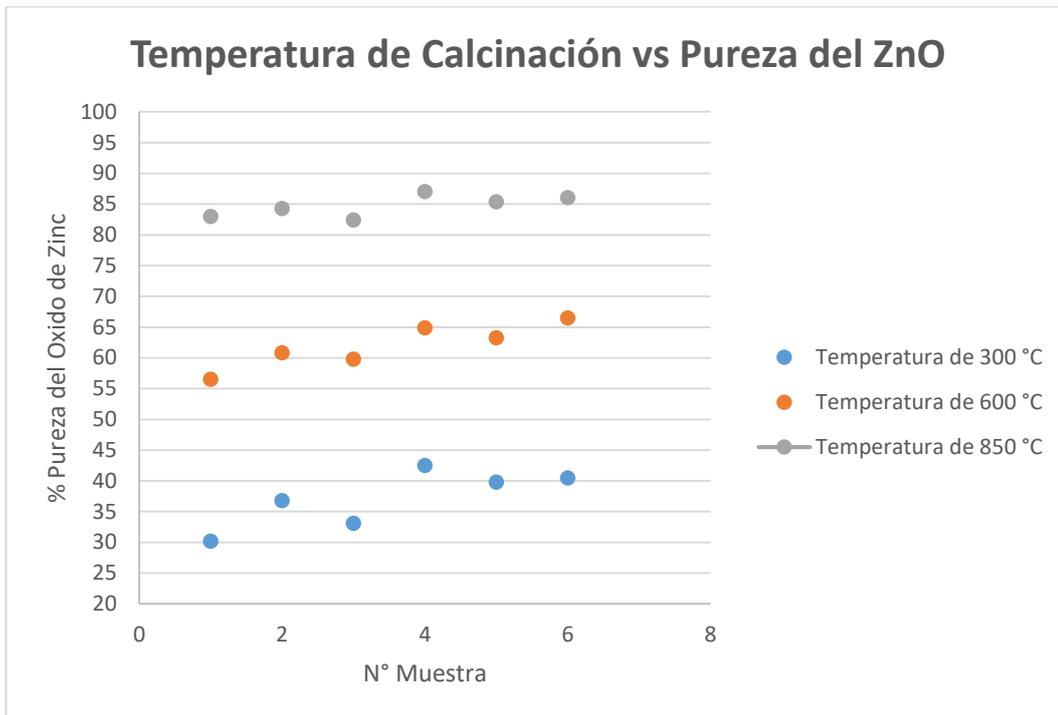


Figura 30. Determinación de la temperatura de calcinación respecto al porcentaje de pureza del óxido de zinc.

5.4.2. Determinación del tiempo adecuado de calcinación

Los resultados obtenidos en cuanto al tiempo adecuado de calcinación se obtuvieron comparando la diferencia de peso entre las diferentes muestras de hidróxido de zinc que se trabajaron a una temperatura de 850 °C. El ensayo finalizó al mantenerse constante el peso del óxido de zinc formado.

Los resultados se muestran en la tabla 18.

Tabla 18

Determinación del tiempo de calcinación

Tiempo (min)	Peso de óxido de zinc (g) obtenido a 850 °C
0	24.6
30	15.64
40	10.47
50	7.84
60	6.4
70	6.39
80	6.39

Elaboración propia

De acuerdo a los datos obtenidos en la tabla 18 elaboramos la figura 31, donde observamos que para tiempos mayores a 60 minutos los pesos de la muestra se mantienen prácticamente constante. Por lo tanto, se determina que el tiempo de calcinación óptimo a la temperatura de 850 °C es de 60 minutos.

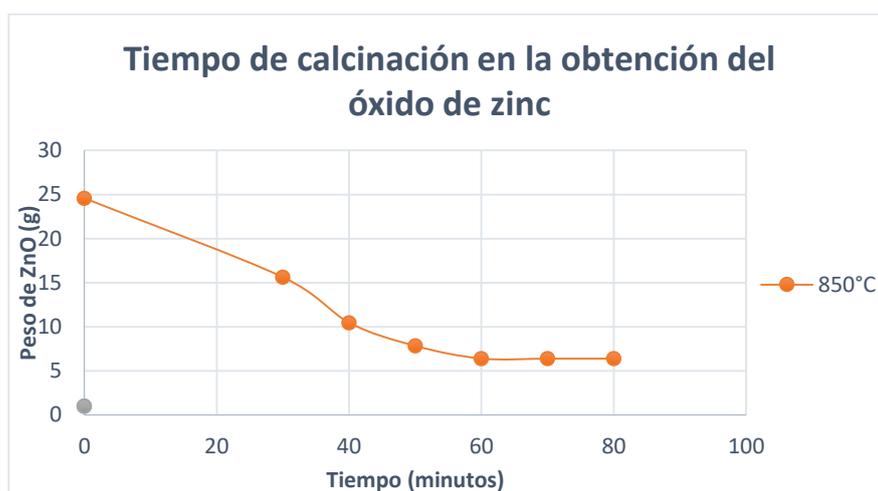


Figura 31. Tiempo de calcinación con respecto a la cantidad de óxido de zinc formado.

Rendimiento de la reacción

Una vez determinada la temperatura y tiempo de calcinación, se calcinaron 6 muestras a la temperatura adecuada de 850°C por una hora, el sólido obtenido se enfría en un desecador para ser pesado y hallar el rendimiento del óxido de zinc.

Se trabajaron con muestras iniciales de 10 gramos de pila (parte de la pila donde se encuentra el zinc).

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 19.

Tabla 19
Determinación del rendimiento del óxido de zinc

N° Muestras	Peso de ZnO (g)	Rendimiento (%)
1	5.39	53.9
2	5.23	52.3
3	5.47	54.7
4	5.34	53.4
5	5.42	54.2
6	5.4	54

Elaboración propia

El promedio del rendimiento de la reacción es de 53.7%.

De acuerdo a los datos obtenidos en la tabla 19, observamos que el rendimiento del ZnO es de 53.7%, es decir que por cada 10 gramos de cascara de pila se obtiene 5.37 gramos de óxido de zinc.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación de Hipótesis con los resultados

a) Hipótesis General:

H₀: El contenido del zinc presente en las pilas carbono-zinc desechables a través de tratamientos fisicoquímicos a determinadas condiciones de operación permite la obtención de óxido de zinc.

H₁: El contenido del zinc presente en las pilas carbono-zinc desechables a través de tratamientos fisicoquímicos a determinadas condiciones de operación no permite la obtención de óxido de zinc.

Los resultados demostraron que para obtener Óxido de zinc a partir de las pilas carbono-zinc desechables, se hizo reaccionar una solución de sulfato de zinc e hidróxido de sodio para formar el hidróxido de zinc que luego fue calcinado. El sulfato de zinc fue obtenido tras la etapa de lixiviación del zinc contenido en las pilas desechables según lo descrito en la tabla 5.5. El hidróxido de zinc se formó utilizando NaOH al 30% y a un pH de 6.5, se describen en las tablas 5.6 y 5.7. El óxido de zinc se obtuvo por calcinación a 850 °C y a una temperatura de calcinación de 60 minutos.

Por lo tanto, se acepta la hipótesis H₀ (Hipótesis nula) planteada.

b) Hipótesis Específica 1:

H₀: Las pilas carbono-zinc desechables presentan un mínimo de 19% de contenido de zinc.

H₁: Las pilas carbono-zinc desechables no están compuestas por zinc, hierro, plomo, manganeso, carbono y otros metales.

El análisis instrumental realizado por ICP demostró la composición química de las pilas carbono-zinc desechables, donde se identifica la presencia de metales como el plomo, hierro, zinc, manganeso. El análisis por volumetría demostró el contenido de zinc en la muestra con un valor promedio de 20.35 %.

Por lo tanto, se acepta la hipótesis H₀ (Hipótesis nula) planteada.

c) Hipótesis Específica 2:

H₀: El pH de la reacción, la concentración de los reactantes, la temperatura y el tiempo de calcinación influyen en la obtención del óxido de zinc a partir de pilas carbono-zinc desechables.

H₁: El pH de la reacción, la concentración de los reactantes, la temperatura y el tiempo de calcinación no influyen en la obtención del óxido de zinc a partir de pilas carbono-zinc desechables.

En los gráficos 5.2, 5.4 y 5.5 se demuestra que el hidróxido de zinc se forma bajo condiciones de temperatura ambiente, con hidróxido de sodio a una concentración conocida del 30 % y bajo condiciones de pH igual 6.5; que la temperatura adecuada de calcinación es de 850°C al obtener el mayor porcentaje de pureza del óxido de zinc; y

que a partir de 60 minutos de calcinación el peso del óxido de zinc se vuelve constante.

Por lo tanto, se acepta la hipótesis H_0 (Hipótesis nula) planteada.

6.2. Contrastación de resultados con otros estudios similares

- En el estudio realizado por María Romina, en su tesis doctoral “Optimización de un proceso biohidrometalúrgico de recuperación de metales de pilas alcalinas y de cinc-carbón agotadas”, en el cual para extraer el zinc y manganeso utilizó bacterias acidófilas como agentes lixiviantes, donde en la etapa posterior de electrólisis el zinc depositado en el cátodo presenta una pureza de 90%, para nuestro caso utilizamos como agentes lixiviantes el ácido clorhídrico y sulfúrico encontrando un porcentaje de recuperación de zinc del 80.5 luego de la etapa de lixiviación (solución de sulfato de zinc).
- En la tesis doctoral de Diego Herrero, “Desarrollo de procesos hidrometalúrgicos para la fabricación de compuestos de zinc a partir de óxido waelz” la materia prima utilizada es un concentrado que está compuesto por zinc y plomo (povos de acería) que mediante el tratamiento en un horno rotativo, proceso pirometalúrgico, se producen las reacciones de oxidación -reducción separando así los metales pesados presentes en el proceso. A diferencia de nuestro proceso, donde la materia prima son pilas carbono-zinc desechables y toman el proceso hidrometalúrgico conocido como lixiviación.

- En la publicación de Julio Casal Ramos, “Síntesis de sales de zinc mediante la valoración de un residuo proveniente de una industria de galvanizado en caliente de Venezuela”. Utiliza la caracterización de los polvos de galvanizado por vía húmeda, que describen dos metodologías de comparación, en ambos casos las muestras se disolvieron con HCL 5M, una de las muestras se hizo reaccionar con ácido cítrico comercial y la otra con una solución de NaOH 5M, en ambos procesos se obtuvo un polvo blanco donde la cantidad de zinc alcanzaba el 21% en peso, en nuestra investigación el polvo blanco obtenido tras las reacciones es óxido de zinc con una pureza de 86%.

VII. CONCLUSIONES

- El contenido de zinc presente en las pilas carbono-zinc desechables fue de 20.35% en promedio determinado por análisis volumétrico.
- El tiempo de lixiviación de la muestra con ácido sulfúrico fue de 3 horas, tiempo en el cual se determinó la mayor cantidad de zinc lixiviado.
- La concentración adecuada del hidróxido de sodio utilizado en la formación del hidróxido de zinc es de 30%.
- El estudio de la influencia del pH en la reacción de formación del hidróxido de zinc nos indica que la mayor cantidad producida de hidróxido de zinc se dio en pH de 6.5.
- La temperatura de calcinación adecuada fue de 850 °C y el tiempo de calcinación de 60 minutos.

VIII. RECOMENDACIONES

- Estudiar la lixiviación de las pilas carbono-zinc desechables de manera individual, es decir lixiviación con ácido clorhídrico o solamente utilizando ácido sulfúrico y comparar los resultados en la obtención del óxido de zinc.
- Estudiar la etapa de precipitación utilizando carbonato en lugar de hidróxido de sodio, para obtener carbonato de zinc al finalizar la reacción.
- Estudiar la variación de los otros metales presentes en la pila carbono-zinc desechable y así estudiar otras alternativas de reducción y/o eliminación de éstos.
- Estudiar el diseño de un equipo capaz de desmontar mecánicamente la pila de carbono-zinc.
- Estudiar la recuperación del Mn presente en las pilas carbono-zinc desechables.
- Realizar el estudio de costos para la obtención de óxido de zinc a partir de pilas carbono-zinc desechables.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ballester, A., Verdeja, L., Sancho, J.** (2000). Metalurgia extractiva (Vol.2). España: Síntesis S.A. Recuperado de <https://www.agapea.com/libros/Metalurgia-extractiva-Vol-II-Procesos-de-obtencia-n-9788477388036-i.html>
- Barakat, M., Mahmoud, M., Shehata, M.** (2006). Hydrometallurgical recovery of zinc from fine blend of galvanization processes (Vol. 41) Egipto. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/01496390600588747>
- Befesa Zinc S. A.** (2002). Reciclaje de Residuos de Zinc y de Desulfuración. Informe Anual. España. Recuperado de https://www.befesa.com/export/sites/befesa2014/resources/pdf/accionistas_e_inversores/informe_anual/2002/2002_4f.pdf
- Befesa Zinc S. A.** (2006). Declaración de Impacto Ambiental. España. Recuperado de https://www.befesa.com/export/sites/befesa2014/resources/pdf/desarrollo_sostenible/declaraciones_ambientales/da_zinc_2006.pdf
- Burriel, F.** (2003). Química analítica cualitativa. Octava Edición. España: Thomson.
- Deniz, M., Soner, H., Tümen, F.** (2004). Recovery of zinc and lead from zinc plant residue (Vol. 75). Turquía. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2004.07.008>

- Gill, C.** (1989).Metalurgia extractiva no ferrosa. Mexico: Limusa.
- Habashi, F.** (1997).Handbook of extractive metallurgy (Vol 2).
Alemania: Wiley-Vch.
- Herrero, D.** (2010). Desarrollo de procesos hidrometalúrgicos para la fabricación de compuestos de zinc a partir de óxido Waelz. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. España. Recuperado de <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/12229/HerreroVillalibre.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Kurama, H.,Goktepe, F.** (2003). Recovery of zinc from waste material using hydrometallurgical processes. Environmental Progress. (Vol.22). Turquía. Recuperado de <https://doi.org/10.1002/ep.670220313>
- Moore, J.** (1990).Chemical metallurgy. (Segunda Edición). Reino Unido: Oxford. Recuperado de eBook ISBN:9781483102931.
- Núñez, J.** (2005). Desarrollo de un proceso hidrometalúrgico para la fabricación de óxido de cinc de alta pureza a partir de óxido Waelz lixiviado. Tesis Doctoral. ETS Ingeniería de Bilbao. España.
- Pérez, J.** (2011). Obtención de polvos de zinc por vía electrolítica. Tesis para ingeniero. Universidad del Valle. Colombia. Recuperado de <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/4720/1/CB-0441187.pdf>

Porter, F. (1991). Zinc Handbook: Properties, processing and use in design. Estados Unidos: Marcel Dekker. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/10426919408934947>

Resa, I., Carmona, E., Gutiérrez, E., Monge, A. (2004). Decamethyldizincóene, a stable compound of zinc (I) with a Zn-Zn bond (Vol 305). España. DOI: 10.1126/science.11 02500.

Romina, M. (2013). Optimización de un proceso biohidrometalúrgico de recuperación de metales de pilas alcalinas y de cinc-carbón agotadas. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias exactas, Universidad de la Plata. Argentina. Recuperado de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/29548/Documento_completo____.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ANEXO I

MATRIZ DE CONSISTENCIA COMPLETA

“OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE ZINC A PARTIR DE PILAS CARBONO-ZINC DESECHABLES”

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
¿Cuál debe ser el proceso de obtención del óxido de zinc a partir de pilas carbono-zinc desechables?	Determinar el proceso de obtención del óxido de zinc a partir de pilas carbono-zinc desechables.	El contenido de zinc presente en las pilas carbono-zinc desechables a través de tratamientos fisicoquímicos a determinadas condiciones de operación permite la obtención de óxido de zinc.	Y = Obtención de óxido de zinc a partir de pilas carbono-zinc desechables.	Parámetros fisicoquímicos	-Porcentaje de pureza -Porcentaje de rendimiento	-Ensayos por volumetría
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
¿Cuál es el contenido de zinc presente en las pilas carbono-zinc desechables?	Determinar el contenido de zinc en las pilas carbono-zinc desechables.	Las pilas carbono-zinc desechables presentan un mínimo de 19% de contenido de zinc.	X ₁ = Contenido de zinc en las pilas carbono-zinc desechables.	Parámetros Químicos	Concentración de zinc (%)	-Ensayos volumétricos -Análisis por ICP
¿Cuáles son las condiciones de operación en la obtención de óxido de zinc a partir de pilas carbono-zinc desechables?	Establecer las condiciones de operación en la obtención de óxido de zinc a partir de pilas carbono-zinc desechables.	El pH de la reacción, la concentración de los reactantes, la temperatura y el tiempo de calcinación influyen en la obtención de óxido de zinc a partir de pilas carbono-zinc desechables.	X ₂ = Condiciones de operación	Parámetros fisicoquímicos	-pH -Concentración de reactantes -Temperatura (°C) -Tiempo (min)	-Ensayos Experimentales

RELACIÓN DE VARIABLES: $Y = f(X_1, X_2)$

Y = Obtención de óxido de zinc a partir de pilas carbono-zinc desechables.

X₁ = Contenido de zinc en las pilas carbono-zinc desechables

X₂ = Condiciones de operación

ANEXO II

**DECRETO SUPREMO 001-2012-MINAM REGLAMENTO NACIONAL PARA
LA GESTIÓN Y MANEJO DE LOS RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS
Y ELECTRÓNICOS (RAEE)**


AMBIENTE
Aprueban el Reglamento Nacional para la Gestión y Manejo de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos
**DECRETO SUPREMO
N° 001-2012-MINAM**

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, mediante Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos, modificada por Decreto Legislativo N° 1065, y su Reglamento aprobado por Decreto Supremo N° 057-2004-PCM, se regula la gestión y manejo de los residuos sólidos en el país;

Que, la Ley General de Residuos Sólidos establece derechos, obligaciones, atribuciones y responsabilidades de la sociedad en su conjunto, para asegurar la gestión y manejo de los residuos sólidos, sanitaria y ambientalmente adecuada, con sujeción a los principios de minimización, prevención de riesgos ambientales y protección de la salud y el bienestar de la persona humana;

Que, la citada norma asimismo establece que la gestión y manejo de los residuos sólidos se rige especialmente por lineamientos de política que podrán ser exigibles programáticamente en función de las posibilidades técnicas y económicas para alcanzar su cumplimiento;

Que, el numeral 3) del artículo 4° de la Ley N° 27314, modificado por Decreto Legislativo N° 1065, establece como un lineamiento de política para la gestión de los residuos sólidos, el establecimiento de un sistema de responsabilidad compartida y de manejo integral de los residuos sólidos, desde su generación hasta su disposición final, a fin de evitar situaciones de riesgo e impactos negativos en la salud humana y el ambiente, sin perjuicio de las medidas técnicamente necesarias para el manejo adecuado de los residuos sólidos peligrosos. Este sistema comprenderá, entre otros, la responsabilidad extendida de las empresas que producen, importan y comercializan bienes de consumo masivo y que, consecuentemente, contribuyen a la generación de residuos en una cantidad importante o con características de peligrosidad;

Que, asimismo, el numeral 6) del artículo 4° de la referida Ley consigna como política, el fomentar sexto lineamiento de política contenido en la Ley General de Residuos Sólidos, modificada por Decreto Legislativo N° 1065, consigna fomentar el reaprovechamiento de los residuos sólidos y la adopción complementaria de prácticas de tratamiento y adecuada disposición final;

Que, los aparatos eléctricos y electrónicos son bienes de consumo masivo en el país, con tendencia a un crecimiento significativo, lo que implica la generación de una cantidad considerable de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE);

Que, en la actualidad el manejo de los RAEE es inadecuado, al ser dispuestos como residuos urbanos en rellenos sanitarios o botaderos de residuos sólidos o reciclados informalmente de forma inadecuada, constituyéndose en un riesgo para la salud de las personas y para el ambiente. Sin embargo, los mismos contienen componentes valiosos que pueden ser recuperados en lugar de perderse en los rellenos sanitarios o botaderos de residuos sólidos, y cuyo manejo adecuado brinda

oportunidades de trabajo en sus etapas de recolección, tratamiento y disposición final;

Que, el Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente establece como su función general el diseñar, establecer, ejecutar y supervisar la política nacional y sectorial ambiental, asumiendo la rectoría con respecto a ella;

Que, el literal k) del artículo 7° del mencionado Decreto Legislativo establece como una de las funciones específicas del Ministerio del Ambiente promover y coordinar la adecuada gestión de los residuos sólidos, la protección de la calidad del aire y el control del ruido y de las radiaciones no ionizantes;

De conformidad con lo dispuesto en el inciso 8) del artículo 118° de la Constitución Política;

DECRETA:

Artículo 1°.- Aprobación del Reglamento Nacional para la Gestión y Manejo de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos

Apruébese el Reglamento Nacional para la Gestión y Manejo de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos que consta de cinco (5) Títulos, veintiún (21) Artículos, seis (6) Disposiciones Complementarias Finales y Transitorias y cinco (5) Anexos, que forman parte del presente Decreto Supremo.

Artículo 2°.- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los veintiséis días del mes de junio del año dos mil doce.

 OLLANTA HUMALA TASSO
Presidente Constitucional de la República

 MANUEL PULGAR VIDAL
Ministro del Ambiente

REGLAMENTO NACIONAL PARA LA GESTIÓN Y MANEJO DE LOS RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS
TÍTULO I
DISPOSICIONES GENERALES
Artículo 1°.- Objetivos

1. Establecer un conjunto de derechos y obligaciones para la adecuada gestión y manejo ambiental de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) a través de las diferentes etapas de manejo: generación, recolección, transporte, almacenamiento, tratamiento, reaprovechamiento y disposición final, involucrando a los diferentes actores en el manejo responsable, a fin de prevenir, controlar, mitigar y evitar daños a la salud de las personas y al ambiente.

2. Establecer las responsabilidades de los actores involucrados en el manejo de los RAEE y que los productores de aparatos eléctricos y electrónicos (AEE), para que conjuntamente con las municipalidades, los operadores de RAEE y consumidores o usuarios de AEE, asuman algunas etapas de este manejo, como parte de un sistema de responsabilidad compartida, diferenciada y con un manejo integral de los residuos sólidos, que comprenda la responsabilidad extendida del productor (REP), y cuyo funcionamiento como sistema se regula a través del presente Reglamento.

Artículo 2°.- Ámbito de aplicación

Este Reglamento es de aplicación a toda persona natural o jurídica, pública o privada, dentro del territorio nacional, que realice actividades y acciones relativas a la gestión y manejo de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), en la etapa post-consumo de los aparatos eléctricos y electrónicos (AEE).

Los RAEE sujetos al presente Reglamento son los residuos de AEE categorizados según lo establecido por la normativa de la Comunidad Económica Europea y que están detallados en el Anexo 2.

Las categorías de AEE, son las siguientes:

1. Grandes electrodomésticos.
2. Pequeños electrodomésticos.
3. Equipos de informática y telecomunicaciones.
4. Aparatos electrónicos de consumo.
5. Aparatos de alumbrado.
6. Herramientas eléctricas y electrónicas.
7. Juguetes o equipos deportivos y de tiempo libre.
8. Aparatos médicos.
9. Instrumentos de vigilancia y control.
10. Máquinas expendedoras.

Artículo 3°.- Lineamientos para la gestión ambiental de los RAEE.

Son Lineamientos para la gestión ambiental de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, los siguientes:

1. Promover el manejo responsable de los RAEE, dando prioridad a la minimización y al reaprovechamiento mediante la reutilización, reciclaje y recuperación.
2. Promover que las autoridades competentes se involucren en la sensibilización, promoción, difusión, control y fiscalización del manejo adecuado de los RAEE.
3. Promover el enfoque de la responsabilidad compartida para la gestión integral de los RAEE, que comprende la responsabilidad extendida del productor para el manejo post-consumo de los AEE hasta su reaprovechamiento o disposición final.
4. Promover la asociatividad público privada para el manejo ambientalmente adecuado de los RAEE, ponderando el rol de los diferentes actores (autoridades gubernamentales, productores, operadores de RAEE y usuarios), que intervienen en el ciclo de vida de los AEE.

TÍTULO II

DE LOS ACTORES INSTITUCIONALES

Artículo 4°.- Autoridades competentes

Conforme a sus competencias, la regulación de la gestión y manejo de RAEE corresponde a las siguientes entidades:

1. Ministerio del Ambiente (MINAM).
2. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA).
3. Autoridades sectoriales competentes.
4. Ministerio de Salud - DIGESA.
5. Gobiernos locales (provinciales y distritales).

Artículo 5°.- Ministerio del Ambiente

Es la Autoridad Ambiental Nacional y órgano rector del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, encargado de regular y promover la adecuada gestión de los residuos sólidos en el país, incluyendo los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, así como coordinar con las autoridades sectoriales y municipales la debida aplicación de la normativa nacional en materia de residuos sólidos, incluido el presente Reglamento.

Las funciones específicas del MINAM en materia del presente Reglamento, son las siguientes:

1. Normar la gestión y manejo ambiental a nivel nacional de los RAEE.
2. Incorporar en la planificación de la gestión nacional de los residuos sólidos a la gestión y manejo de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.
3. Promover la responsabilidad extendida de los productores en la etapa de post consumo de los AEE.
4. Aprobar las metas anuales de manejo de los RAEE y la gradualidad de su aplicación en el país.
5. Sistematizar la información sobre gestión y manejo de los RAEE para su inclusión en el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA) y su difusión respectiva. Incluir en su portal web información acerca de los RAEE; campañas de sensibilización; logros, estadísticas y metas anuales del manejo de los RAEE; entre otros.
6. Promover o brindar la asistencia técnica para los gobiernos locales a fin de facilitar la gestión y el manejo ambiental adecuado de los RAEE.
7. Coordinar con la Superintendencia Nacional de Bienes Estatales, el manejo adecuado de los RAEE del sector público a través de operadores de RAEE.
8. Determinar la autoridad sectorial competente para la aprobación del Plan de Manejo de RAEE de un productor

en el caso de que este no haya sido identificado como perteneciente a un determinado sector o en caso, que dos o más sectores se irroguen la competencia sobre alguna actividad del productor,

Artículo 6°.- Del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA)

1. Efectuar el seguimiento, vigilancia, supervisión, fiscalización, control y sanción en materia ambiental correspondiente a los sectores que se encuentran bajo su competencia.
2. Presentar al MINAM la información sistematizada de los resultados del seguimiento, vigilancia, supervisión, fiscalización, control y sanción en materia ambiental realizada por el OEFA y por las autoridades sectoriales competentes.

Artículo 7°.- De las Autoridades Sectoriales Competentes

Son las autoridades nacionales encargadas de normar, evaluar, fiscalizar o sancionar la gestión y manejo de los RAEE correspondientes a los productores de los AEE considerados en el ámbito de su competencia sectorial en materia ambiental, sin perjuicio de las funciones técnico normativas y de vigilancia sanitaria que ejerce la DIGESA del MINSA y las competencias, funciones de seguimiento, vigilancia, supervisión, fiscalización, control y sanción en materia ambiental que ejerce el OEFA.

La definición de la autoridad sectorial competente en materia ambiental correspondiente a un productor de los AEE dependerá del tipo de actividad económica principal que realice dicho productor en el país.

Entre sus funciones específicas se tiene:

1. Aprobar, supervisar y fiscalizar el cumplimiento de los Planes de Manejo de los RAEE presentados por los productores.
2. Evaluar periódicamente los sistemas de manejo de los RAEE establecidos y los niveles de recuperación de los RAEE presentados por los productores.
3. Presentar al MINAM, la información sistematizada respecto a la gestión, manejo y fiscalización ambiental de los RAEE correspondientes al ámbito de su competencia.

Artículo 8°.- Ministerio de Salud

Además de sus competencias establecidas en la Ley General de Residuos Sólidos y su Reglamento, la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), tiene la función de supervisar el cumplimiento de las disposiciones de la Ley General de Residuos Sólidos y su Reglamento en los aspectos técnico-sanitarios y los correspondientes a los operadores de RAEE.

Artículo 9°.- Gobiernos locales

Los Gobiernos Locales tienen las siguientes funciones:

1. Apoyar la implementación de los Planes de Manejo de los RAEE generados por la población en el ámbito de su jurisdicción municipal.
2. Promover los principios de Responsabilidad Extendida del Productor, fomentando y facilitando en sus jurisdicciones la implementación de sistemas de manejo de RAEE individuales y colectivos.
3. Promover campañas de sensibilización y de acopio de RAEE conjuntamente con los productores, operadores de RAEE y otros.
4. En el marco de sus competencias en materia de gestión de residuos sólidos, promover la segregación de los RAEE del residuo sólido en la fuente de generación para su manejo diferenciado por medio de operadores de RAEE y otros.

TÍTULO III

DE LA RESPONSABILIDAD DE LOS GENERADORES, PRODUCTORES Y OPERADORES

CAPÍTULO I

Generadores de RAEE

Artículo 10°.- Obligaciones de los Generadores de RAEE

Se considera generador de RAEE a toda persona natural o jurídica que en razón de sus actividades

productivas, comerciales, domésticas o de servicios genera estos residuos.

Son obligaciones de los Generadores, las siguientes:

1. Segregar los RAEE de los residuos sólidos municipales.
2. Entregar los RAEE a los sistemas de manejo establecidos, a una EPS-RS o a una EC-RS que se encuentren debidamente autorizadas.
3. En el caso de los generadores del sector público, realizar los trámites necesarios para la baja administrativa de los RAEE, previo a su entrega a los sistemas de manejo establecidos, o a una EPS-RS o a una EC-RS autorizada.

Son responsables de los RAEE desde su generación hasta su entrega, de manera segura, a los sistemas de manejo individuales o colectivos registrados. Una vez entregado los RAEE a los sistemas de manejo establecidos, a una EPS-RS o a una EC-RS debidamente autorizadas, los generadores quedan exentos de responsabilidad por los daños que ocasione el inadecuado manejo de los RAEE, salvo que se demuestre que su negligencia o dolo, omisión u ocultamiento de información sobre el manejo, origen, cantidad y características de peligrosidad de dichos residuos, contribuyó a la generación del daño.

Los generadores pierden sus derechos sobre la información que puedan contener los RAEE una vez entregados a los sistemas de manejo establecidos, a una EPS-RS o a una EC-RS debidamente autorizadas. Es su responsabilidad, la destrucción de los datos contenidos en los dispositivos de almacenamiento de información.

CAPÍTULO II

Productores de AEE

Artículo 11°.- Obligaciones de los Productores de AEE

Se considera como Productor de AEE a toda persona natural o jurídica que realiza actividades vinculadas a los aparatos eléctricos y electrónicos sea como fabricante o ensamblador, importador, distribuidor o comercializador.

Son obligaciones de los Productores de AEE, de manera individual o como agrupación entre varios productores, las siguientes:

1. Diseñar, implementar y administrar un sistema de manejo de RAEE, el cual puede ser individual, colectivo o ambos, conforme se estipula en el Artículo 16° del presente Reglamento.
2. Recibir, sin costo, los RAEE de sus clientes dentro del área geográfica correspondiente al sistema de manejo de RAEE establecido.
3. Garantizar el manejo ambiental adecuado de los RAEE, mediante su entrega a operadores de RAEE debidamente registrados. Entregado los RAEE a los operadores, los productores quedan exentos de responsabilidad por los daños que ocasione el inadecuado manejo de los RAEE, salvo que se demuestre que su negligencia, dolo, omisión u ocultamiento de información sobre el manejo, origen, cantidad y/o características de peligrosidad de dichos residuos, contribuyó a la generación del daño.
4. Presentar un Plan de Manejo de RAEE (de manera individual o como agrupación de productores) a la autoridad sectorial competente en el formato del Anexo 3 según corresponda, para su aprobación. En caso que el productor tuviera una actividad que no haya sido identificada como perteneciente a un determinado sector o, en caso que dos o más sectores se irroguen la competencia sobre alguna actividad del generador, corresponderá al MINAM determinar la autoridad sectorial competente.
5. Implementar el Plan de Manejo de RAEE aprobado.
6. Proveer a sus clientes información, al momento de la venta de sus equipos, acerca de la forma de manejo ambiental de los RAEE que se generen, haciendo hincapié en que deben ser separados de los residuos sólidos municipales y manejados por operadores de RAEE. Asimismo, proveer datos del portal electrónico donde encontrarán mayor información.

7. Informar a sus clientes, al momento de la venta de sus AEE, que los RAEE generados serán recibidos, sin costo, en los respectivos sistemas de manejo de RAEE implementados.

8. Informar a los operadores de RAEE, cuáles componentes contienen material peligroso.

9. En caso de exportar RAEE deberán cumplir los procedimientos establecidos por la autoridad competente en concordancia con la normatividad vigente.

Subcapítulo I

Planes de Manejo

Artículo 12°.- De los planes de manejo de RAEE

El Plan de Manejo de RAEE es un instrumento de gestión ambiental mediante el cual el productor o una agrupación de productores presenta a la autoridad competente las acciones a desarrollar para el manejo adecuado de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

El Plan de Manejo de RAEE comprende:

- a) Nombre del productor o agrupación de productores de AEE.
- b) Sistema (individual o colectivo) con el que manejará los RAEE: Si corresponde al sistema colectivo, la lista de operadores de RAEE y municipalidades que intervienen, considerando lo señalado en el artículo 15° del presente Reglamento. En caso se opte por el sistema colectivo deberá precisarse la responsabilidad individual de cada actor integrante del sistema.
- c) Nombre del representante y datos de contacto.
- d) La(s) marca(s) que maneja(n).
- e) Descripción de las etapas de recolección, transporte, almacenamiento y reaprovechamiento, y de los operadores que utilizarán.
- f) Meta anual de manejo de RAEE (en unidades de peso), considerando los lineamientos que señale el MINAM al respecto
- g) Forma de financiamiento del manejo de los RAEE.
- h) Destino de los RAEE: centro de acopio, beneficiarios, centros de tratamiento o disposición final, según sea el caso. Nombre y dirección de los servicios que utilizarán o de los beneficiarios.
- i) Descripción de la estrategia de comunicación y sensibilización para promover y/o incentivar el acopio de los RAEE.

Subcapítulo II

Declaración Anual

Artículo 13°.- De la Declaración Anual de los Productores

Presentar una declaración anual a la autoridad sectorial competente en los formatos del Anexo 4, según corresponda, que contenga:

- a) Sistema de manejo de RAEE.
- b) Cantidad de RAEE recolectado.
- c) Operador de RAEE registrado utilizado.
- d) Cantidad de RAEE entregado para su manejo.
- e) Formas de disposición de los RAEE: tratamiento y disposición final.
- f) Cantidad de RAEE exportados (si es el caso) y destino.

En caso se opte por la el sistema colectivo de manejo de RAEE, en la declaración anual deberá precisarse la responsabilidad individual de cada actor integrante del sistema.

CAPÍTULO III

Operadores de RAEE

Artículo 14°.- Obligaciones de los Operadores de RAEE

Son obligaciones de los operadores de RAEE:

1. Estar debidamente registrados por la autoridad competente como EPS-RS o EC-RS.

2. Priorizar el manejo de los RAEE considerando cualquiera de los procesos siguientes:

- Reutilización.
- Reciclado.
- Recuperación o Valorización.
- Disposición final.

Las instalaciones deberán cumplir los requisitos técnicos que se exigen en la Ley General de Residuos Sólidos y su Modificatoria, así como, considerar los requisitos técnicos que se señalen en las normas técnicas peruanas respectivas.

3. En caso que no se disponga de tecnología adecuada de tratamiento para el reaprovechamiento o reducción de peligrosidad, los componentes que provienen de la operación de descontaminación de los RAEE deben disponerse en lugares de disposición final autorizados, de acuerdo a la Ley General de Residuos Sólidos. Tales componentes son:

- Pilas y baterías o acumuladores.
- Componentes que contengan PCBs (bifenilos policlorados).
- Componentes que contengan mercurio.
- Componentes que contengan hidrocarburos volátiles halogenados e hidrocarburos volátiles.
- Tubos de Rayos catódicos.
- Otros componentes que contengan sustancias peligrosas.

4. Contar con almacenes para los componentes desmontados y recipientes adecuados para almacenar pilas, acumuladores y otros componentes que deriven de la descontaminación RAEE.

5. Realizar la disposición final en lugares destinados para tal fin de acuerdo a la Ley General de Residuos Sólidos y su Reglamento.

6. En caso de exportar RAEE deberán cumplir los procedimientos establecidos por la autoridad competente en concordancia con la normatividad vigente.

Subcapítulo I

Declaración Anual

Artículo 15°.- De la Declaración Anual de los Operadores de RAEE

Reportar anualmente a la autoridad competente, en el formato del Anexo 5, según corresponda, la información siguiente:

- a) Cantidad de RAEE que ingresa según los sistemas de manejo de RAEE.
- b) Cantidad de RAEE recibido de otras fuentes.
- c) Cantidad y destino de los RAEE tratados para reaprovechamiento (mercado local o externo) y disposición final.
- d) Cantidad y clase de los RAEE destruidos y dispuestos.

TÍTULO IV

SISTEMAS DE MANEJO DE RAEE

Artículo 16°.- Los sistemas de manejo de RAEE

Los sistemas de manejo de los RAEE pueden ser de dos tipos:

1. **Sistema Individual:** Es aquel en el cual un productor o agrupación de productores establece su propio Sistema de Manejo de RAEE, en cuyo caso la formulación, presentación, financiación e implementación del sistema es de su exclusiva responsabilidad.

Los productores que elijan este sistema deberán:

- a) Presentar un Plan de Manejo de RAEE ante la autoridad sectorial competente.
- b) Garantizar facilidades de entrega de los RAEE por parte de sus clientes en la jurisdicción elegida.
- c) Garantizar el cumplimiento de las metas estipuladas en su Plan de Manejo.

d) Garantizar el financiamiento de su Plan de Manejo de RAEE.

2. **Sistema Colectivo:** Es aquel que involucra a un conjunto o agrupación mixta entre productores, operadores de RAEE y/o gobiernos locales y/o gobiernos regionales para la implementación conjunta del sistema de manejo de RAEE, en el que la formulación, presentación e implementación del sistema es cofinanciada/compartida por los diferentes actores, los mismos que deben elegir un representante o vocero para las gestiones ante las autoridades competentes, y precisar la responsabilidad asumida por cada una de las partes involucradas.

Los productores de AEE que elijan este sistema incluirán dentro del Plan de Manejo de RAEE la siguiente información:

- a) El listado de miembros que integran este sistema.
- b) Los lugares de aplicación del sistema.
- c) El nombre de la persona designada como representante ante la autoridad sectorial competente, así como sus datos de contacto.
- d) Las obligaciones que asume cada miembro integrante del sistema en su gestión y financiamiento respectivo en las diversas etapas del sistema de manejo de los RAEE.

CAPÍTULO I

De la recolección

Artículo 17°.- De la recolección selectiva

Se realizará la recolección selectiva de los RAEE generados por las diferentes fuentes o usuarios de AEE, por medio de operadores de RAEE o por los medios logísticos del productor o generador, bajo su responsabilidad, para ser transportados y entregados de manera segura a los productores, centros de acopio o a operadores de tratamiento o disposición final de RAEE registrados, según los sistemas de manejo o planes de manejo autorizados.

Artículo 18°.- De los Centros de Acopio RAEE

Los centros de acopio pueden ser municipales, privados, mixtos u otros y ser temporales o permanentes, de acuerdo a los sistemas de manejo de RAEE. Deben contar con seguridad e instalaciones adecuadas. La información de los centros de acopio será provista por los productores o los operadores de RAEE, según el sistema de manejo de RAEE elegido.

a) Centros de Acopio Temporales:

Son los que se implementan sólo durante las campañas y su duración está limitada al tiempo que dure la misma. Requieren de coordinación con la municipalidad donde se realiza. El organizador de la campaña informará al MINAM sobre los resultados de dicho evento.

b) Centros de Acopio Permanentes:

Son los centros instalados en lugares destinados al acopio permanente de RAEE, dotados de pisos impermeables y que cuentan con seguridad y facilidades para recibir RAEE de diferentes fuentes: residencias, pequeñas empresas o RAEE proveniente de la recolección hecha por los productores.

c) Almacenes Privados:

Son los almacenes de los productores que trabajan con el sistema individual. Los almacenes permanentes deben tener pisos impermeables y seguridad.

Los centros de acopio temporal, permanente y los almacenes privados deben considerar los requerimientos dados en la Ley General de Residuos Sólidos y su Reglamento.

Artículo 19°.- De los requisitos técnicos del manejo de RAEE

Los requisitos técnicos de manejo de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) serán establecidos considerando el cumplimiento de lo señalado en la Ley General de Residuos Sólidos y su modificatoria, así como los requisitos técnicos que se señalen en las normas técnicas peruanas.

TÍTULO V

INCENTIVOS, INFRACCIONES Y SANCIONES

Artículo 20°.- De los incentivos

Por el adecuado manejo ambiental de los RAEE, se considerarán los incentivos siguientes:

1. Difusión de listados con los nombres de los productores, operadores de RAEE, gobiernos locales e instituciones que hayan demostrado un buen desempeño en el manejo ambiental de RAEE.

2. Distinción y reconocimiento público de experiencias exitosas de manejo ambiental de RAEE por parte del MINAM.

El otorgamiento de estos beneficios deberá hacerse de acuerdo con las normas legales correspondientes y en función de la Ley General del Ambiente, de la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente y el Reglamento de Organización y Funciones del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA).

Artículo 21°.- De las infracciones y sanciones

La autoridad sectorial, en coordinación con el MINAM tipificará las infracciones e impondrá las sanciones correspondientes dentro del marco de sus facultades conferidas por Ley, observando la debida proporción entre los daños ocasionados por el infractor y la sanción a imponer en aplicación de los principios de tipicidad y razonabilidad establecidos en la Ley N° 27444, Ley de Procedimiento Administrativo General.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS
FINALES Y TRANSITORIAS

Primera.- El MINAM, en un plazo no mayor de 45 días, a partir de la aprobación del presente Reglamento, convocará a la instalación y funcionamiento de un Comité de Apoyo Técnico para la gestión y manejo de los RAEE, de naturaleza temporal, el cual estará integrado por representantes del MINAM, DIGESA, SUNAT, Superintendencia Nacional de Bienes Estatales, representantes de los productores de AEE, representantes de los operadores de RAEE, representante de los gobiernos locales, representante de la sociedad civil.

Segunda.- Las autoridades competentes en materia de las responsabilidades establecidas en el presente Reglamento deberán adecuar sus respectivos procedimientos administrativos a fin de facilitar el cumplimiento de las obligaciones señaladas para los actores del sector privado, en un plazo no mayor de 60 días a partir de la aprobación del presente dispositivo.

Tercera.- Los productores de los AEE correspondientes a las categorías "equipos de informática y telecomunicaciones" y "aparatos electrónicos de consumo" señalados en el anexo 2 del presente Reglamento, deberán presentar ante su respectiva autoridad sectorial competente (Ministerio de la Producción o Ministerio de Transportes y Comunicaciones, según corresponda a la actividad económica principal del productor de los AEE) el Plan de Manejo de RAEE en un plazo no mayor de 12 meses a partir de la aprobación del presente Reglamento.

El Plan de Manejo de los RAEE deberá considerar un plazo no mayor de 06 meses a partir de la aprobación de dicho Plan, para dar inicio a la implementación de las acciones respectivas. Los productores de los AEE correspondientes a las demás categorías señaladas en el Anexo 2, presentarán su Plan de Manejo de RAEE en un plazo a ser establecido por el MINAM, considerando el gradual desarrollo en el país de las condiciones adecuadas para el tratamiento y disposición final de los RAEE respectivos.

Cuarta.- Los productores de RAEE considerados como micro o pequeño empresarios de acuerdo a la normativa vigente, podrán agruparse para implementar un sistema de manejo de RAEE colectivo o integrarse en los sistemas de manejo de RAEE a ser implementados en el marco del presente Reglamento.

Quinta.- El Ministerio del Ambiente queda facultado para dictar las disposiciones complementarias que

sean necesarias para la mejor aplicación del presente Reglamento.

Sexta.- El presente Reglamento entrará en vigencia al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial El Peruano.

ANEXO 1

DEFINICIONES

Para efectos del presente Reglamento, la palabra "Reglamento" estará referida al Reglamento Nacional para la Gestión y Manejo de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos. Asimismo, el acrónimo RAEE está referido a los "Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos"

1. Aparatos eléctricos y electrónicos (AEE): Aparatos que para funcionar necesitan corriente eléctrica o campos electromagnéticos, así como los dispositivos necesarios para generar, transmitir y medir tales corrientes y campos.

2. Acopio de RAEE: Acción para reunir transitoriamente los RAEE en un lugar determinado denominado centro de acopio, de manera segura y ambientalmente adecuada, con la finalidad de facilitar su posterior manejo a través de Operadores de RAEE.

3. Almacenamiento de RAEE: Operación de acumulación de RAEE en condiciones ambientalmente adecuadas y seguras.

4. Autoridad competente para RAEE: Entidad que regula, controla, fiscaliza o emite las autorizaciones correspondientes conforme a ley de las actividades concernientes a la gestión y manejo de RAEE. En materia ambiental, su identificación depende del tipo de actividad económica principal que realice el administrado según sea el caso (productor de AEE, operador o generador de RAEE).

5. Centro de acopio de RAEE: Lugar acondicionado para recibir y almacenar RAEE de forma segura y ambientalmente adecuada hasta que sean entregados a los operadores de RAEE para continuar su manejo.

6. Comercializador de AEE: Persona natural o jurídica que compra, vende AEE. Se incluyen las cadenas de tiendas.

7. Consumidor de AEE: Persona natural o jurídica que adquiere aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) para su uso como destinatario final. Pueden ser diferenciados en tres segmentos: sector público, sector privado y hogares.

8. Descontaminación de RAEE: Operación que comprende la separación de los componentes que contienen sustancias o materiales peligrosos presentes en el RAEE como primer paso del desmantelamiento. Los componentes separados deben ser dispuestos en lugares adecuados de disposición final de acuerdo a la Ley General de Residuos Sólidos y su reglamento, o reciclados, en el país (si existe la tecnología) o en el exterior.

9. Desmantelamiento/Desensamblaje de RAEE: Operación que consiste en desmontar los diferentes componentes del RAEE para el reaprovechamiento de los diferentes materiales.

10. Distribuidor de AEE: persona natural o jurídica que vende o suministra al por mayor o al por menor comercialmente aparatos eléctricos y electrónicos destinados finalmente al consumidor, aun cuando ello no se desarrolle en establecimientos abiertos al público.

11. Generador de RAEE: Persona natural o jurídica que en razón de sus actividades productivas, comerciales, domésticas o de servicios genera RAEE. También se considerará generador al poseedor de RAEE, cuando no se pueda identificar al generador real. Asimismo incluye a los usuarios domésticos de los AEE que luego se convierten en RAEE.

12. Importadores de AEE: Empresas que se dedican a la importación de AEE completos de primer o de segundo uso, o de partes para el ensamblaje local, para su posterior comercialización.

13. Marca de AEE: Símbolo, palabra o distintivo que identifica un AEE o alguno de sus componentes en el mercado de consumo.

14. Meta anual de manejo de RAEE: Cantidad de RAEE (en unidades de peso) aprobada por MINAM como meta anual del país que debe ingresar a los sistemas de

manejo de RAEE individual o colectivo. En el caso del productor de AEE, es la cantidad de RAEE (en unidades de peso) señalada en su respectivo plan de manejo aprobado por la autoridad competente.

15. Operadores de RAEE: Empresas registradas y autorizadas por la Dirección General de Salud Ambiental - DIGESA como Empresa Prestadora de Servicios de Residuos Sólidos (EPS-RS) o Empresa Comercializadora de Residuos Sólidos (EC-RS), que se encargan del manejo total o parcial de los RAEE en instalaciones adecuadas. Realizan actividades de recolección, transporte, almacenamiento, segregación y/o tratamiento para el reaprovechamiento o disposición final de los RAEE.

16. Plan de Manejo de RAEE: Instrumento de gestión ambiental mediante el cual el productor de manera individual o un conjunto de productores de manera colectiva presentan a la autoridad competente las acciones a desarrollar para el manejo adecuado de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

17. Productor de AEE: Para efectos del presente Reglamento, se define como tal a toda persona natural o jurídica que realiza actividades vinculadas a los aparatos eléctricos y electrónicos en cualquiera de las siguientes modalidades:

- a) Fabricantes o ensambladores que comercializan AEE sin marca o con marca propia.
- b) Importadores de AEE con marca propia del fabricante.
- c) Importadores de componentes de AEE que ensamblan y venden AEE con marca propia del vendedor.
- d) Distribuidores de AEE.
- e) Comercializadores de AEE.

18. RAEE históricos: Son aquellos que proceden de productos puestos en el mercado con anterioridad a la vigencia del Reglamento RAEE.

19. RAEE huérfanos: RAEE de marcas que han desaparecido o ya no trabajan más en el país, sin que exista una empresa que se responsabilice de los mismos.

20. RAEE ensamblados sin marca ni identificación: Residuos de AEE ensamblados en el país cuyos productores no se pueden identificar ni se responsabilizan por su manejo.

21. Reaprovechamiento de RAEE: Volver a obtener un beneficio del RAEE o parte del mismo que constituye residuo sólido. Se reconoce como técnica de reaprovechamiento el reciclaje, recuperación o reutilización.

22. Reciclaje de RAEE: Toda actividad que permite reaprovechar un RAEE mediante un proceso de transformación en instalaciones autorizadas, locales o en el exterior, para cumplir su fin inicial u otros fines.

23. Recolección selectiva de RAEE: Recolección de RAEE de forma diferenciada de otros flujos de residuos, para facilitar su manejo por los operadores de RAEE.

24. Recuperación de RAEE: Toda actividad que permite reaprovechar parte de sustancias o componentes de un RAEE, como materiales o energía, para uso o procesamiento.

25. Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE): Aparatos eléctricos o electrónicos que han alcanzado el fin de su vida útil por uso u obsolescencia y que se convierten en residuos. Comprende también los componentes, subconjuntos, periféricos y consumibles de algunas categorías de aparatos.

26. Responsabilidad Compartida sobre RAEE: Enfoque de política ambiental mediante el cual se atribuye a cada persona la responsabilidad por los RAEE que genera o maneja en las distintas etapas de la vida de un AEE o del desarrollo de una actividad en las que este interviene.

27. Responsabilidad Extendida del Productor de AEE: Enfoque de política ambiental mediante el cual, la responsabilidad del productor de AEE se amplía a la fase post-consumo del ciclo de vida de un producto, en las etapas de recolección, transporte, tratamiento y disposición final de forma ambientalmente adecuada.

28. Reutilización o Reuso de RAEE: Toda actividad que permite reaprovechar directamente los RAEE o

alguno de sus componentes, con el objeto de que cumpla el mismo fin para el que fue fabricado originalmente, contemplando estándares ambientales.

29. Sistema de manejo de RAEE: Conjunto de entidades que interactúan en las diversas etapas de la gestión de los RAEE, para asegurar su control y manejo ambientalmente adecuado, bajo el marco de la responsabilidad compartida que comprende la responsabilidad extendida del productor. Se considera sistema individual cuando un solo productor establece su propio sistema y se responsabiliza del mismo, y sistema colectivo cuando una agrupación de productores, operadores y/o gobiernos locales establece y se responsabiliza del sistema.

30. Tratamiento de RAEE: Actividades que se realizan en las instalaciones de los operadores de RAEE que comprenden: descontaminación, desensamblaje, reacondicionamiento, trituración, recuperación o preparación para disposición final de los RAEE.

31. Transporte de RAEE: Etapa que consiste en trasladar los RAEE desde las instalaciones del generador o del centro de acopio a las instalaciones del operador que tratará estos residuos. También comprende el traslado al exterior del país.

ANEXO 2

CATEGORÍAS DE AEE

1. Grandes electrodomésticos:

- Grandes equipos refrigeradores
- Frigoríficos
- Congeladores
- Otros grandes aparatos utilizados para la refrigeración, conservación y almacenamiento de alimentos
- Lavadoras
- Secadoras
- Lavavajillas
- Cocinas
- Estufas eléctricas
- Placas de calor eléctricas
- Hornos de microondas
- Otros grandes aparatos utilizados para cocinar y en otros procesos de transformación de alimentos
- Aparatos de calefacción eléctrica
- Radiadores eléctricos
- Otros grandes aparatos utilizados para calentar habitaciones, camas, muebles para sentarse
- Ventiladores eléctricos
- Aparatos de aire acondicionado
- Otros aparatos de aireación, ventilación aspirante y aire acondicionado

2. Pequeños electrodomésticos:

- Aspiradoras
- Otros aparatos y difusores de limpieza y mantenimiento
- Aparatos utilizados para coser, hacer punto, tejer y para otros procesos de tratamiento de textiles
- Planchas y otros aparatos utilizados para planchar y para dar otro tipo de cuidados a la ropa
- Tostadoras
- Freidoras
- Cafeteras y aparatos para abrir o precintar envases o paquetes
- Cuchillos eléctricos
- Aparatos para cortar el pelo, para secar el pelo, para cepillarse los dientes, máquinas de afeitar, aparatos de masaje y otros cuidados corporales
- Relojes, relojes de pulsera y aparatos destinados a medir, indicar o registrar el tiempo
- Balanzas

3. Equipos de informática y telecomunicaciones:

- a) Proceso de datos centralizado:
 - Grandes computadores
 - Mini computadores
 - Unidades de impresión

b) Sistemas informáticos personales:

- Computadores personales (incluyendo unidad central, ratón, pantalla y teclado)
- Computadores portátiles (incluyendo unidad central, ratón, pantalla y teclado)
- Computadores portátiles tipo notebook
- Computadores portátiles tipo notepad
- Impresoras
- Copiadoras
- Máquinas de escribir eléctricas o electrónicas
- Calculadoras de mesa o de bolsillo
- Otros productos y aparatos para la recogida, almacenamiento, procesamiento, presentación o comunicación de información de manera electrónica
 - Sistemas y terminales de usuario
 - Terminales de fax
 - Terminales de télex
 - Teléfonos fijos
 - Teléfonos inalámbricos
 - Teléfonos celulares
 - Contestadores automáticos
 - Otros productos o aparatos de transmisión de sonido, imágenes u otra información por telecomunicación

4. Aparatos electrónicos de consumo:

- Radios
- Televisores
- Videocámaras
- Vídeos
- Cadenas de alta fidelidad
- Amplificadores de sonido
- Instrumentos musicales
- Otros productos o aparatos utilizados para registrar o reproducir sonido o imágenes, incluidas las señales y tecnologías de distribución del sonido e imagen distintas de la telecomunicación

5. Aparatos de alumbrado:

- Luminarias para lámparas fluorescentes, excluidas las luminarias de hogares particulares
- Lámparas fluorescentes rectas
- Lámparas fluorescentes compactas
- Lámparas de descarga de alta intensidad, incluidas las lámparas de sodio de presión y las lámparas de haluros metálicos
 - Lámparas de sodio de baja presión
 - Otros aparatos de alumbrado utilizados para difundir o controlar luz, excluidas las bombillas de filamentos

6. Herramientas eléctricas y electrónicas:

- Taladradoras
- Sierras
- Máquinas de coser
- Herramientas para tornerar, molidurar, enarenar, pulir, aserrar, cortar, cizallar, taladrar, perforar, punzar, plegar, encorvar o trabajar la madera, el metal u otros materiales de manera similar
 - Herramientas para remachar, clavar o atornillar o para sacar remaches, clavos, tornillos o para aplicaciones similares
 - Herramientas para soldar (con o sin aleación) o para aplicaciones similares
 - Herramientas para rociar, esparcir, propagar o aplicar otros tratamientos con sustancias líquidas o gaseosas por otros medios
 - Herramientas para cortar césped o para otras labores de jardinería
 - Otras herramientas (excepto las herramientas

industriales fijas permanentemente de gran envergadura, instaladas por profesionales)

7. Juguetes o equipos deportivos y de tiempo libre:

- Trenes eléctricos o coches en pista eléctrica
- Consolas portátiles
- Videojuegos
- Ordenadores para realizar ciclismo, submarinismo, correr, remar, etc.
 - Material deportivo con componentes eléctricos o electrónicos
 - Máquinas tragamonedas, máquinas de juego en general
 - Otros juguetes o equipos deportivos y de tiempo libre eléctricos o electrónicos.

8. Aparatos médicos (excepto todos los productos implantados e infectados):

- Aparatos de radioterapia
- Cardiología
- Diálisis
- Ventiladores pulmonares
- Aparatos de laboratorio para diagnóstico in vitro
- Analizadores
- Congeladores
- Pruebas de fertilización
- Otros aparatos para detectar, prevenir, supervisar, tratar o aliviar enfermedades, lesiones o discapacidades

9. Instrumentos de vigilancia y control:

- Detector de humos
- Reguladores de calefacción
- Termostatos
- Aparatos de medición, pesaje o reglaje para el hogar o como material de laboratorio
 - Otros instrumentos de vigilancia y control eléctricos y electrónicos utilizados en instalaciones industriales (por ejemplo, en paneles de control)

10. Máquinas expendedoras:

- Máquinas expendedoras de bebidas calientes
- Máquinas expendedoras de botellas o latas, frías o calientes.
- Máquinas expendedoras de productos sólidos
- Máquinas expendedoras de dinero
- Todos los aparatos para suministro automático de toda clase de productos

ANEXO 3 - SI**RESUMEN DE PLAN DE MANEJO DE RAEE
(SISTEMA INDIVIDUAL)**

1. PRODUCTOR:
 a) N° DE REGISTRO
 b) DIRECCIÓN
 c) CONTACTO CARGO
 TELÉFONO N° CELULAR N°

2. META ANUAL:

RECOLECCIÓN

TRATAMIENTO

GRADUALIDAD

3. FORMA DE TRANSACCIÓN:

a) MANEJO PROPIO
 b) MANEJO CON OPERADORES DE RAEE (nacionales o extranjeros)
 c) OTRAS FORMAS DE TRANSACCIÓN

4. RECOLECCION DE RAEE

HOGARES EMPRESAS

CENTROS DE ACOPIO

ANEXOIII

ANÁLISIS DE ZINC POR COMPLEXOMETRÍA (MÉTODO Zn-VOL70)

1. Pesar 0.5g de muestra y se transfiere a un vaso de 250ml. Se agrega 10ml de HCl y se calienta hasta reducir el volumen a 5ml; luego se añade 10ml de HNO₃ y se sigue calentando hasta reducir el volumen a 5ml. Se enfría ligeramente, se añade 10ml de H₂SO₄ se calienta hasta desprendimiento abundante de humos blancos, si el contenido se toma oscuro se adiciona gotas de ácido nítrico o un poco de clorato de potasio y se sigue calentando hasta reducir el volumen obtener un contenido pastoso.
2. Se enfría, se agrega 50ml de agua desionizada, se hierve y se enfría; luego se filtra la solución obtenida con papel Whatman N° 40 o equivalente recibiendo el filtrado en un vaso de 400ml, lavando 5 veces con solución 5% de H₂SO₄ Y 6 veces con agua fría.
3. El filtrado se hierve, se le agrega 5ml de solución al 10% de persulfato de amonio y se calienta por 10 minutos. Se enfría ligeramente, se añade 50ml de la solución extractiva y se hierve por 10 minutos.
4. Se filtra en caliente utilizando papel Whatman N° 40 o equivalente, recibiendo el filtrado en un vaso de 400ml (si el filtrado no es claro se vuelve a filtrar), se lava el precipitado varias veces con una solución extractiva al 10% caliente cuatro veces y seis veces con agua caliente.
5. El filtrado se acidifica ligeramente con ácido acético 50% (pH 5.3 a 5.5), se añade una pizca de tiourea para complejizar el cobre y otra pizca de ácido ascórbico para reducir el hierro o manganeso presente en la solución. Se agrega gotas de indicador anaranjado de xilenol y se titula con solución patrón EDTA hasta color amarillo brillante.

Nota: Es importante mantener el pH entre 5.3 – 5.5 en la titulación con el EDTA, esto se logra adicionando más solución extractiva si el pH disminuye.

Preparación y estandarización del EDTA

-Preparar en una fiola de un litro, una solución de sal disódica del ácido etilendiamino tetra acético (EDTA) 36 g/L.

-Preparar estándares para valorar el EDTA. La preparación de los estándares se realizan mediante granallas zinc puro, en vasos de 400ml pesamos 0.2000 g de zinc y se digesto con 10 ml de ácido clorhídrico y lo calentamos hasta disolver la muestra de zinc, luego se le agrega 150ml de agua desionizada y 20ml de solución extractiva. La solución queda lista para titular.

Expresión de resultados.

$$F = P/V$$

Donde:

F = Factor (g de Zn/ml de solución EDTA)

P = Peso en g de Zn metálico patrón

V = Volumen en mililitros de la solución EDTA consumido

Cálculo:

$$\%Zn = \frac{\text{Gasto} * \text{factor} * 100}{PM}$$

Donde:

Gasto = Volumen de EDTA consumido en la titulación.

Factor = Factor de corrección EDTA (peso de Zn (g)/volumen titulado expresado en ml).

PM = Peso de muestra.

ANEXO IV

METODO ICP61: DETERMINACION DE TRAZAS DE ELEMENTOS

Procedure Title: DETERMINATION OF TRACE ELEMENTS IN GEOLOGICAL MATERIALS USING ICP-AES

Procedure Codes: ME-ICP41, ME-ICP61, ME-ICP41i, ME-ICP61i, ME-ICP41iL, ME-ICP61iL, ME-AQ81, ME-4ACD81, ME-ICP49

Related Codes: GEO-AR01, GEO-4ACID

Rev#	Description of Amendment	Reviewed/Approved By and Date	Issued By
01.00	First Issue.	ICP Peer Group, C, Dickau, M. Ramshaw 6-Nov-2013	M. Ramshaw
02.00	Updated QC limits.	C. Dickau, ICP Peer Group 28-Oct-2014	A. Keshavjee
03.00	Minor corrections to QC limits for Cd & Co.	C. Dickau, S. Bevis 20-Sep-2016	B. Piroozmandy

HORARIO

Revision 03.00

Date of Issue: 21-Sep-16
Issuing Authority: B. Piroozmandy
Page 1 of 6

ICPAES Geochemistry Methods

1. SCOPE

This procedure is suitable for the determination of trace and some major elements in acid leachable samples. The amount of a particular element taken into solution by a digestion method will depend both on the sample matrix and the strength of the dissolution procedure. The aqua regia method involves a mixture of HCl and HNO₃ acids and the 4-acid "near total" digestion involves a multi-step procedure including nitric, perchloric, hydrofluoric, and hydrochloric acids. Sample weight used is typically 0.25 or 0.5g and typically the digestion, workup, and analyses are performed "in-tube". In general, precision for geochemistry methods is taken to be 10% but is also a function of detection limit.

Refer to Digestion Code: GEO-AR01 and GEO-4ACID for a more comprehensive discussion of expected element recoveries and mineral solubilities from each method.

2. PRINCIPLE

For GEO-AR01 0.5g of sample, in a polypropylene tube, is digested with 75 % aqua regia in a digestion block operating at 115°C. After dilution to 12.5mL a suite of elements is determined using ICPAES.

For GEO-4ACID 0.25g of sample, in a Teflon test tube, is digested in a number of stages using nitric, perchloric and hydrofluoric acids and taken to incipient dryness. The residue is leached with dilute hydrochloric acid and diluted to 12.5mL. After dilution, a suite of elements is determined using ICPAES.

Analysis on the ICPAES is performed using a method template containing 61 analytical lines and 28 interferent lines. Interferences are present in the form of spectral overlaps which are mitigated through a suite of Inter-Element Corrections (IECs), and matrix effects which are reduced through internal standard (IS) correction from the three available IS lines. Refer to ICP/LINE SOP for full list of available analytical, interferent, and IS lines.

Quality control for each instrument run involves an initial calibration verification immediately following the calibration, followed by one or more on-going calibration verification checks run at regular intervals to monitor instrument drift. For acquired data to be valid and reportable it must be bounded by passing calibration verification samples.

In addition to the calibration verification samples, the beginning of every run contains a calibration blank check (Reagent Blank) and a subset of IEC solutions to improve per-run corrections from Al, Ca, and Fe. Concentrations used for these IEC solutions may be adapted to suit a region's geology, but must fall within the linear range of the analytical/interferent lines used.

HORARIO

Revision 03.00
Date of Issue: 21-Sep-16
Issuing Authority: B. Piroozmandy
Page 2 of 6

ICPAES Geochemistry Methods

3. SAFETY REQUIREMENTS

- 3.1. Adequate safety equipment must be worn when handling acids. Safety glasses, nitrile/latex gloves and lab coats should be worn. Refer to the relevant MSDS for further details.
- 3.2. Great care must be exercised when handling hydrofluoric acid, as it is capable of inflicting severe burns and may even cause death.
- 3.3. Staff using this acid must know the safety precautions to be taken and have a good knowledge of the first aid procedures that must be used in case of a hydrofluoric acid burn. (Refer to the relevant MSDS for full details).
- 3.4. Staff handling hydrofluoric acid should wear the following PPE - A full-face shield, natural rubber or neoprene gloves, plastic sleeve protectors, rubber boots (or rubber boot protectors), lab coat and a full-length rubber apron that extends below the top of the boots.
- 3.5. Preparation of the acid mixture and sample digestion must be carried out in a mechanically ventilated and scrubbed fume cupboard.

4. ELEMENTS REPORTED

- 4.1. Elements determined by ICPAES in this package are summarized in GEMS. In Webview, Select in Order: 'Lab' or 'QC' Tab, In Method Info Box; Type, '[Method Code]', <Enter>, In Method Detail Window, click, 'Analytes'

5. REAGENTS

- 5.1. Refer to Digestion Method GEO-AR01 (SOP) or GEO-4ACID (SOP).

6. APPARATUS

- 6.1. Refer to Digestion Method GEO-AR01 (SOP) or GEO-4ACID (SOP).
- 6.2. Inductively coupled plasma atomic emission spectrometer (ICPAES) equipped with a solid-state detector (CCD or similar)

7. REFERENCES

- | | |
|--|--------------------|
| 7.1. Aqua Regia Digestion - Geochemical Analysis | GEO-AR01 |
| 7.2. Four Acid "Near Total" - Geochemical Analysis | GEO-4ACID |
| 7.3. ICPAES - Daily Setup Procedure | ICP/SETUP (RADIAL) |
| 7.4. ICPAES - Calibration and QC Solutions | ICP/CAL-QC |
| 7.5. ICPAES - Operating Parameters | ICP/OP |

HORARIO

Revision 03.00
Date of Issue: 21-Sep-16
Issuing Authority: B. Piroozmandy
Page 3 of 6

ICPAES Geochemistry Methods

- 7.6. ICPAES – Line Selection and Interferences ICP/LINE
- 7.7. ICPAES – Routine Maintenance ICP/MAINTENANCE

8. INSTRUMENT PARAMETERS

- 8.1. The ICPAES daily setup procedures are detailed in document ICP/SETUP (Radial) (SOP).
- 8.2. The ICPAES operating parameters are detailed in document ICP/OP (SOP).
- 8.3. The spectral lines used to determine elemental concentrations and inter-element corrections required are included in document ICP/LINE (SOP).
- 8.4. Maintenance procedures for the ICPAES are outlined in document ICP/MAINTENANCE (SOP).

9. QUALITY CONTROL

- 9.1. The ICPAES daily setup procedures are detailed in document ICP/SETUP (Radial) (SOP). Batch Quality Control samples are weighed, digested and analysed with the unknown samples. The number of QC samples, blanks and duplicates are listed in GEMS after the creation of an instrument run.
- 9.2. Instrument Calibration solutions are prepared from purchased multi-element stock solutions. See document ICP/CAL-QC (SOP) for solution preparation details.
- 9.3. Quality Control solutions are purchased from a different source to the Calibration solutions. Details of these solutions and their preparation details are found in ICP/CAL-QC (SOP). General positioning details for these samples are shown below.

	ICPAES
Immediately after calibration	Reagent blank IEC Solutions ALSQC-LOW (ALSQC1) ALSQC-HIGH Standard GEO QC
On-going calibration drift checks (after a maximum of 60 samples*)	Standard GEO QC ALSQC-LOW (ALSQC1)

** Insertion of on-going QC is recommended between sample racks (e.g., every 40 samples for a 40 place rack) but for larger racks the frequency must not exceed 60 samples.*

HORARIO

Revision 03.00
 Date of Issue: 21-Sep-16
 Issuing Authority: B. Piroozmandy
 Page 4 of 6

ICPAES Geochemistry Methods

9.4. Acceptable QC control limits are shown below.

QC Low (initial)

Element	Defined Conc	Limit
As (mg/L)	10	6 %
Bi (mg/L)	10	6 %
Cd (mg/L)	10	6 %
Co (mg/L)	10	5 %
Cr (mg/L)	10	6 %
Cu (mg/L)	10	5 %
Mn (mg/L)	10	6 %
Mo (mg/L)	10	5 %
Ni (mg/L)	10	5 %
P (mg/L)	10	6 %
Pb (mg/L)	10	5 %
Sb (mg/L)	10	6 %
Sr (mg/L)	10	6 %
Ti (%)	0.001	6 %
V (mg/L)	10	6 %
Zn (mg/L)	10	5 %
Zr (mg/L)	10	6 %

QC Low (continuing)

Element	Defined Conc	Limit
As (mg/L)	10	10 %
Bi (mg/L)	10	10 %
Cd (mg/L)	10	10 %
Co (mg/L)	10	8 %
Cr (mg/L)	10	10 %
Cu (mg/L)	10	8 %
Mn (mg/L)	10	10 %
Mo (mg/L)	10	8 %
Ni (mg/L)	10	8 %
P (mg/L)	10	10 %
Pb (mg/L)	10	8 %
Sb (mg/L)	10	10 %
Sr (mg/L)	10	10 %
Ti (%)	0.001	10 %
V (mg/L)	10	10 %
Zn (mg/L)	10	8 %
Zr (mg/L)	10	10 %

QC High (initial)

Element	Defined Conc	Limit
Ag (mg/L)	5	4 %
Co (mg/L)	250	5 %
Cu (mg/L)	250	4 %
Mo (mg/L)	250	4 %
Ni (mg/L)	250	4 %
Pb (mg/L)	250	4 %
Zn (mg/L)	250	4 %
As (mg/L)	250	6 %
Li (mg/L)	50	6 %
Mn (mg/L)	250	6 %
Te (mg/L)	50	6 %

HORARIO

Revision 03.00
Date of Issue: 21-Sep-16
Issuing Authority: B. Piroozmandy
Page 5 of 6

ICPAES Geochemistry Methods

10. ERROR ACTIONS

- 10.1. If the initial QC check fails after calibration, cease the analysis immediately.
- 10.2. If the initial QC check passes after calibration, continue to run the first set of samples until the next ongoing QC check.
- 10.3. If the ongoing QC Check passes, continue running the next set of samples.
- 10.4. If the ongoing QC Check fails, recalibrate the instrument, check the QC and rerun all samples up until the last successful QC check.
- 10.5. If the QC solution fails to fall within acceptable control limits after re-calibration, the analysis must stop. The analyst must then determine the cause of the QC failure and make the necessary adjustments. Analysis shall then recommence from the solution immediately following the last successful QC check.

NOTE: *If the adjustments require turning plasma off and taking apart and cleaning the glassware (nebulizer, spray chamber, transfer tube, torch) then the data prior to QC recalibration failure must be exported to GEMS while re-batching the leftover rack of samples to another Instrument Run.*

ANEXO V
DETERMINACION DE OXIDO DE ZINC

agregar 25 mL de agua y 5 mL de ácido clorhídrico, y mezclar. Calentar en un baño de vapor durante 5 minutos y filtrar, enjuagando el filtro con varias porciones de agua. Diluir el filtrado y los lavados combinados con agua hasta aproximadamente 100 mL.

Análisis: Agregar solución amortiguadora de cloruro de amonio-amoniaco SR hasta que la solución sea neutra al tornasol. Agregar 5 mL de solución amortiguadora de cloruro de amonio-amoniaco SR y 0,1 mL de negro de eriocromo SR y valorar con edetato disódico 0,05 M SV hasta un punto final azul. Cada mL de edetato disódico 0,05 M equivale a 3,27 mg de Zn o 22,78 mg de gluconato de cinc ($C_{12}H_{22}O_{14}Zn$).

Criterios de aceptación: 93,0%–107,0%

PRUEBAS DE DESEMPEÑO

- **DESINTEGRACIÓN (701):** Para Tabletas destinadas a mezclarse con agua antes de su administración como líquidos orales

Tiempo: No más de 60 s

- **DESINTEGRACIÓN Y DISOLUCIÓN DE SUPLEMENTOS DIETÉTICOS (2040):** Para Tabletas que no deben mezclarse con agua antes de su ingestión

Medio: Ácido clorhídrico 0,01 N; 900 mL

Aparato 2: 50 rpm

Tiempo: 45 min

Análisis: Determinar la cantidad disuelta de $C_{12}H_{22}O_{14}Zn$, empleando espectrofotometría de absorción atómica a la línea de emisión de resonancia de cinc, a 213,8 nm, en porciones filtradas de la solución en análisis, adecuadamente diluidas con agua, en comparación con una solución estándar con una concentración conocida de cinc en el mismo *Medio*.

Tolerancias: No menos de 75% de la cantidad declarada de $C_{12}H_{22}O_{14}Zn$.

- **UNIFORMIDAD DE UNIDADES DE DOSIFICACIÓN (905):** Cumplen con los requisitos

REQUISITOS ADICIONALES

- **ENVASADO Y ALMACENAMIENTO:** Conservar en envases impermeables. Proteger de la luz.
- **ETIQUETADO:** Etiquetar las Tabletas en términos de cinc elemental y también en términos de gluconato de cinc ($C_{12}H_{22}O_{14}Zn$). El etiquetado indica si las Tabletas están destinadas a mezclarse con agua antes de su administración.
- **ESTÁNDARES DE REFERENCIA USP (11)**
ER Gluconato de Potasio USP

de calor suave, si fuera necesario. Cuando la disolución sea completa, agregar anaranjado de metilo SR. Valorar el exceso de ácido sulfúrico con hidróxido de sodio 1 N SV. Cada mL de ácido sulfúrico 1 N equivale a 40,69 mg de ZnO.

Criterios de aceptación: 99,0%–100,5% con respecto a la sustancia incinerada

IMPUREZAS

- **ARSÉNICO, Método I (211):** No más de 6 ppm

• PLOMO

Solución muestra: Agregar 2 g a 20 mL de agua, mezclar bien y agregar 5 mL de ácido acético glacial. Entibiar en un baño de vapor hasta disolución.

Análisis: Agregar 5 gotas de cromato de potasio SR.

Criterios de aceptación: No se produce turbidez ni precipitado.

• HIERRO Y OTROS METALES PESADOS

Solución muestra: Usar la solución de Carbonato y Color de la Solución.

Análisis: Enfriar 2 alícuotas separadas de 5 mL de la Solución muestra. Agregar ferrocianuro de potasio SR a la primera alícuota y agregar sulfuro de sodio SR a la segunda alícuota.

Criterios de aceptación: Se forman precipitados blancos en las dos alícuotas.

- **PÉRDIDA POR INCINERACIÓN (733):** Incinerar 2 g a 500° hasta peso constante: pierde no más de 1,0% de su peso.

PRUEBAS ESPECÍFICAS

• ALCALINIDAD

Análisis: Mezclar 1,0 g con 10 mL de agua caliente, agregar 2 gotas de fenoltaleína SR y filtrar.

Criterios de aceptación: Si se produce un color rojo, se requiere no más de 0,30 mL de ácido clorhídrico 0,10 N para eliminarlo.

• CARBONATO Y COLOR DE LA SOLUCIÓN

Análisis: Mezclar 2,0 g con 10 mL de agua, agregar 30 mL de ácido sulfúrico 2 N y calentar en un baño de vapor, mezclando constantemente.

Criterios de aceptación: No se produce efervescencia y la solución resultante es transparente e incolora.

[NOTA—Usar esta solución en la prueba para Hierro y Otros Metales Pesados.]

REQUISITOS ADICIONALES

- **ENVASADO Y ALMACENAMIENTO:** Conservar en envases bien cerrados.

Óxido de Cinc

ZnO 81,38
Zinc oxide.
Óxido de cinc [1314-13-2].

DEFINICIÓN

El Óxido de Cinc recién incinerado contiene no menos de 99,0% y no más de 100,5% de óxido de cinc (ZnO).

IDENTIFICACIÓN

- **A.** Cuando se calienta intensamente, adquiere un color amarillo que desaparece al enfriarlo.
- **B. IDENTIFICACIÓN—PRUEBAS GENERALES, Cinc (191)**
Solución muestra: Disolver en un leve exceso de ácido clorhídrico 3 N.
Criterios de aceptación: Cumple con los requisitos.

VALORACIÓN

• PROCEDIMIENTO

Muestra: 1,5 g recién incinerados

Análisis: Disolver la *Muestra* y 2,5 g de cloruro de amonio en 50,0 mL de ácido sulfúrico 1 N SV con la ayuda

Óxido de Cinc Neutro

ZnO 81,39

DEFINICIÓN

El Óxido de Cinc Neutro, recién incinerado, contiene no menos de 95,0% y no más de 98,0% de óxido de cinc (ZnO).

IDENTIFICACIÓN

- **A.** Cuando se calienta intensamente, adquiere un color amarillo que desaparece al enfriarlo.
- **B. IDENTIFICACIÓN PRUEBAS—GENERALES, Cinc (191)**
Solución muestra: Disolver en un ligero exceso de ácido clorhídrico 3 N.
Criterios de aceptación: Cumple con los requisitos.

VALORACIÓN

• PROCEDIMIENTO

Muestra: 1,5 g recién incinerados

Análisis: Disolver la *Muestra* y 2,5 g de cloruro de amonio en 50,0 mL de ácido sulfúrico 1 N SV con ayuda de calor suave, si fuera necesario. Cuando la disolución sea

completa, agregar anaranjado de metilo SR y valorar el exceso de ácido sulfúrico con hidróxido de sodio 1 N SV. Cada mL de ácido sulfúrico 1 N equivale a 40,69 mg de ZnO.

Criterios de aceptación: 95,0%–98,0%

IMPUREZAS

• **CLORUROS Y SULFATOS, Sulfatos (221):** Una porción de 0,1 g no presenta más sulfato que el correspondiente a 2,3 mL de ácido sulfúrico 0,020 N (2,2%).

• **ARSENICO, Método I (211):** No más de 2 ppm

• **PLOMO**

Solución muestra: Agregar 2 g a 20 mL de agua y mezclar bien. Agregar 5 mL de ácido acético glacial y entibiar en un baño de vapor hasta que se disuelva.

Análisis: Agregar 5 gotas de cromato de potasio SR.

Criterios de aceptación: No se produce turbidez ni precipitado.

• **MERCURIO**

Solución de ácido nítrico 1: Agregar cuidadosamente 50 mL de ácido nítrico a 450 mL de agua y mezclar.

Solución de ácido nítrico 2: Agregar cuidadosamente 10 mL de ácido nítrico a 490 mL de agua y mezclar.

Solución de ácido clorhídrico y ácido nítrico: [NOTA—Preparar inmediatamente antes de usar.] Ácido clorhídrico y ácido nítrico concentrados (3:1)

Solución de sulfato estannoso: [NOTA—Esta mezcla es una suspensión y debe mezclarse continuamente mientras se usa.] Agregar 25 g de sulfato estannoso a 250 mL de ácido sulfúrico 0,5 N.

Solución de cloruro de sodio y sulfato de hidroxilamina: 120 mg/mL de cloruro de sodio y de sulfato de hidroxilamina en agua

Solución de permanganato de potasio: 50 mg/mL de permanganato de potasio en agua

Solución madre del estándar de mercurio: [NOTA—Se recomienda usar un estándar de mercurio preparado comercialmente.] 1,0 mg/mL de mercurio, a partir de cloruro mercúrico en *Solución de ácido nítrico 1*

Solución estándar de trabajo de mercurio: 0,5 µg/mL de mercurio en *Solución de ácido nítrico 2*, a partir de *Solución madre del estándar de mercurio*

Soluciones estándar: Transferir alícuotas de 1 mL, 2 mL, 3 mL y 4 mL de *Solución estándar de trabajo de mercurio* a sendos frascos de demanda biológica de oxígeno (BOD) de 300 mL. Agregar 5 mL de agua y 5 mL de *Solución de ácido clorhídrico y ácido nítrico* a cada frasco. Calentar el frasco durante 2 minutos en un baño de agua a 95°. Enfriar y agregar 50 mL de agua y 15 mL de *Solución de permanganato de potasio*. Mezclar bien y colocar en un baño de agua durante 30 minutos a 95°. Enfriar, agregar 5 mL de *Solución de cloruro de sodio y sulfato de hidroxilamina*, y diluir con agua hasta 200 mL.

Solución blanco: Agregar 5 mL de agua y 5 mL de *Solución de ácido clorhídrico y ácido nítrico* a un frasco BOD de 300 mL. Calentar la solución durante 2 minutos en un baño de agua a 95°. Enfriar y agregar 50 mL de agua y 15 mL de *Solución de permanganato de potasio*. Mezclar bien y colocar en un baño de agua durante 30 minutos a 95°. Enfriar, agregar 5 mL de *Solución de cloruro de sodio y sulfato de hidroxilamina*, y diluir con agua hasta 200 mL.

Solución muestra: Transferir 2,0 g de Óxido de Cinc Neutro a un frasco BOD de 300 mL. Agregar 5 mL de agua y 5 mL de *Solución de ácido clorhídrico y ácido nítrico* al frasco. Calentar la muestra en un baño de agua durante 2 minutos a 95°. Enfriar y agregar 50 mL de agua y 15 mL de *Solución de permanganato de potasio*. Mezclar bien y colocar en un baño de agua durante 30 minutos a 95°. Enfriar, agregar 5 mL de *Solución de cloruro de sodio y sulfato de hidroxilamina* y diluir con agua hasta 200 mL.

Análisis: Agregar 5 mL de *Solución de ácido clorhídrico y ácido nítrico* a cada frasco. Calentar el frasco durante 2 minutos en un baño de agua a 95°. Enfriar, agregar 5 mL de *Solución de cloruro de sodio y sulfato de hidroxilamina*, y diluir con agua hasta 200 mL.

Criterios de aceptación: No más de 0,7%

Instrumento de detección de mercurio y Aparato de aireación: Proceder según se indica en *Mercurio (261)*, *Método Ila y Método I Ib*.

Análisis: Agregar 5 mL de *Solución de sulfato estannoso* a una *Solución estándar* e inmediatamente insertar el frasco en el *Aparato de Aireación*. Medir la absorbancia de la *Solución estándar*. Repetir el procedimiento con las *Soluciones estándar* y *Solución muestra* restantes. Realizar una determinación usando la *Solución blanco* y hacer todas las correcciones necesarias. Graficar las absorbancias de las *Soluciones estándar* en función de las concentraciones, en µg/mL, y trazar la línea recta que mejor se ajuste a los puntos graficados. A partir de la gráfica obtenida, determinar la concentración, en ppm de mercurio, en la *Solución muestra*.

Criterios de aceptación: No más de 1 ppm

• **HIERRO Y OTROS METALES PESADOS**

Solución muestra: Usar la solución de *Carbonato y Color de la Solución*.

Análisis: Enfriar por separado dos alícuotas de 5 mL de la *Solución muestra*. Agregar ferrocianuro de potasio SR a la primera alícuota y sulfuro de sodio SR a la segunda.

Criterios de aceptación: Se forman precipitados blancos en ambas alícuotas.

• **ÓXIDO DE MAGNESIO**

Solución de ácido nítrico: Agregar cuidadosamente 10 mL de ácido nítrico concentrado a 490 mL de agua y mezclar.

Solución estándar: [NOTA—Se recomienda usar una solución estándar de magnesio y plasma inductivamente acoplado preparada comercialmente.] 25 µg/mL de magnesio en *Solución de ácido nítrico*

Solución muestra: 4 mg/mL de Óxido de Cinc Neutro en *Solución de ácido nítrico*

Blanco: *Solución de ácido nítrico*

Condiciones instrumentales

Modo: Espectrometría de emisión atómica por plasma inductivamente acoplado

Longitud de onda analítica: 279,1 nm

Potencia de radiofrecuencia: 1,2 kW

Velocidad de flujo

Antorcha de argón: 17 L/min

Nebulizador de argón: 1,0 L/min

Auxiliar de argón: 1,4 L/min

Análisis

Muestras: *Solución estándar*, *Solución muestra* y *Blanco*
Calcular el porcentaje de óxido de magnesio en la porción de ZnO tomada:

$$\text{Resultado} = (C_u/C_s) \times (M_{r1}/M_{r2}) \times 100$$

C_u = concentración de magnesio en la *Solución muestra*, determinada a partir del instrumento (µg/mL)

C_s = concentración de óxido de cinc neutro en la *Solución muestra* (µg/mL)

M_{r1} = peso molecular de óxido de magnesio, 40,30

M_{r2} = peso molecular de magnesio, 24,31

Criterios de aceptación: No más de 0,7%

• **PÉRDIDA POR INCINERACIÓN (733):** Pesar 1 g e incinerar a 750° durante 15 minutos: pierde no más de 5,0% de su peso.

PRUEBAS ESPECÍFICAS

• **ALCALINIDAD**

Análisis: Mezclar 1,0 g con 10 mL de agua caliente y agregar dos gotas de fenolftaleína SR.

Criterios de aceptación: No se produce cambio de color.

• **CARBONATO Y COLOR DE LA SOLUCIÓN**

Análisis: Mezclar 2,0 g con 10 mL de agua, agregar 30 mL de ácido sulfúrico 2 N y calentar en un baño de vapor, mezclando constantemente.

Criterios de aceptación: No se produce efervescencia y la solución resultante es transparente e incolora.

[NOTA—Emplear esta solución en la prueba para *Hierro y Otros Metales Pesados*.]

REQUISITOS ADICIONALES

- **ENVASADO Y ALMACENAMIENTO:** Conservar en envases bien cerrados y almacenar a temperatura ambiente.
- **ETIQUETADO:** Etiquetar indicando que está destinado a usarse sólo en preparaciones de pantallas solares.

Óxido de Cinc, Pasta

» La Pasta de Óxido de Cinc contiene no menos de 24,0 por ciento y no más de 26,0 por ciento de ZnO.

Puede prepararse del siguiente modo:

Óxido de Cinc	250 g
Almidón	250 g
Vaselina Blanca	500 g
Para preparar	1000 g

Mezclar los ingredientes.

Envasado y almacenamiento—Conservar en envases bien cerrados y evitar la exposición prolongada a temperaturas superiores a 30°.

Identificación—El residuo obtenido en la *Valoración* es amarillo cuando está caliente y blanco cuando está frío.

Llenado mínimo (755): cumple con los requisitos.

Valoración—Utilizando aproximadamente 600 mg de Pasta, proceder según se indica en la *Valoración en Óxido de Cinc, Ungüento*.

Óxido de Cinc, Ungüento

» El Ungüento de Óxido de Cinc contiene no menos de 18,5 por ciento y no más de 21,5 por ciento de ZnO.

Puede prepararse del siguiente modo:

Óxido de Cinc	200 g
Aceite Mineral	150 g
Ungüento Blanco	650 g
Para obtener	1000 g

Mezclar el Óxido de Cinc y el Aceite Mineral hasta formar una pasta homogénea y luego incorporar el Ungüento Blanco [ver *Ungüentos y Supositorios en Sustancias Agregadas (Ingredientes y Procesos)* en las *Advertencias Generales*].

Envasado y almacenamiento—Conservar en envases bien cerrados y evitar la exposición prolongada a temperaturas superiores a 30°.

Identificación—El residuo obtenido en la *Valoración* es amarillo cuando está caliente y blanco cuando está frío.

Llenado mínimo (755): cumple con los requisitos.

Calcio, magnesio y otras sustancias extrañas—calentar moderadamente 2 g del producto hasta que se funda y continuar el calentamiento, aumentando gradualmente la temperatura, hasta que la masa quede totalmente carbonizada.

Incinerar la masa hasta que el residuo tenga un color amarillo uniforme. Agregar al residuo 6 mL de ácido clorhídrico 3 N: no se produce efervescencia. Calentar la mezcla en un baño de vapor entre 10 y 15 minutos: no queda más que una traza de residuo insoluble. Filtrar la solución, diluir con agua hasta 10 mL, agregar hidróxido de amonio 6 N hasta que el primer precipitado formado se redisuelva, luego agregar 2 mL de oxalato de amonio SR y 2 mL de fosfato dibásico de sodio SR: no se produce más que una ligera turbidez en 5 minutos.

Valoración—Pesar con exactitud aproximadamente 700 mg de Ungüento en un crisol de porcelana, calentar moderadamente hasta que se funda y continuar el calentamiento, aumentando gradualmente la temperatura, hasta que la masa quede totalmente carbonizada. Incinerar la masa hasta que el residuo tenga un color amarillo uniforme y enfriar. Disolver el residuo en 10 mL de ácido sulfúrico 2 N, entibiar si fuera necesario para disolver completamente, transferir la solución a un vaso de precipitados y enjuagar el crisol con pequeñas porciones de agua hasta que la solución y los enjuagues combinados alcancen los 50 mL. Agregar 15 mL de solución amortiguadora de amoniaco-cloruro de amonio SR y 1 mL de negro de eriocromo SR y valorar con edetato disódico 0,05 M SV hasta que la solución se torne azul. Cada mL de edetato disódico 0,05 M equivale a 4,069 mg de ZnO.

Óxido de Cinc y Ácido Salicílico, Pasta

» La Pasta de Óxido de Cinc y Ácido Salicílico contiene no menos de 23,5 por ciento ni más de 25,5 por ciento de óxido de cinc (ZnO) y no menos de 1,9 por ciento ni más de 2,1 por ciento de ácido salicílico (C₇H₆O₃).

Puede prepararse del siguiente modo:

Ácido Salicílico, en forma de polvo fino	20 g
Pasta de Óxido de Cinc, cantidad suficiente para obtener	1000 g

Triturar totalmente el Ácido Salicílico con una porción de la pasta, agregar luego el resto de la pasta y seguir triturando hasta obtener una mezcla homogénea.

Envasado y almacenamiento—Conservar en envases bien cerrados.

Identificación—

A: El residuo obtenido en la *Valoración de óxido de cinc* es de color amarillo cuando está caliente y de color blanco cuando se enfría.

B: Agitar 1 g con 10 mL de agua y filtrar. Agregar al filtrado 1 mL de cloruro férrico SR: se produce un color violeta rojizo intenso. Agregar a esta solución 1 mL de ácido acético: no se dispersa el color. Agregar a esta solución 2 mL de ácido clorhídrico 2 N: el color se dispersa y se forma un precipitado cristalino blanco.

Llenado mínimo (755): cumple con los requisitos.

Valoración de óxido de cinc—Pesar con exactitud en un crisol de porcelana tarado aproximadamente 500 mg de Pasta, calentar moderadamente hasta que funda y luego seguir calentando, elevando paulatinamente la temperatura, hasta que la masa esté totalmente carbonizada. Incinerar la masa hasta que todo el material carbonoso haya desaparecido, el residuo adquiera un color amarillo uniforme y el