

**Producción de Paneles de Celulosa Reciclada Incorporando Materiales Recuperados de
Pilas Alcalinas**

Shirley Daniela Estupiñan Fonseca

Néstor Mauricio Macareo Hernández

Trabajo de Grado para Optar el título de Ingeniero Metalúrgico

Director

Pedro Luis Delvasto Angarita

Doctor en Ciencia y Tecnología de Materiales

Codirector

Paalo Andrea Moreno Yáñez

Doctora en Ingeniería Química

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería Metalúrgica

Bucaramanga

2020

Dedicatoria

A Dios primeramente por darme la salud, la vida, las fuerzas y las ganas para sacar adelante esta carrera, por no dejarme sola nunca y por llenarme siempre de paciencia en cada dificultad que se me presentó.

A mis padres Ana Olga Fonseca y Jhonn Jairo Estupiñan Díaz porque a ellos les debo todo, por ser tan comprensivos siempre, tan incondicionales, por su amor, paciencia y sacrificio. Gracias por creer siempre en mí y por querer siempre lo mejor para mí.

A mi segunda familia y testigos en esta batalla: mi hermana, mi cuñado y mi sobrina, gracias por estar en cada momento presentes, por su apoyo incondicional, generosidad, palabras de aliento, comprensión y amor. Gracias infinitas.

A mi tío “nene” y a mi tía Rosa por su apoyo siempre, por creer en mí y por sus enseñanzas.

Por último, a todos mis familiares y amigos, por su apoyo incondicional, por acompañarme siempre de manera directa o indirecta y darme el aliento para cumplir con este sueño.

Daniela Estupiñan.

Dedicatoria

Las oportunidades tienden al infinito cuando se tiene claro el camino que se quiere recorrer, pero son cumplidas cuando no se pierde la motivación, y gozoso al construirla con las personas que más amas.

A mi Madre Fanny Hernández Jaimes y a mi tía Alix Hernández Jaimes por los consejos, palabras y amor para esta etapa de la vida, que enfrente con la frente en alto, Mis hermanos Fanny Johana y Manolo por tenerme paciencia. Mi tía Carmita y tío Manuel por la enseñanza y la disciplina para lograr las metas, Mi prima Laura Hernández por escucharme y guiarme y finalmente a mi nona Alix por confiar en mi...

Las segundas oportunidades existen, soy ejemplo de ello y más vendrán.

Mauricio Macareo

Agradecimientos

Los autores de esta tesis de grado expresamos nuestros más sinceros agradecimientos a la escuela de Ingeniería Metalúrgica, a todo el personal docente y técnico por ser parte de este proceso de aprendizaje y contribuir con nuestra formación integral.

A nuestro director, Dr. Pedro Luis Delvasto Angarita, por darnos la oportunidad de hacer parte de esta investigación, por su incondicional ayuda, apoyo y asesoría en todo el transcurso del proyecto. Adicionalmente, agradecerle por toda su paciencia y dedicación.

Ambrosio Carrillo Carrillo de la escuela de ingeniería metalúrgica, por su buena disposición y colaboración en todas las pruebas experimentales que se desarrollaron en el laboratorio de Pirometalurgia en el transcurso del proyecto. Además, por su solidaridad siempre con nosotros.

Fabián Guerrero, Karen Estupiñan y Fabián Rodríguez estudiantes de la escuela de ingeniería metalúrgica por colaborarnos en la producción, préstamo de herramientas y softwares para la elaboración de los paneles y finalización del proyecto.

Mayra Bayona adscrita al Gimat y a la Dr Viviana Guiza Arguello docente de la escuela de ingeniería metalúrgica por su contribución, tiempo y dedicación en los ensayos de resistencia a la flexión.

Carlos Alberto Villareal profesional encargado de la adquisición de datos al SEM, así como al Laboratorio de Microscopía de la Universidad Industrial de Santander, por prestarnos sus servicios y ayudarnos en la ejecución de esta tesis.

Laboratorista de Rayos X de la Universidad Industrial de Santander, por su apoyo incondicional en los ensayos y análisis de fases cristalinas, dándonos una ayuda para la realización de esta tesis de grado.

Finalmente, a todas las personas que participaron indirecta y directamente en el proyecto; docentes, amigos y técnicos que nos acompañaron en el transcurso de la elaboración de esta tesis de grado.

Gracias Totales

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Composición de las diferentes mezclas realizadas y de sus respectivos aditivos, expresada en porcentaje peso seco.....	22
Tabla 2. Mezclas realizadas para las fundiciones.....	24
Tabla 3. Ingredientes de los paneles y el número de probetas para cada prueba.	26
Tabla 4. Resultado de la velocidad de quemado para los paneles de celulosa.....	37

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Fundición de las mezclas para la realización de los paneles de celulosa. a) Primera fundición 1 hora. b) Segunda fundición 3 horas.	25
Figura 2. Paneles de celulosa fabricados con las diferentes mezclas para prueba de inflamabilidad.	28
Figura 3. Procedimiento para la prueba de inflamabilidad siguiendo la norma ASTM 635. .	29
Figura 4. Paneles de celulosa fabricados con las diferentes mezclas para prueba de flexión.	30
Figura 5. Procedimiento prueba de flexión siguiendo la norma ASTM D790.	31
Figura 6. A) ácido bórico, b) Material electrodico y ácido bórico 3 horas, c) Solo Mn, d) Solo Zn, e) Material electrodico y ácido bórico 1 hora, f) Proteína de soya, g) Material electrodico y ácido bórico 3 horas, h) Material electrodico y bórax 1 hora y i) Bórax.	32
Figura 7. Análisis químico por espectrometría de dispersión de energía de Rayos-X del panel de celulosa por fuera. a) Primera fundición de ácido bórico con material electrodico a 500 um y b) Primera fundición de ácido bórico con material electrodico a 200 um.	33
Figura 8. Análisis químico por espectrometría de dispersión de energía de Rayos-X del panel de celulosa por dentro (fibras). a) Partícula dentro de las fibras del panel a 400 um y b) partícula dentro de la fibra del panel a 100 um.	34
Figura 9. Difractogramas de Rayos-X para las 2 fundiciones realizadas a diferentes tiempos.	35

Figura 10. Resultado final prueba de inflamabilidad. A) Ácido bórico y material electrodico, b) probeta de solo papel que cumplió con la clasificación, c) probetas de solo Zn totalmente quemadas..... 38

Figura 11. Esfuerzo vs Desplazamiento de flexión para tres probetas diferentes de mayor a menor fuerza a) ácido bórico, b) material electrodico + ácido bórico y c) solo papel..... 39

Figura 12. Diagrama de caja de bigotes de los esfuerzos de flexión. 40

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Porcentaje de electrodo de Zn y de Mn en las pilas alcalinas.	47
Apéndice B. Cálculos de las respectivas fundiciones.	48
Apéndice C. Procedimiento para la prueba de inflamabilidad.	50
Apéndice D. Cálculos de la prueba de inflamabilidad.	51
Apéndice E. Cálculo tipo para esfuerzo de flexión.	55
Apéndice F. Resultados prueba de flexión.	56
Apéndice G. Análisis de varianza	57
Apéndice H. Montaje prueba de flexión.	58
Apéndice I. Moldes para ensayo de inflamabilidad.	59

Resumen

Título: Producción de paneles de celulosa reciclada incorporando materiales reciclados de pilas alcalinas.

Autores: Shirley Daniela Estupiñan Fonseca, Néstor Mauricio Macareo Hernández.

Palabras claves: Pilas alcalinas, sales bóricas, retardante de llama.

Descripción:

Las pilas se pueden utilizar como ingrediente en la formulación de un producto que logra tener una aplicabilidad industrial pudiéndose, de esta forma reducir el daño causado al entorno natural, cuando se depositan las pilas gastadas en un vertedero o en el medio ambiente, en vista de que los metales presentes en el interior de dichas pilas son potencialmente tóxicos, pudiendo contaminar el agua y el suelo.

Por consiguiente, el objetivo del presente trabajo de investigación es evaluar el uso de los residuos de las pilas alcalinas, en especial el zinc y el manganeso que contienen a través de su conversión de sales bóricas potencialmente utilizables como retardante de llama que se agregarán, como aditivos, en la fabricación de los paneles de celulosa ecológicos, producidos con material reciclado y sustancias vegetales. Los paneles de celulosa están formados por papel reciclado y proteína de soya, los cuales permiten la producción de un material con propiedades adecuadas para ser implementado como elemento no estructural en las construcciones como cielo raso o muros divisorios, siempre y cuando cumpla con las propiedades mecánicas que deben tener los materiales convencionales. Los paneles de celulosa ecológicos se fabricaron tomando el papel reciclado recortado en áreas muy pequeñas y sumergidas en cierta cantidad de agua, luego para ser agregado la proteína de soya y el material catódico extraído de las pilas alcalinas. Seguido de un proceso de licuada por diez minutos para después ser depositada en sus respectivos moldes, para evaluar sus características de inflamabilidad y esfuerzo de flexión, importante para este tipo de elemento no estructural. Son ingresadas a un horno por encima de 110° C por más de 12 horas para obtener un material sólido, un poco rugoso en la superficie. Y por último los materiales sólidos llevados a sus respectivas técnicas de caracterización para determinar las propiedades ya mencionadas con anterioridad para lograr el objetivo de este trabajo.

Abstract

Title: Production of recycled cellulose panels incorporating alkaline battery recycled materials.

Authors: Shirley Daniela Estupiñan Fonseca, Néstor Mauricio Macareo Hernández.

Keywords: Alkaline batteries, boric salts, flame retardant.

Description:

The batteries can be used as an ingredient in the formulation of a product that achieves an industrial applicability, thus reducing the damage caused to the natural environment, when the spent batteries are deposited in a landfill or in the environment, in view of that the metals present inside these batteries are potentially toxic, potentially contaminating the water and the soil.

Therefore, the objective of this research work is to evaluate the use of alkaline battery residues, especially zinc and manganese that they contain through their conversion of boric salts potentially usable as a flame retardant that will be added as additives. , in the manufacture of ecological cellulose panels, produced with recycled material and plant substances. Cellulose panels are made of recycled paper and soy protein, which allow the production of a material with suitable properties to be implemented as a non-structural element in buildings such as ceilings or dividing walls, as long as it complies with the mechanical properties that conventional materials must have. The ecological cellulose panels were manufactured by taking the recycled paper cut into very small areas and submerged in a certain amount of water, then to add the soy protein and the cathodic material extracted from the alkaline batteries. Followed by a liquefying process for ten minutes and then it is deposited in its respective molds, to assess its characteristics of flammability and flexural stress, important for this type of non-structural element. They are entered in an oven above 110° C for more than 12 hours to obtain a solid material, a little rough on the surface. And finally the solid materials are taken to their respective characterization techniques to determine the properties already mentioned above to achieve the objective of this work.

Introducción

Las pilas alcalinas agotadas que no son reutilizadas al terminar su ciclo de vida pueden terminar en sitios no adecuados para su preservación. Lo anterior, tiende a aumentar la contaminación ambiental, hecho que, muchas veces, aún es ignorado por parte de la sociedad (IDEAM, 2016, p. 13.). Por esta razón, se han empezado a desarrollar proyectos para la reutilización de los desechos de baterías y pilas domésticas gastadas (SUPERSERVICIOS, 2016, p. 16-19). Al ser consideradas como materias primas secundarias en la formulación de un producto, se logra obtener una aplicabilidad industrial y, de esta forma, se puede empezar a reducir el daño generado al medio ambiente que causan los metales pesados presentes en las pilas, los cuales afectan al agua y a los suelos y, finalmente, a las cadenas tróficas. (Rodríguez, L., Giménez, A., Puyuelo, B., & Castaño, J. 2014, p. 20)

Consecuentemente, la mayoría de los países están desarrollando políticas para la recolección y reciclaje de pilas y baterías gastadas. Sin embargo, con respecto al tamaño y el valor del mercado las pilas basadas en zinc y dióxido de manganeso (comúnmente denominadas alcalinas), han tenido el más alto impacto, debido a que mantienen una fuerte posición de mercado, debido a su bajo costo de materia prima y fácil manufactura. (Díaz Salavería, J., & Delvasto, P; 2013).

Por su parte, los paneles de celulosa encuentran aplicaciones diversas, pero destaca su empleo en construcción civil, como elementos no estructurales. La fabricación de los paneles de celulosa se considera amigable con el medio ambiente, ya que se confeccionan con papel reciclado y proteína de soya como aglomerante; a esta mezcla se le adicionan mezclas de sales bóricas que

actúan como retardantes de llama (Cortes, V. A. B., & Ardila, M. A. P; 2018). Los retardantes de llama basados en sales bóricas tienen la función de formar grandes cantidades de gases incombustibles, los cuales diluyen el oxígeno y reducen la tasa de combustión (Melgarejo, f. e. c; 2002). Se sabe, además, que las sales bóricas, entre ellas el ácido bórico y el bórax, no solo imparten resistencia al fuego a los paneles de celulosa, sino que también pueden constituir una protección contra los organismos que los deterioran (Baysal, E., Altinok, M., Colak, M., Kiyoka, S., Toker, H; 2007). Además, se ha encontrado que las mezclas de ácido bórico y bórax presentan cierta eficacia para retardar la propagación de la llama, un bajo punto de fusión y forman películas vítreas cuando se exponen a altas temperaturas en el fuego. El bórax tiende a reducir la propagación de la llama, pero puede promover una combustión lenta o brillante. Por otro lado, el ácido bórico suprime la combustión lenta, pero tiene poco efecto sobre la propagación de la llama, por ende, se recomienda usarlas juntas (Baysal, E., Altinok, M., Colak, M., Kiyoka, S., Toker, H; 2007). Recientemente, investigadores colombianos han reportado la posibilidad de sintetizar estas sales bóricas a partir de residuos de zinc recuperados de baterías gastadas, para incorporarlos en paneles de celulosa reciclada (Cortes, V. A. B., & Ardila, M. A. P; 2018), sin embargo, en dicho estudio la fracción rica en manganeso de las pilas alcalinas no fue tomada en cuenta.

Considerando la realidad antes planteada el presente trabajo de investigación tiene por objeto evaluar el uso de los residuos de las pilas alcalinas para reutilizar tanto el zinc y como el manganeso presente en ellas, de forma conjunta, con el fin de sintetizar sales bóricas de dichos metales y aplicarlos como aditivos retardantes de llama durante la fabricación de paneles de celulosa reciclada.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Sintetizar sales de zinc, manganeso y boro, mediante un método de fusión, empleando pilas alcalinas desechadas como materia prima para incorporarlas en el proceso de fabricación de paneles de celulosa reciclada.

1.2 Objetivos Específicos

- Recuperar el zinc y manganeso a partir de pilas alcalinas desechadas por medio de procesos manuales.
- Sintetizar sales de zinc, manganeso y boro mediante técnicas de fusión de los residuos de la batería combinados con ácido bórico o tetraborato de sodio.
- Incorporar el material sintetizado en mezclas de celulosa reciclada para fabricar paneles no estructurales, caracterizando tanto la resistencia mecánica como la resistencia a la propagación de la llama del material obtenido.

2. Marco Teórico

2.1. Proceso de reciclaje de pilas alcalinas

El manejo inadecuado de los residuos produce grandes impactos en nuestro medio ambiente y en la salud de todas las personas, de tal modo que cada residuo debería tener un tratamiento de reciclaje adecuado y de esta forma disminuir los daños ambientales y personales. A partir de esto, existen otros impactos negativos para la salud de las personas y está dado por el manejo inapropiado de los residuos que contienen sustancias peligrosas como las baterías o pilas. Además, en los verteros se realizan procesos de quema a cielo abierto donde las baterías y los plásticos producen principalmente dioxinas y furanos, que son sustancias tóxicas y cancerígenas (Espinoza, P. T., Arce, E. M., Daza, D., Faure, M. S., & Terraza, H; 2010). Estudios realizados en el año 2008 sobre la gestión y generación de residuos de baterías en Colombia, concluyeron que, en promedio, se generan 11.000 toneladas de pilas en el país, donde 2.000 son pilas alcalinas y el 80% de estas pilas va para los rellenos sanitarios y el 20% para los botaderos y otros sitios de disposición no adecuados (Colombia Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; 2008).

La industria metalúrgica ofrece dos tipos de procesos que se pueden adaptar para la recuperación de los residuos de las pilas, el primer proceso es hidrometalúrgico donde utiliza la lixiviación como principal técnica (Castells, X.E, 2012) y el segundo es el proceso pirometalúrgico el cual utiliza tecnologías donde el calor es el principal agente desencadenante de las reacciones,

este proceso está diseñado para recuperar los elementos mayoritarios como el manganeso y el zinc (Picón, j. j. c., & Charris, l. a. b; 2018).

Así mismo, a partir de la recuperación y reutilización de las sustancias contenidas dentro de las baterías desechadas se pueden crear otros materiales. Por ejemplo, mediante su incorporación en aleaciones de aluminio (Jaimes, J. J. C; 2018), la producción de cerámicas de base arcilla (Villamizar, F. J. P., & Rodríguez, Y. N. C; 2018), y como retardante de fuego en paneles de celulosa (Cortes, V. A. B., & Ardila, M. A. P; 2018).

2.2 Sustancias retardantes de llama

El fuego constituye una de las fuerzas de la naturaleza con mayor poder destructivo para los bienes y personas a la vez que es la causa del desarrollo de las sociedades modernas y los múltiples dispositivos presentes en ellas. La gran cantidad de pérdidas humanas y materiales ocasionadas por el fuego cada año justifican los intentos de la sociedad para reducir las probabilidades de que un incendio no controlado se inicie. Actualmente, se distingue una estrategia fundamental a la hora de luchar contra el fuego: la erradicación de los incendios una vez producidos y la prevención mediante la protección de los materiales (Sierra, N. B; 2010). Los retardantes de llama son compuestos líquidos, sólidos o gaseosos que tienden a inhibir la combustión cuando se aplican, ya sea mezclados o combinados, dentro o sobre materiales combustibles. Su principal objetivo es intervenir sobre la combustión, a lo largo de una determinada etapa del proceso; tales etapas son: el calentamiento, la descomposición, la ignición y la propagación de la llama (Lorza, S. R; 2010). Para entender el funcionamiento de los retardantes, es importante conocer los procesos de combustión de materiales sólidos. Estos no arden directamente, primero deben ser descompuestos

por el calor (pirólisis) para liberar gases inflamables, que al quemarse con el oxígeno del aire provocan las llamas. Si los materiales sólidos no generan los gases antes mencionados, ellos pueden quemarse sin llama (*smouldering*), pero a menudo se autoextinguirán, particularmente si se forma una barrera carbonosa estable que previene el acceso del calor hacia las capas inferiores del material (González, O; 2009).

Las llamas se mantienen en forma auto sostenida por la acción de radicales de alta energía (H^+ y OH^- en forma gaseosa), que descomponen el material y oxidan el carbono, formando dióxido de carbono (CO_2), con la correspondiente generación de calor. De acuerdo con lo anterior, existen cuatro características para explicar el comportamiento de los retardantes de llama (González, O; 2009):

- *Efecto Térmico:* Los retardantes reducen la acumulación de calor por el aumento de la conductividad térmica para disipar el calor de la combustión.
- *Efecto de recubrimiento (Coatings):* Formación de una capa aislante, la que actúa excluyendo el oxígeno e inhibiendo el escape de gases combustibles.
- *Efecto de dilución de gases:* Liberación de gases no inflamables, como vapor de agua, amoníaco y CO_2 , que diluyen a los gases combustibles.
- *Efecto químico:* Intervienen las reacciones de pirólisis, disminuyendo la temperatura de descomposición térmica y controlando la formación de gases inflamables.

Según estudios realizados con anterioridad (Cortes, V. A. B., & Ardila, M. A. P; 2018), los compuestos bóricos o más específicamente los residuos ricos en zinc (provenientes de pilas alcalinas desechadas) combinados con sales bóricas, han sido satisfactoriamente utilizados como retardantes de fuego en elementos no estructurales constituidos por celulosa. A la hora de fabricar un panel de celulosa, es importante utilizar el bórax y el ácido bórico, pues estos boratos son los

ideales para la correcta fabricación y desempeño de un retardante de llama, en donde el material celulósico es el papel y el algodón (Melgarejo, F. E. C; 2002). Los boratos son utilizados para impartir al efecto retardante una cantidad de materiales, gracias a que ellos realizan la función de reprimir el fuego por fusión y cubrir el sustrato inflamable en la película de carbono, excluyendo al oxígeno de la llama.

3. Metodología experimental

3.1 Extracción de los materiales presentes dentro de las pilas alcalinas.

En este proyecto se trabajó exclusivamente con pilas alcalinas, a las cuales se les extraía la pasta de zinc (ánodo) y el óxido de manganeso (cátodo) que se puede encontrar dentro de ellas. A este material interno de la pila se le conoce, genéricamente, como material electrodo. Para iniciar la extracción, en primer lugar, se desarmaron las carcacas que componen una pila, partiendo del ánodo o del cátodo por medio de un cortafrío y de esta manera, lograr quitar el acero que compone la carcaca, siguiendo procedimientos descritos por otros autores (Díaz, J., Orta, R., Casal, J., & Delvasto, P; 2012). En segundo lugar, se secó todo el material electrodo (i. e. pasta de zinc y óxido de manganeso) a 100 °C por 24 h, debido su elevada humedad. Finalmente, se molturaron estos materiales por 10 minutos en un mortero automático *retsch* para obtener un tamaño de partícula homogéneo, antes de preparar las mezclas con sales bóricas.

3.2 Preparación de las mezclas de materias primas y proceso de fusión.

Para la preparación de los paneles se realizaron diferentes mezclas cambiando los aditivos y sus porcentajes, en la tabla 1 se pueden apreciar las diferentes mezclas realizadas con los respectivos aditivos. Es importante destacar que para cada mezcla se empleó agua, a razón de 8 L por cada 1000 gramos de toda la mezcla.

Tabla 1.

Composición de las diferentes mezclas realizadas y de sus respectivos aditivos, expresada en porcentaje de peso seco.

Número de mezcla	Aditivos	Cantidades (%)
1	Proteína de Soya	25%
	Ácido Bórico	20%
	Material Electrónico	
	Papel reciclado	55%
2	Proteína de Soya	25%
	Bórax	20%
	Material Electrónico	
	Papel reciclado	55%
3	Proteína de Soya	25%
	Ácido Bórico	20%
	Papel reciclado	55%
4	Proteína de Soya	25%
	Bórax	20%
	Papel reciclado	55%
5	Proteína de Soya	25%
	Material Electrónico	20%
	Papel reciclado	55%

6	Proteína de Soya	35%
	Papel reciclado	65%
7	Proteína de Soya	25%
	Manganeso	20%
	Papel reciclado	55%
8	Proteína de Soya	25%
	Zinc	20%
	Papel reciclado	55%
9	Proteína de Soya	25%
	Ácido Bórico	10%
	Manganeso	10%
	Papel reciclado	55%
10	Proteína de Soya	25%
	Ácido Bórico	10%
	Zinc	10%
	Papel reciclado	55%

En el trabajo se produjeron aditivos fundidos, esto con el fin de homogenizar el material electródico de la pila alcalina con las sales bóricas, aunque no a todas las mezclas se les agregaron aditivos obtenidos mediante fundición. En la tabla 2 se mencionan las dos fundiciones realizadas, cada crisol para la fundición tenía una capacidad de 100 gramos y se realizaron 2 fundiciones para cada mezcla, variando también el tiempo de fundición en dos niveles (1 h y 3 h), para evaluar diferencias en la vitrificación y homogenización del material.

Tabla 2.

Mezclas realizadas para las fundiciones.

Mezcla para fundición	Contenido	Masa de material electrodico (gr)	Masa de ácido bórico (gr)	Masa de bórax (gr)
1	Material Electrodico (Zn y Mn) y ácido bórico	60,8	39,2	0
2	Material Electrodico (Zn y Mn) y bórax	60,5	0	39,5

Se realizaron dos mezclas; la primera con ácido bórico y la segunda con bórax, partiendo de los productos de las pilas alcalinas, con el objetivo de obtener sales bóricas con la posible característica de ser retardante de llamas. Seguidamente, se realizó la fundición para homogenizar y obtener un nuevo producto; estas mezclas fueron depositadas en crisoles de arcilla refractaria, por separado, y se llevaron al horno terrígeno modelo D8 a una temperatura de 1050°C, a dos tiempos diferentes, a saber: por una hora y por tres horas. Al finalizar la fundición, el material fundido se vació sobre una bandeja con agua, a fin de obtener una frita, como se muestra en la figura 1. Estas fritas se secaron, en estufa, a 100 °C por 12 h y, posteriormente, se molieron las mezclas, por separado, hasta obtener un polvo fino y homogéneo.

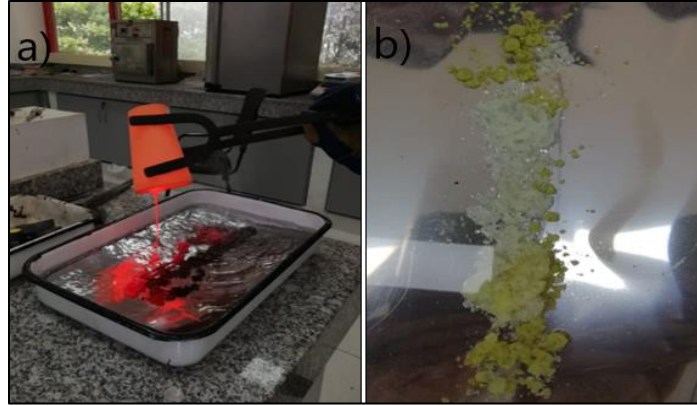


Figura 1. Fundición de las mezclas para la realización de los paneles de celulosa. a) Primera fundición 1 hora. b) Segunda fundición 3 horas.

En la figura 1.a se muestra la mezcla de ácido bórico con material electródico después de fundición donde fue depositada en una bandeja con agua para la primera fundición que tardó 1 hora y en la figura 1.b se muestra la misma mezcla un día diferente donde la fundición duró 3 horas.

3.3 Fabricación de los paneles.

A continuación, se presenta una tabla con todas las formulaciones realizadas para los paneles de celulosa fabricados; además, se denota la fundición con la mezcla 1 y con la mezcla 2 explicadas anteriormente en la tabla 2.

Tabla 3.

Ingredientes de los paneles y el número de probetas para cada prueba.

Ingredientes de paneles de celulosa.	Número de probetas o paneles para prueba de inflamabilidad.	Número de probetas o paneles para prueba de flexión.
Fundición con la mezcla 1, proteína de soya, papel reciclado y agua.	5	5
Fundición con la mezcla 2, proteína de soya, papel reciclado y agua.	5	NO
Ácido Bórico, proteína de soya, papel reciclado y agua.	5	5
Bórax, proteína de soya, papel reciclado y agua.	5	NO
Solo papel reciclado, proteína de soya y agua	5	5

Primero, se pesaron cada uno de los materiales teniendo en cuenta que según (Cortes, V. A. B., & Ardila, M. A. P; 2018) se utilizaron los porcentajes que se muestran en la tabla 1. De acuerdo con lo anterior, se mezclaba por 5 minutos el papel con el agua en la batidora de mano *Oster* de 5 velocidades, 5 minutos después el papel, con la proteína y la mezcla previamente preparada y 5 minutos más todo (papel, proteína, mezcla y agua) en la batidora, para finalizar la licuada y finalmente, eran depositados en los moldes (de flexión e inflamabilidad). Se utilizaron dos tipos de moldes, los de las pruebas de inflamabilidad (apéndice H) (ASTM 635-18 (UL-94)) y los de las pruebas mecánicas (apéndice H) (ASTM D790). Con todo el material debidamente fino, y con la ayuda de la proteína de soya la cual se obtuvo en Aldecar, que es una empresa especializada en la comercialización de materias primas, empaques y maquinaria para la industria de alimentos en general. El papel reciclado utilizado fue donado por la división de publicaciones UIS siendo papel

reciclado de impresiones y agua de grifo, se construyeron los paneles de celulosa, utilizando moldes de acero como se aprecian en apéndice I.

De igual forma, los demás aditivos empleados para la creación de los paneles, tanto el ácido bórico como el bórax fueron adquiridos en Laboratorios León S. A. (Bucaramanga).

3.4 Ensayos de inflamabilidad y de flexión.

3.4.1 Ensayo de inflamabilidad. Se les realizó el ensayo a todas las probetas o especímenes teniendo en cuenta la norma ASTM 635-18 (UL-94) realizando algunas modificaciones, para determinar las propiedades ignífugas del papel. Los materiales utilizados fueron:

- Especímenes o muestras
- Mechero
- Soporte universal de Laboratorio
- Cronómetro
- Escuadra

Según la norma (ASTM D 635-18), las muestras deben tener medidas de longitud 125mm, ancho 13mm y espesor 13mm, y después del proceso de fabricación de los paneles se obtuvieron las probetas o especímenes como se puede apreciar en la figura 2.



Figura 2. Paneles de celulosa fabricados con las diferentes mezclas para prueba de inflamabilidad.

3.4.1.1 Clasificación HB. En la figura 3 se explica a manera de diagrama el procedimiento que se siguió para el desarrollo de la prueba; del mismo modo en el anexo D se puede detallar y comprender.

En cuanto a la norma (ASTM 635-18 UL-94) la clasificación HB se debe a la realización y éxito de la prueba de inflamabilidad, donde después de retirada la llama y calculada la velocidad de combustión no se superen los 40 milímetros por minuto [mm/min] a lo largo de 75 milímetros de distancia, para muestras que tengan un espesor de 3 a 13 mm; en otras palabras, las probetas a las cuales se les realizó el ensayo no deberían de pasar los 40 mm/min, para poder clasificar como HB, al calcular la velocidad de combustión V , de acuerdo con la ecuación:

$$V = \frac{60L}{t} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Aquí V es la velocidad de combustión en mm/seg. L es la longitud dañada (mm) y t es el tiempo en segundos. Esto se explica con más detalles en el apéndice C. Finalmente, en segunda instancia la llama debe cesar antes de la marcación de referencia realizada a los 100mm.

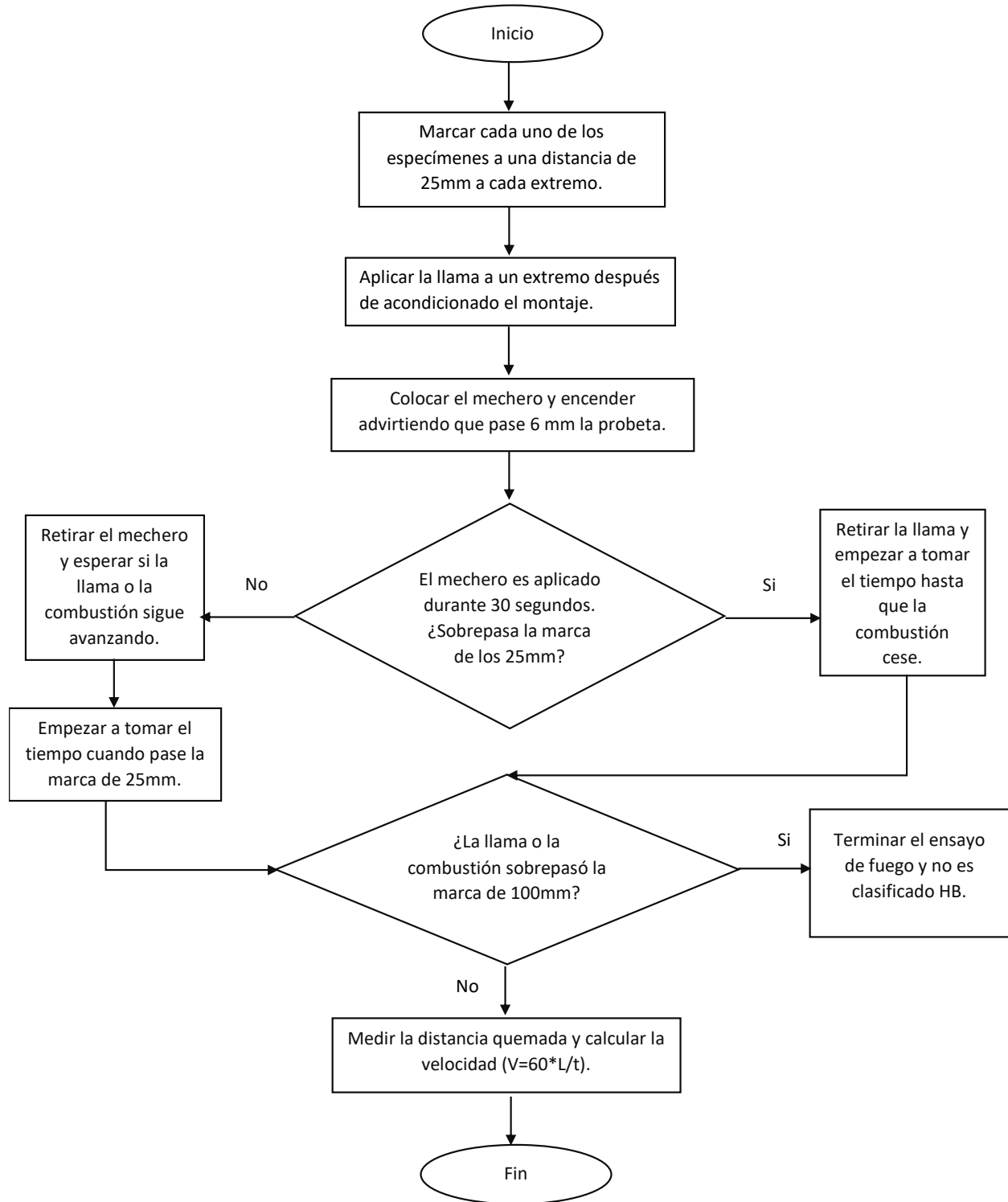


Figura 3. Procedimiento para la prueba de inflamabilidad siguiendo la norma ASTM 635.

3.4.2 Ensayo de Flexión. Para cada condición, se hicieron ensayos por quintuplicado de las mezclas de material electródico con ácido bórico, papel y ácido bórico como se evidencia en la figura 4. Se realizó el ensayo a todas las probetas teniendo en cuenta la norma (ASTM D790), para lograr determinar la resistencia a la flexión de quince probetas con tres mezclas diferentes, con dimensiones de ancho 75mm, espesor 20mm y largo 150mm; las condiciones para la prueba fueron 1N de carga y velocidad de 2mm/min.

En la figura 4 se muestra el aspecto visual de las probetas producidas para la prueba de flexión.

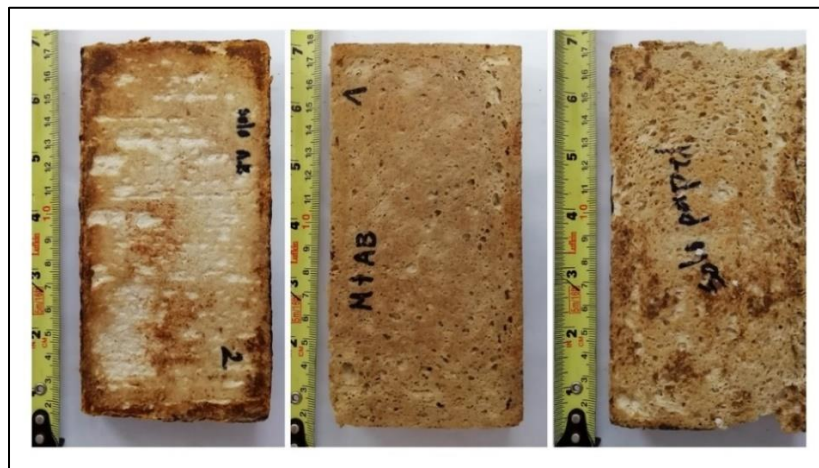


Figura 4. Paneles de celulosa fabricados con las diferentes mezclas para prueba de flexión.

A continuación, se describe el procedimiento realizado en la máquina Tindo con la norma ASTM D790.

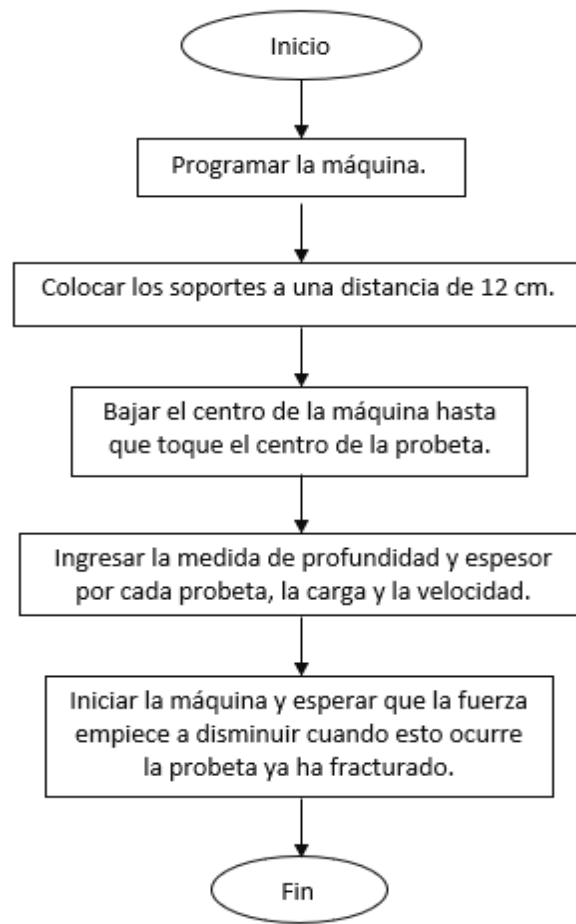


Figura 5. Procedimiento prueba de flexión siguiendo la norma ASTM D790.

La ecuación empleada para el cálculo del esfuerzo de flexión es la siguiente y en el apéndice E se muestra un cálculo tipo.

$$\sigma = \frac{3PL}{2bd^2} \text{ (Ecuación 2)}$$

Donde:

P carga en el punto dado en la curva de carga de flexión. L longitud del soporte, b ancho de la viga y d profundidad de la viga.

4. Resultados y Discusiones

4.1 Aspecto visual de los aditivos sintetizados de los paneles producidos.

En la figura 6, se muestran todos los aditivos empleados para la fabricación de las probetas, tanto para los paneles de inflamabilidad como para los de la prueba al fuego. En las imágenes encontramos además el producto de las fundiciones tanto de 1 hora como de 3 horas.

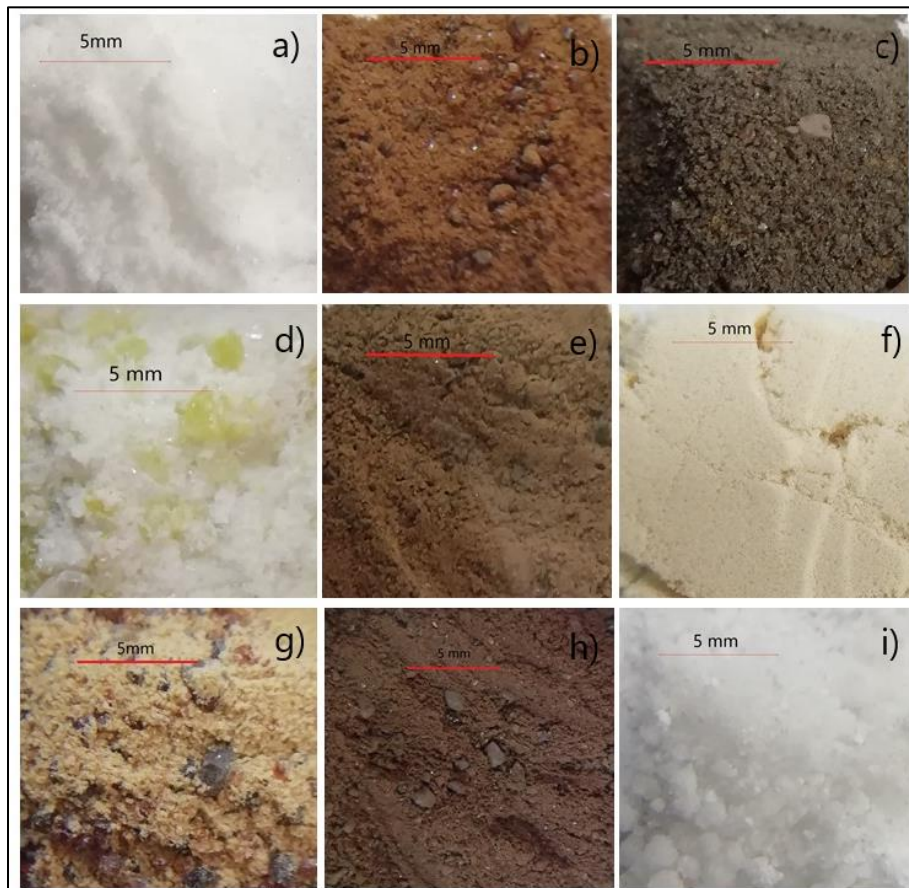


Figura 6. A) ácido bórico, b) Material electrodico y bórax 3 horas, c) Solo Mn, d) Solo Zn, e) Material electrodico y ácido bórico 1 hora, f) Proteína de soja, g) Material electrodico y ácido bórico 3 horas, h) Material electrodico y bórax 1 hora y i) Bórax.

4.2 Microscopia electrónica de barrido (SEM)

En el espectro EDS se pueden observar las partículas de la fundición de la mezcla entre ácido bórico y producto de pila (MnO₂ y Zn), en donde se encuentra gran porcentaje de Zn, Mn y O. En EDS se presenta además potasio, producto del electrolito presente en la pila alcalina, como hidróxido de potasio (KOH) (San Miguel, P.A; 2011).

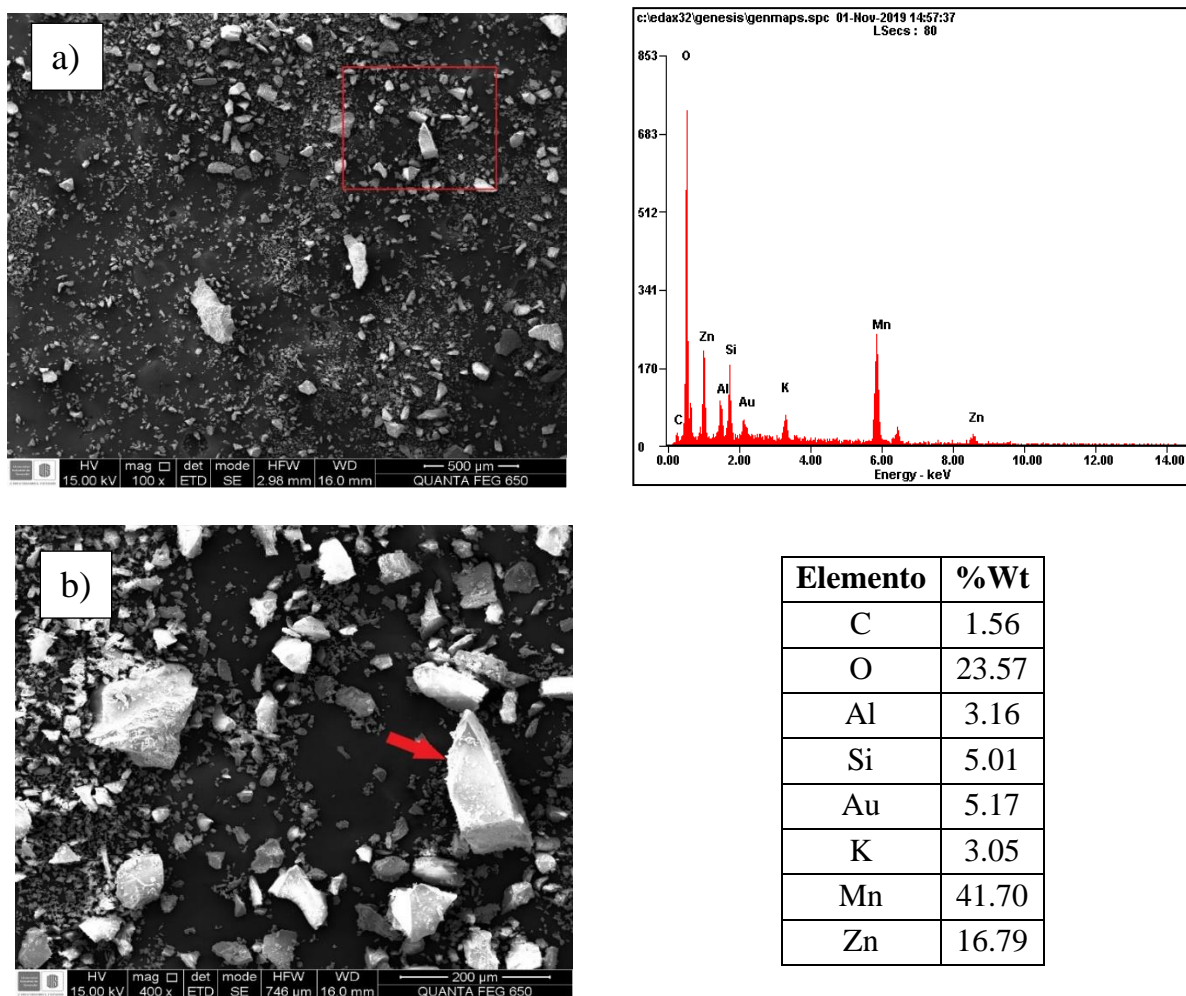
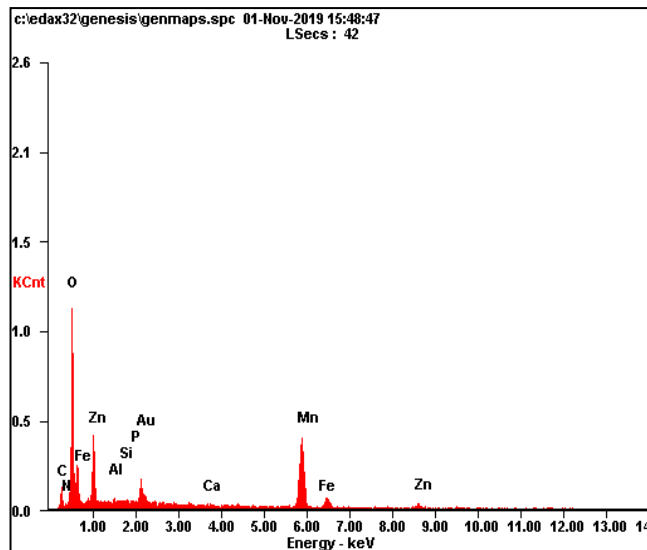
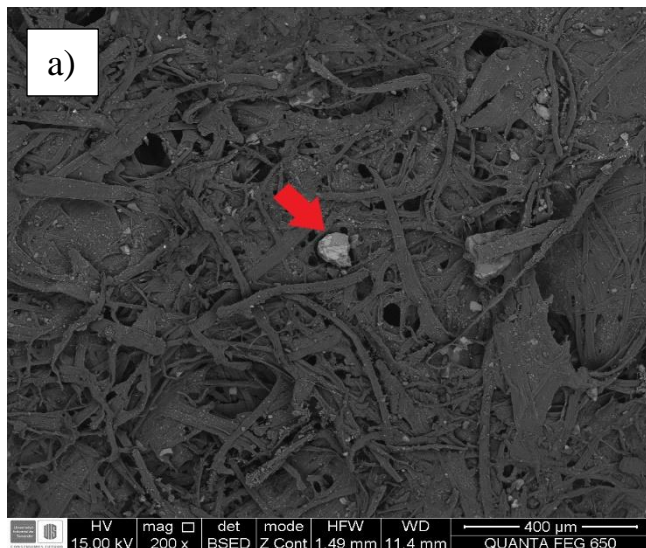


Figura 7. Análisis químico por espectrometría de dispersión de energía de Rayos-X del panel de celulosa por fuera. a) Primera fundición de ácido bórico con material electrodo a 500 um y b) Primera fundición de ácido bórico con material electrodo a 200 um.

En el espectro EDS de la figura 8 se evidencia, de manera detallada, la composición de una partícula del retardante dentro de las fibras del papel, donde se puede ver su composición elemental, encontrando en mayor proporción el Zn, Mn y el O de lo cual está compuesta el retardante adicionado al panel de celulosa.



Elemento	% Wt
C	5.23
N	0.95
O	23.50
Al	0.36
Si	0.14
P	0.32
Au	8.62
Ca	0.29
Mn	47.09
Fe	0.52
Zn	12.99

Figura 8. Análisis químico por espectrometría de dispersión de energía de Rayos-X del panel de celulosa por dentro (fibras). a) Partícula dentro de las fibras del panel a 400 um y b) partícula dentro de la fibra del panel a 100 um.

En la figura 8 a y b, se observa el panel de celulosa en la superficie con los granos de la fundición distribuidos heterogéneamente sobre el panel con la composición observada anteriormente. Esto se debe a la mezcla realizada con la licuadora, donde se homogenizan todos los ingredientes presentes y el ácido bórico entre las fibras del papel, quedando algunas de las partículas con una morfología irregular, debido a la falta de impacto con las cuchillas de la licuadora.

4.3 Difracción de Rayos X (DRX)

A continuación, en la figura 9, se presentan los difractogramas correspondientes a las fundiciones realizadas. Se analizaron solamente por difracción de rayos X las dos fundiciones, puesto que, se formaron nuevos compuestos que se querían analizar.

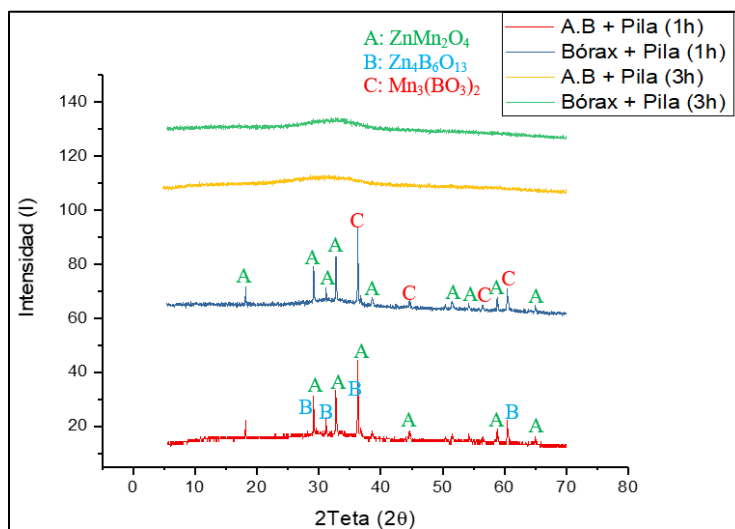


Figura 9. Difractogramas de Rayos-X para las 2 fundiciones realizadas a diferentes tiempos.

Las primeras dos fundiciones que se realizaron con las mezclas de ácido bórico + material electrodico y bórax + material electrodico se dejaron por un tiempo de 1 hora, logrando encontrar en la primera fundición compuestos de heterolita ($ZnMn_2O_4$) donde dicho compuesto se presenta en las pilas alcalinas (F.A.López, I.García-Díaz, T.Cebriano, López-Fernández, A.L.Fernández-Rodríguez, & J.M.Pérez; 2016) y ($Zn_4B_6O_{13}$) compuesto de borato producto del ácido bórico adicionado a la fundición. En cuanto a la segunda fundición se evidencia de igual forma heterolita ($ZnMn_2O_4$) y además $Mn_3(BO_3)_2$ borato de manganeso II. En las siguientes fundiciones que tuvieron una duración de 3 horas se presenta una morfología vítrea producto del aumento de tiempo dentro del horno como se puede observar en la figura 1.

De acuerdo con el difractograma rojo y azul, todo lo dicho anteriormente se debe a que el borato presente en cada una de las mezclas realizadas fue convertido en una fase vítrea después de la fundición, quedando otras partículas pequeñas de los compuestos que muestra el difractograma ($Zn_4B_6O_{13}$, $ZnMn_2O_4$ y $Mn_3(BO_3)_2$) en mayor proporción, las cuales no alcanzaron a disociarse junto con el borato, mientras que en el difractograma amarillo y verde la fundición a tres no mostró máximos de difracción, lo que implica que alcanzó un comportamiento 100% de vidrio y esto se puede evidenciar en la figura 1, a causa del aumento en el tiempo de fundición.

Es importante destacar que estas variaciones de tiempo en las fundiciones (1h y 3h) repercuten de una manera positiva en algunas probetas utilizadas para el ensayo de inflamabilidad; esto se logra apreciar solo en dos (2) paneles fabricadas de material con ácido bórico y los cinco (5) paneles fabricadas a partir de material electrodico con bórax; puesto que, estas fueron los únicos paneles elaboradas con la fundición de demoró 3 horas dentro del horno, debido a que los demás paneles ya estaban elaborados y se encontraban listas para el proceso de inflamabilidad.

4.4 Resultados ensayo de inflamabilidad.

En la tabla 4 se encuentran el promedio de las velocidades de quemado para cada mezcla realizada; en la cual, se obtuvo un resultado muy satisfactorio para la mezcla de solo ácido bórico y material electrodico con ácido bórico. En cuanto a las demás mezclas o probetas, no se logró obtener una velocidad de quemado de acuerdo con las consideraciones de la norma, es decir, las demás probetas no se clasifican HB. En el apéndice D se encuentran los resultados de cada probeta.

Tabla 4.

Resultado de la velocidad de quemado para los paneles de celulosa.

MEZCLAS TRABAJADAS	VELOCIDAD DE QUEMADO
BÓRAX	No clasifica como HB
ÁCIDO BÓRICO	NO SE QUEMÓ
MATERIAL ELECTRÓDICO Y ÁCIDO BÓRICO	6,5 mm/seg
PAPEL	6 mm/seg
MATERIAL ELECTRÓDICO	No clasifica como HB
MATERIAL ELECTRÓDICO Y BÓRAX	No clasifica como HB
MANGANESO	No clasifica como HB
ZINC	No clasifica como HB
ZINC Y ÁCIDO BÓRICO	No clasifica como HB
MANGANESO Y ÁCIDO BÓRICO	No clasifica como HB

En la figura 10 se presentan las probetas después de la prueba de inflamabilidad, la imagen a) muestra las probetas de ácido bórico y producto del material electrodico, las cuales cumplieron con la clasificación HB b) probetas de papel que también cumplieron con la clasificación HB y c) probetas de solo zinc totalmente quemadas:

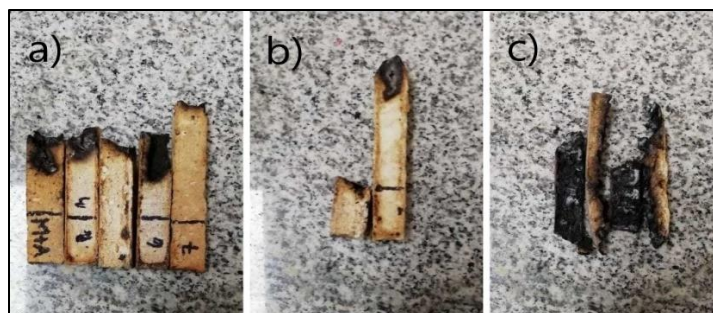


Figura 10. Resultado final prueba de inflamabilidad. A) Ácido bórico y material electródico, b) probeta de solo papel que cumplió con la clasificación, c) probetas de solo Zn totalmente quemadas

De acuerdo con lo planteado, en la figura 9 y lo presentado en el apéndice D, las dos (2) probetas elaboradas con la fundición de 3 horas en cuanto a la mezcla de ácido bórico + material electródico, presentó un mayor tiempo de quemado, en comparación con las demás probetas fabricadas con la fundición de 1 hora, obteniendo una diferencia de segundos aproximadamente de 180 segundos, sin embargo, todas las probetas de dicha mezcla (ácido bórico + material electródico) clasificaron HB respecto a la norma (ASTM D635).

Por otro lado, las cinco (5) probetas de la mezcla material electródico + bórax no clasificaron HB puesto que se quemaron completamente.

De igual forma, considerando otro material compuesto por tableros de madera, utilizado en las construcciones civiles, sus propiedades ignífugas son buenas pero presentan una menor velocidad de carbonización variando de 0,2 mm/min a 0,58 mm/min, dicho material es un tablero de madera constituido de especies forestales (*Pinus caribaea*, *Pinus cubensis*, *Cedrela odorata*, *Talipariti elatus* y *Eucalyptus sp.*), termoplásticos reciclados (polietileno de baja y alta densidad, tereftalato de polietileno y polipropileno), aditivos químicos (carbonato de calcio, ácido esteárico, estearato de calcio, estearato de zinc y agente de liga) y tetrabrik como retardante de llama. La

extracción de la resina a la madera de las especies de pino permitió que los tableros mejoraran sus propiedades ignífugas (López, Y., Paes, J., Rodríguez, Y.; 2018)

4.5 Resultados prueba de flexión.

La prueba de flexión presentó el comportamiento que se puede evidenciar en la figura 11, en donde encontramos las 3 mezclas probadas, material electródico con ácido bórico, solo ácido bórico y el panel de referencia solo papel.

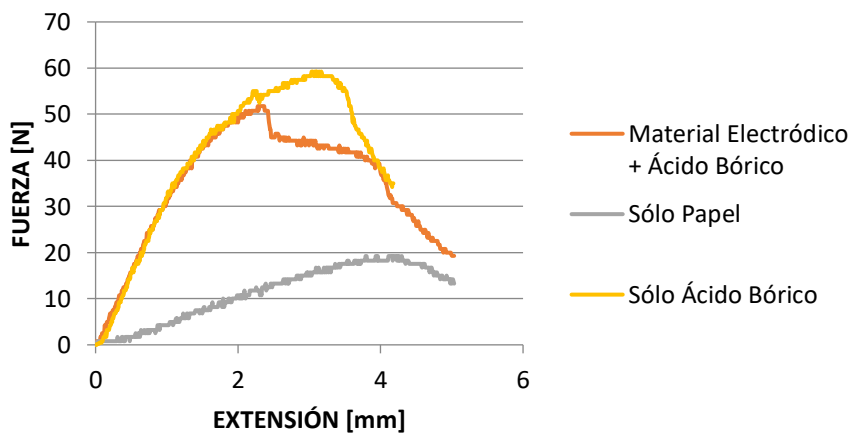


Figura 11. Esfuerzo vs Desplazamiento de flexión para tres probetas diferentes de mayor a menor fuerza a) ácido bórico, b) material electródico + ácido bórico y c) solo papel.

De acuerdo con la figura 11, se presenta el comportamiento de flexión para las tres muestras que clasificaron en la prueba HB anteriormente mostrada. Para la curva del material electródico + ácido bórico y solo ácido bórico requirió una mayor fuerza aplicada para lograr la fractura, a comparación del material a base de solo papel reciclado. En todos los casos las muestras fallaron al experimentar la carga máxima, lo anterior se atribuyó a la rotura aleatoria de las fibras de

celulosa de los paneles durante la carga, a su vez las curvas presentaron unas oscilaciones, producto de las vibraciones de los soportes y algunos defectos superficiales de los paneles celulósicos. La curva del material a base de solo papel presenta una región de apariencia lineal, el cual explica la deformación elástica de las fibras de celulosa, hasta llegar a su carga máxima. Caso contrario para las muestras de material electrodico + ácido bórico y solo ácido bórico presentaron una apariencia lineal con una mayor pendiente, pero solo con una repentina caída en la curva de desplazamiento para la muestra de material electrodico + ácido bórico, consecuencia del agrietamiento y ruptura de las fibras del panel celulósico. Después de la caída de la carga, la muestra continuó sosteniéndola, pero nunca excedió la carga máxima anterior (Azzam, A. and W. Li.; 2014).

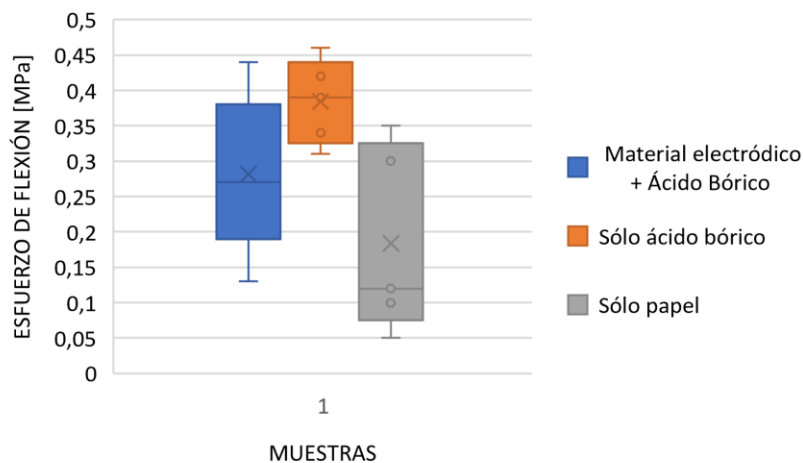


Figura 12. Diagrama de caja de bigotes de los esfuerzos de flexión.

De acuerdo con los datos obtenidos en la prueba de flexión, se realizó un análisis estadístico para determinar si los valores de esfuerzos obtenidos presentaban diferencias significativas entre ellos; según eso, probabilísticamente el valor F es comparado con el valor crítico y si F es mayor al crítico quiere decir que F es significativo. Además, la probabilidad hallada es menor a 0.05 lo cual quiere decir que rechaza la hipótesis nula de que las medias en cada una de las categorías son

iguales. Es decir, que los valores obtenidos en la prueba de flexión para las probetas de Ácido Bórico, material electrodico + Ácido Bórico y solo papel son estadísticamente diferentes y, por tanto, sus diferencias son significativas.

De igual forma, es importante comparar los resultados obtenidos de resistencia a la flexión con materiales orgánicos similares como es el caso de la harina de madera la cual presenta una resistencia a la flexión entre 18,39 y 19,64 Mpa (Donmez Cavdar, A., Mengeloğlu, F., & Karakus, K; 2015), el drywall una resistencia a la flexión de 1 Mpa (Oliver-Ramírez, A., García-Santos, A., & Neila-González, F. J; 2011), la fibra de lino entre 0,15 a 0,39 Mpa (Lazko, J., Landercy, N., Laoutid, F., Dangreau, L., Huguet, M. H., & Talon, O; 2013) y una mezcla entre papel, arena y cemento con resistencia a la flexión de 1,03 Mpa (Luis, A. R., Deysi, A. R., Mirella, G. R., Diana, N. M., & Lesly, N. Y) y los valores promedios de las resistencias a la flexión obtenidos para los paneles de celulosa elaborados son: 0,28 Mpa para pila con ácido bórico, solo ácido bórico 0,38 Mpa y nuestra referencia la cual era solo papel 0,1 Mpa; esto quiere decir, que el panel de solo ácido bórico y de la mezcla entre pila + ácido bórico presenta un comportamiento similar o se encuentra dentro del rango de la fibra de lino.

5. Conclusiones

Se formularon diez tipos de mezclas para paneles de celulosa, partiendo del papel reciclado como matriz y proteína de soya como aglomerante, pero variando sus aditivos como el material electródico, es decir a partir de una fusión completa del material mencionado y/o por separado respecto a los elementos que la conforman. La prueba de inflamabilidad bajo la norma ASTM 635-18 mostró que las mezclas de material electródico + ácido bórico y solo papel cumplieron al evidenciar velocidades de quemado de 6.5 mm/seg y 6.0mm/seg respectivamente mientras que la mezcla de solo ácido bórico no presento combustión alguna. Las demás mezclas se quemaron en su totalidad. Con base a la norma ASTM D 790, se determinó el esfuerzo de flexión para las mezclas de material electródico + ácido bórico, solo ácido bórico y papel reciclado solamente, siendo la mezcla de solo ácido bórico la de mayor esfuerzo de 0.38 MPa, seguido de la mezcla de pila + ácido bórico con 0.28 MPa y por último un valor de 0.1 MPa para la mezcla de solo papel. Todo lo anterior se concluye que independiente el tipo de aditivo que se agregue a la matriz de papel reciclado, va a presentar un mayor esfuerzo de flexión respecto a una probeta solo hecha de la matriz mencionada. De acuerdo con lo realizado, el ácido bórico es el que mejor propiedad de retardante de llama presenta para estos materiales hechos de celulosa, tanto individualmente como combinándolo con desechos provenientes del material electródico interno de las pilas alcalinas.

Referencias Bibliográficas

- ASTM D 635-18. Standard Test Method for Rate of Burning and / or Extent and Time of Burning of Plastics in a Horizontal Position. <https://doi.org/10.1520/D0635-10.2>
- ASTM D790. Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. ASTM Standards, 12. <https://doi.org/10.1520/D0790-17.2>
- Azzam, A. and W. Li. 2014. “An Experimental Investigation on the Three-Point Bending Behavior of Composite Laminate.” in IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 62 (2014) 012016 doi:10.1088/1757-899X/62/1/012016.
- Baysal, E., Altinok, M., Colak, M., Kiyoka, S., Toker, H. (2007). “Fire Resistance of Douglas Fir (*Pseudotsuga Menziesii*) Treated with Borates and Natural Extractives.” *Bioresource Technology* 98(5):1101–5.
- Castells, X.E. (2012) *Reciclaje y Tratamiento de Residuos Diversos: Reciclaje de Residuos Industriales*,. Ediciones Díaz de Santos. 2da Edición.
- Colombia Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010) *Por la cual se establecen los sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos de Pilas y/o Acumuladores y se adoptan otras disposiciones*, Bogota D.C.
- Cortes, V. A. B., & Ardila, M. A. P. (2018). *Utilización del residuo rico zinc con sales bóricas subproducto de la desactivación de baterías alcalinas gastadas como retardante de fuego en paneles de celulosa*. Tesis de pregrado, Universidad de Santander UDES. Facultad de ingeniería civil. Bucaramanga.
- Diaz Salavería, J. (2013). *Valorización hidrometalúrgica del material electrodico de las pilas alcalinas gastadas*. Tesis de pregrado, Universidad Simón Bolívar, Decanato de estudios profesionales coordinación de ingeniería de materiales.

- Díaz, J; Orta, R; Casal, J; Delvasto, P. (2012). “Deconstrucción Manual De Pilas Alcalinas Gastadas Y.” in Jornadas de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela. Encuentro Académico-Industrial (jifi-eai 2012).
- Donmez Cavdar, A., Mengelo Lu, F., & Karakus, K. (2015). Effect of boric acid and borax on mechanical, fire and thermal properties of wood flour filled high density polyethylene composites. Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, 60, 6–12. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.09.078>
- Espinoza, P. T., Arce, E. M., Daza, D., Faure, M. S., & Terraza, H. (2010). Informe de la evaluación regional del manejo de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe. IDB-MG-115 AIDIS-001/2011, p. 164.
- González, O. (2009). Los retardantes de fuego. Revista BIT-66, mayo 2009, pp 74–77,.
- IDEAM, (2016) Informe Nacional de Residuos o Desechos Peligrosos en Colombia,. Bogotá, D.C.. 128 páginas.
- Jaimes, J. J. C. (2018). Incorporación de aleaciones de aluminio de polvos anódicos de zinc recuperados de pilas alcalinas gastadas. Tesis de pregrado, Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías fisicoquímicas. Escuela de ingeniería metalúrgica y ciencia de materiales. Bucaramanga.
- Lazko, J., Landercy, N., Laoutid, F., Dangreau, L., Huguet, M. H., & Talon, O. (2013). Flame retardant treatments of insulating agro-materials from flax short fibres. *Polymer Degradation and Stability*, 98(5), 1043–1051. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2013.02.002>
- López F.A., García-Díaz I., Cebriano T., López-Fernández, Fernández-Rodríguez A.L., & Pérez J.M.. (2016). Nuevo proceso hidrometalúrgico para el tratamiento de pilas alcalinas y de Zn/C. 1–13. 13 congreso Nacional del medio ambiente (CONAMA 2016). Madrid
- López, Y., Paes, J., Rodriguez, Y (2018). “Plástica Producidos Con Diferentes Especies Forestales y Termoplásticos Reciclados Fireproof Properties of Wood Plastic Composite Produced with Different Forest Species and Recycled Thermoplastics.” Vol 24, núm 2, e2421495 Verano 2018. doi:10.21829/myb.2018.2421495.

- Lorza, S. R. (2010). Fabricación y caracterización de materiales celulares retardantes de llama libres de halógenos basados en poliolefinas. Tesis doctoral, Universidad de Valladolid. Facultad de ciencias. Departamento de física de la materia condensada, cristalografía y mineralogía.
- Reyes, L. A., Araujo, D., Guerra, R. M., Narciso, M., & Narciso, L. (n.d.). Resistencia de paneles de papel reciclado. Resistencia a la flexión de paneles elaborados con papel reciclado, cemento y yeso. 1–9. 02 tablas, 06 figuras, 2227 palabras. Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Trujillo “Benedicto XVI”
- Melgarejo, F. E. C. (2002). Diseño del proceso para la producción de borato de zinc. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de ingeniería química y manufacturera.
- Oliver-Ramírez, A., García-Santos, A., & Neila-González, F. J. (2011). Caracterización física y mecánica de placas de yeso con materiales de cambio de fase incorporados para almacenamiento de energía térmica mediante calor latente. *Materiales de Construcción*, 61(303), 465–484. <https://doi.org/10.3989/mc.2011.53309>
- Picón, J. J. C., & Charris, L. A. B. (2018). Evaluación teórica del impacto de la incorporación de baterías gastadas en un proceso pirometalúrgico convencional. Tesis de pregrado, Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías fisicoquímicas. Escuela de ingeniería metalúrgica y ciencia de materiales. Bucaramanga.
- Rodríguez, L., Giménez, A., Puyuelo, B., & Castaño, J. (2014). Evaluación de los Impactos Ambientales, Sociales y Económicos de la Implementación de la Responsabilidad Extendida del Productor en Chile aplicadas a Pilas y Acumuladores. Retrieved from <http://rechile.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/10/Impacto-pilas-2014.pdf>
- San Miguel, P.A. (2011). *Electrotecnia. Instalaciones eléctricas y automáticas. Electricidad-Electrónica*. p 94.
- Sierra, N. B. (2010). *Plásticos y Fuego. Informe de Novedades Tecnológicas. Guía: Plásticos y Fuego Informe de Novedades Tecnológicas*, p. 66. Valencia, España.
- SUPERSERVICIOS. (diciembre 2017) Informe Nacional de aprovechamiento. Informe Nacional 2016. 72 páginas. Edición No. 1 Bogotá D.C.

Villamizar, F. J. P., & Rodriguez, Y. N. C. (2018). Producción de cerámicas tradicionales basadas en arcillas, que incorporan sustancias vítreas recuperadas de la basura electrónica Tesis de pregrado, Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías fisicoquímicas. Escuela de ingeniería metalúrgica y ciencia de materiales. Bucaramanga.

Vincent, C., & Scrosati, B. (1997). Modern Batteries - An Introduction to Electrochemical Power Sources (Second ed.). Oxford: Butterworth-Heinemann.

Apéndices

Apéndice A. Porcentaje de electrodo de Zn y de Mn en las pilas alcalinas.

En esta tesis (Díaz Salavería, J; 2013) se obtiene el dato del % de electrodo de Zn y el electrodo de Mn que se tienen típicamente en las pilas alcalinas. Este valor se usa para hacer nuestros cálculos de fusiones para generar los retardantes de llama.

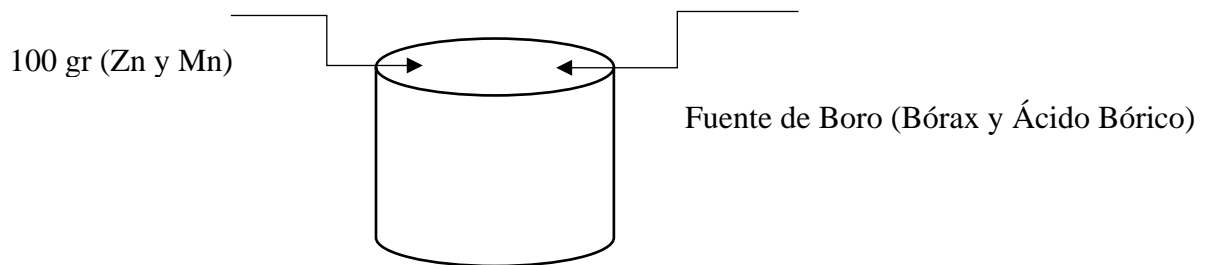
Tabla A1.

Masa y porcentaje de cada electrodo.

ELECTRODO	MASA EN CADA PILA (gr)	PORCENTAJES (%)
Zn	72,4	51
Mn	27,6	69

Apéndice B. Cálculos de las respectivas fundiciones.

Cálculos realizados para las respectivas fundiciones, con el fin de calcular el peso de borato y el peso de ácido bórico:



Partimos de una muestra de 100 gramos y teniendo en cuenta los valores de la tabla A.1.

$$\% \text{ mezcla Mn} = 72,4 \text{ gramos} = 51\% \text{ Mn}$$

$$\% \text{ Mezcla Zn} = 27,6 \text{ gramos} = 69\% \text{ Zn}$$

Con los valores anteriores, se determina la cantidad másica del Zn y Mn, multiplicándolos por los porcentajes de cada uno encontrados en una pila alcalina con la cantidad de la mezcla de cada una.

$$M_{Zn} = 19 \text{ g}$$

$$M_{Mn} = 36,9 \text{ g}$$

Para tener en cuenta el porcentaje de Zn y Mn en la sal de Borato de Zn ($Zn_3(BO_3)_2$) teniendo en cuenta su peso atómico equivale a

$$\%Zn = 62,5\%$$

$$\%Mn = 6,8 \%$$

El mismo caso anterior para la sal de Borato de Mn ($Mn_3(BO_3)_2$) equivale a

$$\%Zn = 58,34\%$$

$$\%Mn = 7,6\%$$

Con la cantidad másica encontrada para Zn y Mn en las mezclas de 100 gr, se determina la cantidad de los elementos mencionados en las sales utilizadas. Y al mismo tiempo la cantidad de Boro en las sales con sus respectivos porcentajes en ácido bórico y bórax.

$$M_{borato Zn} = \frac{19 g}{0,625} = 30,4 g$$

$$M_{borato Mn} = \frac{36,9 g}{0,5834} = 63,24 g$$

$$M_{boro necesaria para Borato Zn} = \frac{6,8}{100} * 30,4g = 2,06 g$$

$$M_{boro necesaria para Borato Mn} = \frac{7,6}{100} * 63,24g = 4,8g$$

$$\% B Bórax = 11,34\%$$

$$\% B \text{ Ácido Bórico} = 17,50\%$$

Finalmente se determina la cantidad de ácido bórico y bórax que se utilizan para su proceso de fusión tomando las masas de boro necesarias para el borato de Zn y Mn, y los porcentajes de bórax y ácido bórico.

$$M_{Bórax} = \frac{2,06}{100} + \frac{4,8}{100} = 60,5 g$$

$$M_{\text{Ácido Bórico}} = \frac{2,06}{100} + \frac{4,8}{100} = 39,2 g$$

Apéndice C. Procedimiento para la prueba de inflamabilidad.

Se marcó en cada extremo de la probeta una distancia de 25 mm en el eje longitudinal horizontal. Cada probeta fue sujeta en el extremo con una pinza colocada sobre el soporte universal. Se ubicó el mechero con una inclinación de 45° en el extremo como se muestra en la figura. Se prendió el quemador y se ajustó para que produjera una llama azul de 20 mm de alto como se muestra en la figura, la llama colocada sobre el extremo de la probeta tenía una profundidad de 6 mm. Se mantuvo la llama durante 30 segundos sin cambiar la posición, luego se retiró el mechero y tan pronto cuando la llama o la combustión pasó la primera línea marcada de 25 mm se inició el cronómetro. Si la combustión se apagó antes de llegar a la segunda línea o a la línea de 25 mm marcada en el otro extremo de la probeta se para el tiempo y se mide la longitud quemada o dañada para calcular por medio de la ecuación 1 la velocidad de quemado o de combustión.

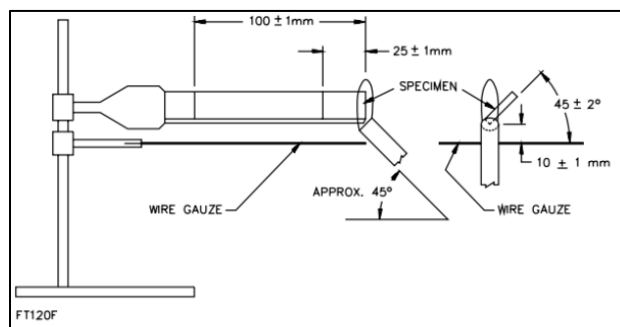


Figura C1. Montaje prueba de inflamabilidad. De acuerdo con la norma ASTM 635.

Calculo tipo de la velocidad lineal para la probeta de material electrodico y ácido bórico:

$$V = \frac{60L}{t}$$

$$V = \frac{60 * 65}{780} = 5 \frac{mm}{seg}$$

Apéndice D. Cálculos de la prueba de inflamabilidad.

Cálculos obtenidos durante la prueba de inflamabilidad para calcular la velocidad de quemado para cada probeta

Tabla D1.

Datos obtenidos durante y después de la prueba de inflamabilidad.

PROBETA SOLO BORÁX					
MUESTR	PASA	PASA	LONGITUD	TIEMPO	VELOCIDA
A	MARCA 25	MARCA	QUEMADA	(SEGUNDOS	D DE
	MM	100MM	(mm))	QUEMADO
1	X	X	NO	780	-
2	X	X	NO	780	-
3	X	X	NO	840	-
4	X	X	NO	660	-
5	X	X	NO	780	-
PROBETA SOLO ÁCIDO BÓRICO					
MUESTR	PASA	PASA	LONGITUD	TIEMPO	VELOCIDA
A	MARCA 25	MARCA	QUEMADA	(SEGUNDOS	D DE
	MM	100MM	(mm))	QUEMADO
1	NO	NO	NO	NO	NO
2	NO	NO	NO	NO	NO
3	NO	NO	NO	NO	NO
4	NO	NO	NO	NO	NO
5	NO	NO	NO	NO	NO

PROBETA MATERIAL ELECTRÓDICO Y ÁCIDO BÓRICO

MUESTR A	PASA MARCA 25 MM	PASA MARCA 100MM	LONGITUD QUEMADA (mm)	TIEMPO (SEGUNDOS)	VELOCIDA D DE QUEMADO
1	X	NO	65	780	5 mm/seg
2	X	NO	85	840	6,07 mm/seg
3	X	NO	80	720	6,67 mm/seg
4	X	NO	80	600	8 mm/seg
5	X	NO	40	360	6,6 mm/seg

PROBETA SOLO PAPEL

MUESTR A	PASA MARCA 25 MM	PASA MARCA 100MM	LONGITUD QUEMADA (mm)	TIEMPO (SEGUNDOS)	VELOCIDA D DE QUEMADO
1	NO	NO	NO	NO	-
2	X	X	NO	1016	-
3	X	NO	35	379	5,54 mm/seg
4	X	NO	60	555	6,48 mm/seg
5	X	X	NO	1332	-

PROBETA SOLO MATERIAL ELECTRÓDICO

MUESTR A	PASA MARCA 25 MM	PASA MARCA 100MM	LONGITUD QUEMADA (mm)	TIEMPO (SEGUNDOS)	VELOCIDA D DE QUEMADO
1	X	X	NO	660	-
2	X	X	NO	586	-
3	X	X	NO	660	-
4	X	X	NO	540	-
5	X	X	NO	480	-

PROBETA MATERIAL ELECTRÓDICO Y BÓRAX

MUESTR A	PASA MARCA 25 MM	PASA MARCA 100MM	LONGITUD QUEMADA (mm)	TIEMPO (SEGUNDOS)	VELOCIDA D DE QUEMADO
1	X	X	NO	1046	-
2	X	X	NO	760	-
3	X	X	NO	684	-
4	X	X	NO	674	-
5	X	X	NO	693	-

PROBETA SOLO ÓXIDO DE MANGANESO

MUESTR A	PASA MARCA 25 MM	PASA MARCA 100MM	LONGITUD QUEMADA (mm)	TIEMPO (SEGUNDOS)	VELOCIDA D DE QUEMADO
1	X	X	NO	586	-
2	X	X	NO	578	-
3	X	X	NO	590	-
4	X	X	NO	582	-
5	X	X	NO	579	-

PROBETA SOLO ZINC

MUESTR A	PASA MARCA 25 MM	PASA MARCA 100MM	LONGITUD QUEMADA (mm)	TIEMPO (SEGUNDOS)	VELOCIDA D DE QUEMADO
1	X	X	NO	498	-
2	X	X	NO	565	-
3	X	X	NO	580	-
4	X	X	NO	594	-
5	X	X	NO	611	-

PROBETA ZINC Y ÁCIDO BÓRICO

MUESTR A	PASA MARCA 25 MM	PASA MARCA 100MM	LONGITUD QUEMADA (mm)	TIEMPO (SEGUNDOS)	VELOCIDA D DE QUEMADO
1	X	X	NO	750	-
2	X	X	NO	706	-
3	X	X	NO	678	-
4	X	X	NO	776	-
5	X	X	NO	685	-

PROBETA MANGANESO Y ÁCIDO BÓRICO

MUESTR A	PASA MARCA 25 MM	PASA MARCA 100MM	LONGITUD QUEMADA (mm)	TIEMPO (SEGUNDOS)	VELOCIDA D DE QUEMADO
1	X	X	NO	591	-
2	X	X	NO	818	-
3	X	X	NO	733	-
4	X	X	NO	670	-
5	X	X	NO	638	-

Apéndice E. Cálculo tipo para esfuerzo de flexión.

$$\sigma = \frac{3PL}{2bd^2}$$

El cálculo tipo de una de las probetas de material electródico con ácido bórico

$$\sigma = \frac{3(51)(120)}{2(76,02)(16,66)^2} = 0,44 \text{ MPa}$$

Apéndice F. Resultados prueba de flexión.

Tabla F1.

Datos obtenidos antes y después de la prueba de flexión.

Muestra Material Electródico + Ácido Bórico	Longitud [mm]	Ancho b [mm]	Área Lxb [mm²]	Esfuerzo Flexión α [Mpa]	
1	153	76,85	11758,05	0,44	
2	150,78	75,57	11394,44	0,25	
3	150	76,9	11535	0,27	
4	152	75,68	11503,36	0,13	
5	151,73	76,86	11661,96	0,32	0,282
Muestra sólo ácido bórico	Longitud [mm]	Ancho b [mm]	Área Lxb [mm²]	Esfuerzo Flexión α [Mpa]	
1	151	77,13	11646,63	0,34	
2	152,12	77,32	11.761.918	0,46	
3	148,08	75,67	11205,21	0,31	
4	150,8	76,02	11463,81	0,42	
5	152,3	77,40	11788,02	0,39	0,384
Muestra sólo papel	Longitud [mm]	Ancho b [mm]	Área Lxb [mm²]	Esfuerzo Flexión α [Mpa]	
1	150,8	77,60	11702,08	0,3	
2	150	77,74	11661	0,35	
3	148	71,62	10599,76	0,1	
4	148,6	73,77	10962,22	0,12	
5	149	75,13	11194,37	0,05	0,184

Apéndice G. Análisis de varianza

Tabla G1.

Resumen del análisis de varianza.

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio Esfuerzo [Mpa]</i>	<i>Varianza</i>
Pila + Ácido Bórico	5	1,41	0,282	0,013
Ácido Bórico	5	1,92	0,384	0,004
Solo Papel	5	0,92	0,184	0,018

Tabla G2.

Análisis de Varianza.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,100	2	0,050	4,4	0,036	3,885
Dentro de los grupos	0,135	12	0,011	35		
Total	0,235	14				

Apéndice H. Montaje prueba de flexión.



Figura A2. Montaje de prueba de flexión. Tomada en el laboratorio del GIMAT de la Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Metalúrgica.

Apéndice I. Moldes para ensayo de inflamabilidad.

Primero se muestran los moldes realizados en SolidWorks y luego los moldes ya fabricadas.

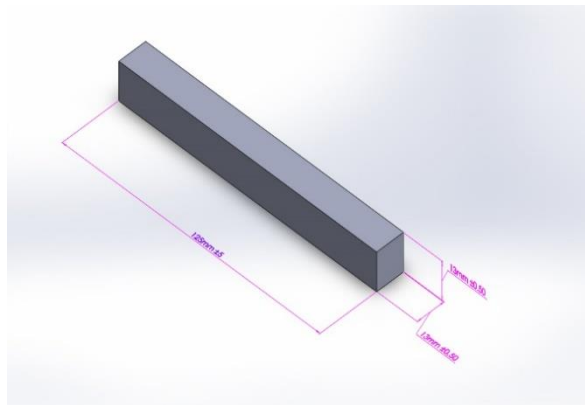


Figura A3. Molde hecho en Solidworks de la probeta para prueba de inflamabilidad.

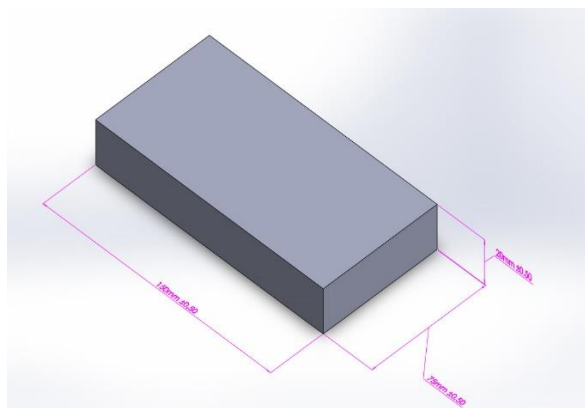


Figura A4. Molde hecho en Solidworks de la probeta para prueba de flexión.



Figura A5. Molde hecho en acero para la fabricación de los paneles.