

TÍTULO

“Separación por método hidrometalúrgico de cinc y manganeso en pilas de tipo alcalinas a los efectos de transformar estos compuestos en productos de utilización industrial”.

Prof. Sp. Licenciado en Química Industrial

CAVALLERO Néstor Mario

FORMICA Ligia	4° año Ing. Ambiental (2° Año)
ARESTE Manuela	3° año Lic. en Tec. de los Al. (1° Año)
BONINO Julia	3° año Lic. en Qca. Ind. (1° Año)
CAGNASSI Leonela	3°/4° Año Lic. en Qca. Ind. (1° Año)
DIANI Valeriana	3° Año Lic. en Qca. Ind. (1° Año)
IBARRA Jorge	3° Año Lic. en Qca. Ind. (1° Año)
MATHEY DORET Ziomara	4° Año Ing. Ambiental (1° Año)
TEMPONE Luz	3°/4° Año Lic. en Qca. Ind. (1° Año)
VIDAL TESÓN Andrea	3° Año Lic. en Tec. Al. (1° Año)

APELLIDO Y NOMBRE	D.N.I.	CIUDAD DE ORIGEN	FECHA DE NACIMIENTO	DOMICILIO
CAVALLERO NÉSTOR MARIO	13868706	SAN LORENZO (SANTA FE)	07/03/1960	J. ING. 760 ROSARIO SANTA FE
ARESTE MANUELA	36494710	PERGAMINO (BS. AIRES)	28/10/1994	ARIST. DEL VALLE S/N EL SOCORRO BS AS
BONINO JULIA	38816811	PIAMONTE (SANTA FE)	11/02/1995	LAPRIDA 911 PIAMONTE SANTA FE
CAGNASSI LEONELA	33654823	FIRMAT (SANTA FE)	07/06/1988	25 DE MAYO 359 LOS QUIRQUINCHOS (STA. FE)
DIANI VALERIANA	37637664	CORRAL DE BUSTOS (CBA.)	08/10/1993	EDISON 475 CORRAL DE BUSTOS (CBA.)
FORMICA LIGIA	37716858	VILLA G. GÁLVEZ (SANTA FE)	13/12/1994	FILIPPINI 1929 V. GDOR. GÁLVEZ STA. FE
IBARRA JORGE	38375702	ROSARIO (SANTA FE)	07/12/1994	PCIAS. UNIDAS 3201 ROSARIO
MATHEY DORET ZIOMARA	37576757	ROSARIO (SANTA FE)	28/04/1994	CALLE C 2430 ALVEAR SANTA FE
TEMPONE LUZ	33279493	ROSARIO (SANTA FE)	02/12/1987	PELEGRINI 2364 10°P DTO. E ROSARIO
VIDAL TESÓN ANDREA	38864542	ARRECIFES (BS. AIRES)	15/12/1994	JOSÉ MOLLE 875 ARRECIFES BUENOS AIRES



RESUMEN

PILAS ALCALINAS

La composición de una pila que no ha sido usada está dada por Cinc metálico e hidróxido de potasio en el ánodo, y el cátodo es una mezcla de bióxido de manganeso con polvo de carbón.

Mientras la pila es utilizada se produce una transformación química por el mecanismo de oxido-reducción, en el ánodo (oxidación) parte del cinc metálico se transforma en óxido de cinc, y, en la misma proporción en el cátodo (reducción), el bióxido de manganeso se transforma en Mn^{+++} . El carbón no sufre alteración alguna a lo largo del proceso, ya que su función es de conducción de la electricidad.

Ánodo y cátodo se encuentran separados por una película sintética que permite el paso de la corriente, pero no el contacto entre los mismo, siendo la misma fácilmente separable.

Todo el conjunto descrito se encuentra con una cubierta de hojalata que a su vez posee una cobertura exterior consistente en un film plástico donde encontramos la información comercial.

En el marco educativo de conjugar “conceptos teóricos” y su “aplicación a la realidad” nace este Proyecto, con el objetivo fue encontrar una solución a un problema social: y que tanto a nivel académico como a nivel gubernamental no se ha encontrado respuesta a: ¿Qué hacer con las pilas alcalinas?

En respuesta a ello, se pensó un método de separación de sus componentes a base de Cinc y Manganeso a los efectos de transformarlos en productos de utilización industrial, lo cual conlleva al reaprovechamiento de los mismos.

En el país aún no han definido un proceso de reciclado de pilas alcalinas usadas, tal es así, que la legislación solo contempla la posibilidad de deposición con los residuos sólidos urbanos.

Una falsa creencia de la sociedad es considerar, que al juntar o enterrar las pilas la contaminación se detiene o minimiza, de esta manera lo único que se logra es concentrar esa contaminación en un área determinada.

El Proyecto tiene una escala de desarrollo, a nivel laboratorio, fueron la separación y transformación del Cinc (ánodo) y del Manganeso (cátodo); obteniendo sulfuro de cinc y bióxido de manganeso, que son la forma en que dichos metales los encontramos mayoritariamente en la naturaleza, y por ende, no hablamos de zonas contaminadas con cinc y manganeso, sino de zonas ricas en tales minerales, forma en que están



inmovilizados y que son extraídos para su uso como materia prima en numerosos procesos productivos con una amplia aplicación de rubros.

PALABRAS CLAVE

SEPARACIÓN – INMOVILIZACIÓN – TRASFORMACIÓN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las pilas de tipo alcalinas representan en su tipo un volumen mayoritario con respecto al resto existente en el mercado, las mismas están compuestas básicamente por cinc metálico, óxido de cinc, hidróxido de potasio y bióxido de manganeso.

No solo es complejo su tratamiento, sino también su deposición, por lo que se hace necesario en nuestra sociedad una solución a los efectos de disminuir los efectos contaminantes generados por el desecho de las mismas.

Se presentan a continuación diferentes justificaciones que hacen al procedimiento desarrollado

- Justificación académica: las técnicas de tratamiento se basarán en los procedimientos utilizados en química analítica de la carrera de licenciatura en Química Industrial y en Química III de la carrera de Ingeniería Ambiental, donde los desarrollos teóricos tendrán, además de las técnicas de laboratorio implementadas, la posibilidad de desarrollo en la Química Aplicada.
- Justificación científica: será necesaria la implementación del método científico en la definición de un proceso de tratamiento inicial del problema a los efectos de lograr la separación de los componentes para luego poder transformarlos en productos con una posterior utilización.
- Justificación tecnológica: el proceso de elaboración de un producto tecnológico no culmina en el momento que se concreta la venta del mismo, sino que continúa con la posible deposición o transformación para incorporarlo reinsertarlo en un proceso productivo, ésta etapa aún no existe, por lo que no es posible cerrar el círculo integral del producto en cuestión.
- Justificación social: socialmente se encuentra instalada la preocupación por la deposición y por las consecuencias que generan las mismas en el momento que se transforman en residuos, el aumento exponencial de su uso se manifiesta de la misma manera en los efectos nocivos que causan como elementos contaminantes sobre la sociedad toda, no solo en los países en vía de



desarrollo sino en los denominados de primer mundo o desarrollados.

- Justificación económica: los compuestos en cuestión como los de cinc y el manganeso son en el mercado productos no fáciles de adquirir como tampoco de costos reducidos, dadas su nobleza como metales y su relativa escasez como minerales en la corteza terrestre, por lo que debería ser económicamente atractivo su procesamiento para posterior reubicación en el mercado.

REVISIÓN DEL ESTADO DEL CONOCIMIENTO

En la literatura científica no se encuentran procedimientos definidos al respecto, solo se dispone de trabajos de investigación abordando causas y efectos contaminantes por las diferentes formas de disponer este tipo de productos. Los aspectos abordados son:

- Efectos directos sobre la salud de la población.
- Efectos contaminantes en suelos donde se realizan deposiciones de residuos que entre sus componentes aparecen diferentes tipos de pilas.
- Efectos contaminantes en napas y cursos de aguas que son cercanos a lugares de disposición de residuos.

Por lo que los aspectos a indagar, y de los que no se disponen trabajos de referencia es el denominado “reciclado” para este tipo de productos, que tal vez por su complejidad puede que aun no resulte económicamente atractivo para el sector industrial, y al día de hoy solo encuentre tratamiento en los ámbitos académicos, de allí la importancia de encarar el estudio y análisis de factibilidad de procesamiento y aplicación.

MARCO TEÓRICO

Todo compuesto o elemento utilizado por el hombre proviene de la naturaleza, se le han efectuado transformaciones para su aprovechamiento y utilización.

En ese concepto lo denominamos recurso natural y en algún momento fueron extraídos del suelo, y como tales en su existencia no hablamos de contaminantes o zonas contaminadas, sino de zonas ricas en dichos metales con “solubilidades” características que provocan la “inmovilidad” propia para que sea un componente y no un contaminante, por lo que se debe centrar el estudio en la “transformación” de los mismos en aquellos que fueron “mineral” y “materia prima” en la denominada Industria de



Manufactura Primaria.

OBJETIVOS

Objetivos Generales:

- Organizar un equipo de trabajo donde el vínculo entre la Fe y la Razón sean el principio del estudio de un problema.
- Promover la búsqueda del conocimiento a través de tareas de investigación con alumnos de la Unidad Académica.
- Despertar el trabajo interdisciplinar entre alumnos de distintas carreras pero con un mismo objetivo.
- Interiorizar sectores de gobierno vinculados al cuidado del medio ambiente sobre la actividad realizada.
- Contribuir en la definición del eslabón faltante en el denominado Análisis de Ciclo de Vida con la reutilización de estos compuestos.
- Conformar un grupo humano de trabajo donde la ética sea el fiel reflejo de los principios de nuestra Iglesia en la búsqueda de la verdad.

Objetivos Específicos:

- Disminuir los efectos perjudiciales causados por no existir una disposición de este tipo de residuos tecnológicos, haciéndose una deposición de los mismos igual manera que el resto de los residuos domiciliarios.
- Lograr un procedimiento de separación y transformación en productos reutilizables que sean materia prima en el mundo productivo.

CAPITULO 1

PILA

Se entiende por pila y batería, a una fuente de energía eléctrica obtenida por transformación directa de energía química y constituida por uno o varios elementos primarios (no recargables)... se refiere a que la pila o batería que se encuentra sellada, puede llevarse en la mano... (Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable).

PILAS ALCALINAS



PROCESO HIDROMETALÚRGICO

Cuando hacemos referencia a un proceso hidrometalúrgico hablamos de la utilización de un medio acuoso, para disolver y aislar un compuesto de interés para luego por un tratamiento adecuado se lo separa cuantitativamente para un tratamiento particular e individual.

La hidrometalurgia posee la ventaja de poder adaptar los requerimientos del proceso de acuerdo a los volúmenes a tratar, por lo que se puede plantear a nivel laboratorio o bien en planta piloto con las consideraciones necesarias implicadas por la cantidad a procesar.

El proceso, como tal, opera a temperatura ambiente o bien a baja temperatura, que en nuestro caso no supera en ningún momento los 50 °C, y en condiciones de presión correspondiente a la atmosférica.

La consideración particular de los reactivos a utilizar se centra en los costos de los mismos y en la facilidad que presenten para su neutralización en el momento de formar parte de un efluente.

En nuestro caso particular se aplica a la recuperación de metales a través de un medio acuoso en el cual se lo solubiliza para posteriormente inmovilizarlos mediante la transformación en los compuestos que los concentra en su forma más abundante en la naturaleza.

Los reactivos utilizados son fáciles de obtener y relativamente baratos, ya que para la disolución se utiliza agua, mientras que en el proceso de lixiviación y de los compuestos poco solubles de cinc y manganeso utilizamos ácido sulfúrico diluido, mientras que para los procesos de eliminación del medio o inmovilización se utiliza sulfuro de sodio en el caso del cinc e hipoclorito de sodio para el catión manganoso.

CAPÍTULO 2

NORMATIVA AMBIENTAL VIGENTE

Fuente: Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.

Pilas y baterías primarias (no recargables), las denominadas pilas alcalinas.

“A tales efectos, se entiende por pila y batería, a una fuente de energía eléctrica obtenida por transformación directa de energía química y constituida por uno o varios elementos primarios (no recargables) o por uno o varios elementos secundarios



(recargables). El término portátil se refiere a que la pila o batería se encuentra sellada, puede llevarse en la mano y no es una pila o batería industrial, ni una pila o batería de vehículos”.

NORMATIVA DE REFERENCIA PARA LA GESTIÓN DE PILAS Y BATERÍAS

La SECRETARÍA DE AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE DE LA NACIÓN (SAyDS), es Autoridad de Aplicación de las siguientes Leyes y su normativa complementaria:

- Ley N° 24.051¹ “Ley de Residuos Peligrosos”, que regula la generación, manipulación, transporte, tratamiento y disposición de residuos peligrosos.
- Ley N° 23.922² “Aprobación del Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación”, suscripto en Basilea, Suiza.
- Ley N° 25.675 “Ley General del Ambiente”, que establece los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable.
- Ley N° 26.184³ “Ley de Fuentes de Energía Eléctrica Portátil”, que prohíbe en todo el territorio de la Nación la fabricación, ensamblado e importación de pilas y baterías primarias con las características que se establecen, como también la comercialización; y establece la certificación de las pilas y baterías reguladas.
- Ley N° 25.916⁴ “Ley de Gestión de Residuos Domiciliarios”, que establece presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión integral de residuos domiciliarios.

¹ Aspectos relevantes de la ley en Anexo

² Como consecuencia del presente convenio surge la ley 2405 acerca de “Residuos Peligrosos”

³ En anexos se muestra el cuerpo de la ley.

⁴ Aspectos relevantes de la ley en Anexo.



ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS DISPONIBLES PARA EL TRATAMIENTO Y/O DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS DE PILAS Y BATERÍAS PORTÁTILES

Existen actualmente diferentes alternativas tecnológicas disponibles, que deberían tenerse en cuenta a la hora de definir cuál sería el mejor tratamiento y/o disposición final para los residuos de pilas y baterías, en función de sus características intrínsecas de peligrosidad o la falta de ellas.

Disposición final en relleno sanitario: para aquellas pilas primarias agotadas que están sometidas a un proceso de Certificación conforme a la Ley N° 26.184 (Ley de Fuentes de Energía Eléctrica Portátil) tales como las pilas primarias de tipo cilíndricas y prismáticas, ya sean comunes de Carbono-Zinc y alcalinas de Manganeseo, *se considera, en principio, aceptable su descarte junto con las corrientes de residuos domésticos cuando éstos últimos se dispongan en rellenos sanitarios, dado que, en dicha condición, los constituyentes involucrados resultan compatibles con este tipo de tecnología.*

De esta manera, las pilas y baterías domiciliarias que cumplan con los parámetros establecidos por la Ley N° 26.184, no requerirían de una recolección o disposición final diferenciada y por lo tanto podrían ser excluidas de toda regulación específica en lo que hace a su disposición final, siempre y cuando las mismas se dispongan a nivel del usuario (y su destino final sea un relleno sanitario) y no a partir de programas especiales de gestión o de sujetos alcanzados por la normativa de residuos peligrosos.

Reciclado de componentes: existen a escala mundial tecnologías para todo tipo de pilas y baterías (secundarias y primarias).

El Centro Coordinador Regional del Convenio de Basilea para América Latina y Caribe, con sede Uruguay, destaca la existencia básicamente de dos tipos de tecnologías para la recuperación de metales: (a) método hidrometalúrgico y (b) pirometalúrgico (o combinación de ambas). Los procesos utilizados hoy en día requieren de una etapa previa de separación, dado que no existe un método universal para todo tipo de pilas.

El método hidrometalúrgico consiste en la disolución parcial o total de metales en agua con ácidos o bases fuertes y extracción selectiva de metales para uso como materia prima en la industria metalúrgica.

Al respecto, se cita el artículo 13 de la DIRECTIVA 2006/66/CE DEL PARLAMENTO



EUROPEO Y DEL CONSEJO, sobre nuevas tecnologías de reciclado establece:

“Los Estados miembros fomentarán el desarrollo de nuevas tecnologías de reciclado y tratamiento, y promoverán la investigación de métodos de reciclados rentables y no perjudiciales para el medio ambiente para todos los tipos de pilas y acumuladores.”

CAPÍTULO 3

3.1 TÉCNICA OPERATORIA

3.1.1 CORTE O APERTURA DE LA PILA

El corte de la pila se hace en manualmente con amoladora en forma longitudinal en los costados del cilindro, y transversalmente en ambas bases (se está diseñando una mordaza con herramienta de corte para realizar la operación de mecanizado en serie).

Manualmente se procede a separar la envoltura metálica con los aros superior e inferior compuestos de hierro. Con la cobertura superior se retira el electrodo central, de la misma composición, el que se sitúa en forma vertical en el centro del ánodo.



3.1.2 SEPARACIÓN DE ÁNODO Y CÁTODO

Esta operación se realiza manualmente, utilizando como herramienta una pinza metálica, como precaución se protegen las manos con guantes adecuados debido a los riesgos que implica la manipulación de compuestos como el hidróxido de potasio

3.1.2.1 TRATAMIENTO DEL ÁNODO

3.1.2.1.1 LIXIVIACIÓN DEL HIDRÓXIDO DE POTASIO

Se procede a la trituration del ánodo, el que no presenta demasiadas dificultades debido a su consistencia pastosa. Luego con agua se logra la total disolución del hidróxido generando un medio fuertemente alcalino, el que será utilizado en el tratamiento del cátodo.



3.1.2.1.2 FILTRACIÓN

Se procede a filtrar en embudo Buchner con kitasato y asistencia de vacío, quedando el residuo de cinc metálico y óxido de cinc en el filtro y recogiendo el lixiviado de hidróxido de potasio en el kitasato. Se finaliza la operación con el lavado del residuo.



3.1.2.1.3 LIXIVIACIÓN DEL SÓLIDO FILTRADO

Se trata el sólido separado por filtración en la operación anterior con ácido sulfúrico diluido a los efectos de provocar la disolución del cinc metálico y del óxido de cinc para su posterior precipitación como sulfuro.

3.1.2.1.4 FILTRACIÓN

Una vez provocada la disolución ácida, el catión se encuentra en solución en forma de sulfato, por lo que se lo separa del cinc metálico que no se ha disuelto por una nueva operación de filtración en filtro Buchner y kitasato bajo condiciones de vacío. Se observa una marcada diferencia en el residuo en cuanto a su aspecto, por la ausencia del óxido de cinc de color blanco, el que se ha disuelto. Se separa el filtrado para posterior tratamiento para su precipitación como sulfuro.

3.1.2.1.5 PRECIPITACIÓN DEL CINC COMO SULFURO

Se trata el filtrado anterior con solución de sulfuro de sodio previo agregado de indicador fenoltaleína a los efectos de no alcanzar un exceso de ión sulfuro en el medio ya que por efecto de la hidrólisis generada provocaría la disolución del sulfuro de cinc



en forma de complejo hidroxilado. Se recomienda realizar la operación con agitación mecánica.

Finalizada la reacción se observa un abundante precipitado de color blanco de sulfuro de cinc y coloración rosa violáceo en la solución provocada por la fenolftaleína alcanzado el pH de aproximadamente 10 por el exceso de ión sulfuro.



3.1.2.1.6 LAVADO DEL SULFURO DE CINCO

Se hace pasar abundante cantidad de agua a través del residuo de sulfuro de cinc hasta completa decoloración del mismo y comprobación de la neutralidad del agua de lavado por medio de su pH.

3.1.2.2 TRATAMIENTO DEL CÁTODO

El cátodo es una mezcla de bióxido de manganeso y grafito, de color negro, compacto,



por lo que se lo debe pulverizar en forma mecánica a través de molino a rodillo (diseñado y construido a tal efecto).





3.1.2.2.1 DISOLUCIÓN DEL ÓXIDO DE MANGANESO III

Una vez finamente dividido se lo trata con solución de ácido sulfúrico a los efectos de lixiviar el óxido de manganeso III, inestable en medio ácido, el que se dismutará en bióxido de manganeso que precipita en el medio, e ión manganeso que será de tratamiento posterior.



3.1.2.2.2 FILTRACIÓN

Se separa el bióxido de manganeso producto de la dismutación del ión de manganeso III para un mejor tratamiento del ión manganeso. La operación se realiza bajo vacío y se continúa el proceso con el líquido filtrado.



3.1.2.2.3 ALCALINIZACIÓN Y OXIDACIÓN DEL IÓN MANGANOSO



El ión manganeso se oxida fácilmente a bióxido de manganeso con solución de hipoclorito en medio alcalino.

Previo a la oxidación aparece a pH neutro un precipitado blanco de hidróxido de manganeso II, que por el agregado de hipoclorito de sodio se transforma en el óxido de manganeso IV, precipitando de color negro

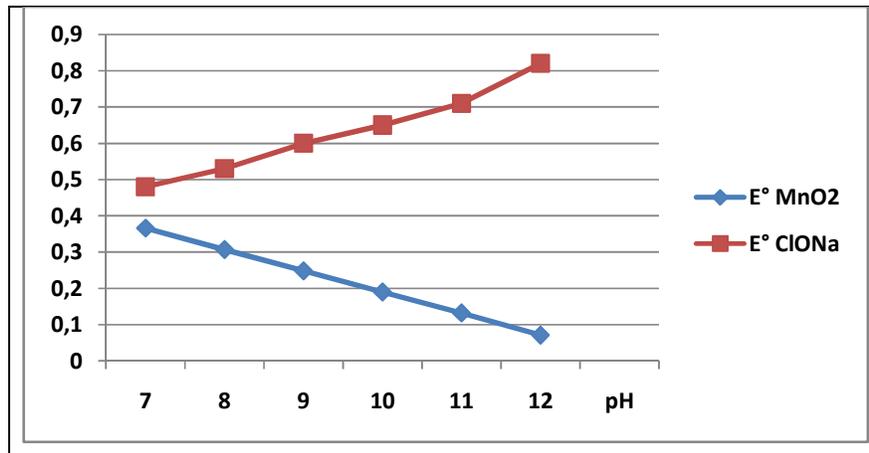


Establecidos los potenciales de reducción del hipoclorito de sodio, y de oxidación del manganeso desde su forma de hidróxido de manganeso II precipitado a bióxido de manganeso se define como pH óptimo para la reacción el de 9, estableciendo una diferencia de potenciales considerable como para que la reacción ocurra rápidamente,

pH	E° MnO ₂	E° ClONa
7	0,366	0,48
8	0,307	0,53
9	0,248	0,6
9,5	0,218	0,625
10	0,19	0,65
11	0,132	0,71
12	0,071	0,82

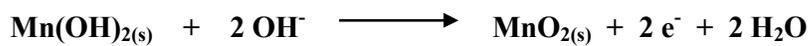
Ph	Dif de E
7	0,114
8	0,223
9	0,352
9,5	0,407
10	0,46
11	0,578
12	0,749

Variación de los Potenciales de la forma oxidada y reducida a medida que varía el pH de la solución

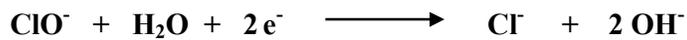


Reacciones Parciales

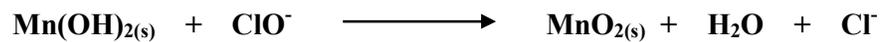
Oxidación



Reducción



Reacción total

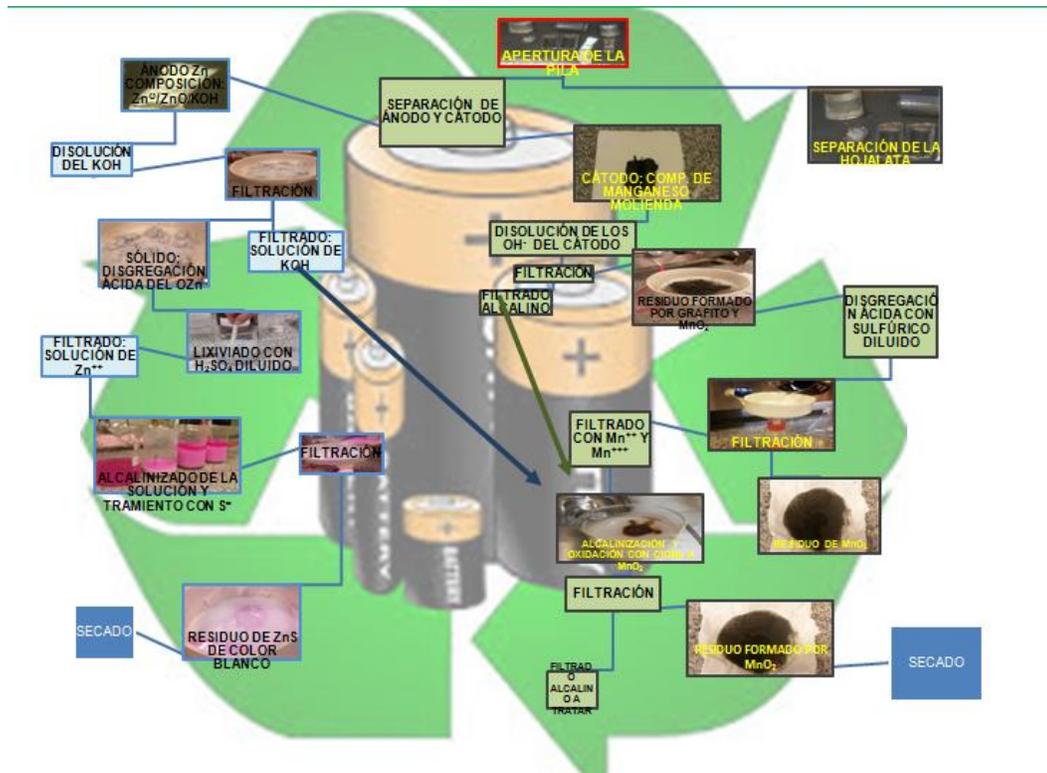


3.1.2.2.4 FILTRACIÓN

Ya precipitado totalmente el manganeso en forma de bióxido de color negro se lo separa por filtración bajo idénticas condiciones según 3.1.2.2.2



DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO



PROYECCIÓN

El proceso ha sido realizado en forma repetitiva a escala de laboratorio con un volumen máximo de componentes anódico y catódico pertenecientes hasta dos unidades de pilas alcalinas de mayor tamaño (peso total promedio por unidad: 150 gr).

En el proceso en la escala mencionada se están estableciendo las técnicas de control por vía instrumental, a los efectos de cuantificar la eficiencia del mismo, ya que solo se han hecho verificaciones de carácter cualitativo con reactivos específicos.

En cuanto al desarrollo del mismo, se implementará en un corto plazo, durante el presente año, su implementación a nivel de escala piloto, donde el proceso se lleve adelante con un número importante de pilas que se traten en forma simultánea.

Una operación, cuyo proceso se está elaborando desde el mes de marzo, por mecánicos, es el desarrollo de una herramienta que permita la apertura de todos los tipos de pilas alcalinas existentes en el mercado por medio de corte de las carcasas de hojalata.

Según la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación: “Actualmente, Argentina carece de alternativas de reciclado aptas para estos tipos de residuos. Por ello, es fundamental fomentar el desarrollo de nuevas tecnologías de



reciclado, y promover la investigación de métodos de reciclados rentables y no perjudiciales”. Es importante también definir el aspecto económico, más allá que los productos utilizados son baratos y muy fáciles de encontrar en el mercado, una etapa sería analizar la factibilidad económica para tentar la iniciativa privada o bien despertar el interés gubernamental, comenzando a nivel municipal, para poder llevarlo adelante a gran escala, pero ello tal vez significaría cargar un nuevo costo, al que el estado en todos sus niveles, actualmente tiene, no solo la recolección, sino la disposición de los residuos.

BIBLIOGRAFÍA

- “Un método para el tratamiento de las pilas y baterías domésticas usadas de tamaño medio, II Parte. Desarrollo de un método para su tratamiento.” D. de Juan \ V. Meseguer \ A. Perales y L. J. Lozano. Grupo de Investigación INQUICA. Dpto. de Ingeniería Química de Cartagena. Escuela Politécnica Superior de Cartagena. Universidad de Murcia. Paseo Alfonso XIII, 34. 30203-Cartagena. Murcia (España).
- Recuperación de cinc, dióxido de manganeso y carbono de pilas usadas para el desarrollo de una tecnología de reciclado. José Antonio Guevara García, Maritza Morales Pizarro, Gabino López Sánchez, Elvia Ortiz Ortiz, Juana Sánchez-Alarcón y Rafael Valencia-Quintana. Laboratorio de Investigación en Bioinorgánica y Biorremediación (LIByB). Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Tecnología. Universidad Autónoma de Tlaxcala.
- Estructura de pilas alcalinas.
http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Pila_alcalina&oldid=66422081.
- Burriel Martí, Fernando –Lucena Conde, Felipe – Arribas Jimeno, Siro, “Química Analítica Cualitativa” Editorial Paraninfo. 18° Edición. 2006.
- Estudio para la identificación y análisis de pilas y baterías. Facultad de Ingeniería. Instituto de Ingeniería Sanitaria Dr. Rogelio A. Trelles. UBA.
- Propuesta de un método para la recuperación de cinc de pilas alcalinas usadas bajo el enfoque de producción más limpia. Universidad de el Salvador. Facultad de ingeniería y Arquitectura. Escuela de ingeniería Química.



- Remoción de manganeso por aireación y por tratamiento químico con hipoclorito de sodio. http://www.mazzei.net/Espanol/Tech_Bulletins/ES-TB-02.PDF.
- Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable. www.ambiente.gov.ar/?idarticulo=5435.
- Cotton, F. Albert: "Química Inorgánica Avanzada" Editorial Limusa, 1996.
- Chang Raymond "Química" Editorial McGraw-Hill, México, 2007.