

# Tratamiento de drenajes ácidos de mina mediante filtros elaborados con polvo de acería.

## Treatment of acid mine drainage using filters made from steel dust.

Walter Pardavé-Livia<sup>1</sup>, Pedro Delvasto-Angarita<sup>2</sup>, Brayan Steven Serrano-Uribe<sup>3</sup>, Jhon Freddy Palacios<sup>4</sup>

<sup>1,3</sup>Universidad de Santander, Bucaramanga - Colombia, <sup>2,4</sup>Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga - Colombia  
ORCID: <sup>1</sup>[0000-0002-7819-0284](https://orcid.org/0000-0002-7819-0284), <sup>2</sup>[0000-0001-5602-7921](https://orcid.org/0000-0001-5602-7921), <sup>3</sup>[0000-0003-2837-3194](https://orcid.org/0000-0003-2837-3194), <sup>4</sup>[0000-0002-9434-6373](https://orcid.org/0000-0002-9434-6373)

Recibido: 15 de septiembre de 2022.

Aceptado: 13 de diciembre de 2022.

Publicado: 01 de enero de 2023.

**Resumen-** El tratamiento de drenajes ácidos de mina-DAM es necesario para mitigar los impactos ambientales generados en las industrias mineras, debido a que, un inadecuado e ineficiente sistema de tratamiento puede potencializar un riesgo tanto para la salud humana como para el medio ambiente. Con la finalidad de impulsar un método innovador y económico para el tratamiento de los DAM direccionado a la neutralización de su pH, se construyeron siete filtros utilizando polvo de acería y otros materiales, siguiendo la metodología de Design Thinking. Los resultados de la investigación mostraron una neutralización del pH de una solución ácida de HCl filtrada durante veinte días en los prototipos construidos. El resultado principal del estudio demostró que los filtros construidos con polvo de acería pueden neutralizar el pH de los drenajes ácidos de mina, consecuencia de la presencia de material calcáreo.

**Palabras clave:** polvo de acería; drenajes ácidos de mina; neutralización; filtros; tratamiento de DAM.

**Abstract—** The treatment of acid mine drainage-AMD is necessary to mitigate the environmental impacts generated in the mining industries, because an inadequate and inefficient treatment system can potentiate a risk to both human health and the environment. In order to promote an innovative and economic method for the treatment of AMD aimed at neutralizing its pH, seven filters were built with steel-making dust and other materials, following the Design Thinking methodology. The results of the investigation showed a neutralization of the pH of a filtered HCl acid solution for twenty days in the built prototypes. The main result of the study showed that the filters built with steel-making dust can neutralize the pH of ADM, a consequence of the presence of calcareous material.

**Keywords:** steel-making dust; mine acid drainage; neutralization; filters; ADM treatment.

\*Autor para correspondencia.

Correo electrónico: [wal.pardave@mail.udesa.edu.co](mailto:wal.pardave@mail.udesa.edu.co) (Walter Pardavé Livia).

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad de Santander.

Este es un artículo bajo la licencia CC BY (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Como citar este artículo: W. Pardavé-Livia, P. Delvasto-Angarita, B. S. Serrano-Uribe y J. F. Palacios, "Tratamiento de drenajes ácidos de mina mediante filtros elaborados con polvo de acería", *Aibi revista de investigación, administración e ingeniería*, vol. 11, no. 1, pp. 48-57 2023, doi: [10.15649/2346030X.3053](https://doi.org/10.15649/2346030X.3053)

## I. INTRODUCCIÓN

La inadecuada gestión de residuos sólidos, como relaves mineros y polvos de acería, provenientes de industrias mineras y siderúrgicas afectan significativamente el medio ambiente y son potenciales generadores de los drenajes ácidos de mina y drenajes alcalinos [1] a tal punto que estos sectores económicos son catalogados como los mayores contaminantes del recurso hídrico por medio de metales pesados [2]. Sin embargo, estas industrias permiten la obtención de materias primas para la fabricación de nuevos productos, así como un crecimiento económico para sus ejecutores. Es por ello que se hace conveniente lograr un verdadero desarrollo sostenible mediante la creación de nuevas tecnologías y proyectos que permitan satisfacer las necesidades del ser humano, manteniendo el equilibrio entre el componente social, económico y ambiental [3].

Debido a lo anterior, surge la pregunta de investigación: ¿Cómo se pueden tratar los drenajes ácidos de mina generados en las minas auro-argentíferas del municipio de California en el Departamento de Santander? La respuesta se obtiene a través del desarrollo del objetivo general de este trabajo: Tratar los drenajes ácidos de mina mediante un filtro que contenga polvo de acería como medio filtrante para poder mitigar los impactos generados al medio ambiente.

## II. MARCO TEÓRICO

### a. Drenaje ácido de mina

Los DAM son aguas generadas mediante la oxidación del relave minero que contiene minerales sulfurosos [4]. Este fluido se caracteriza por la acidez de su pH y presencia de metales como aluminio, hierro, plomo, mercurio, entre otros [5]. Entre los principales efectos que generan los DAM al entrar en contacto con el medio ambiente se pueden mencionar: la reducción de nutrientes en el suelo, muerte de fauna y flora, baja calidad del agua superficial y subterránea, aumento en los niveles de metales pesados, sulfuros y sulfatos en el suelo y agua [6].

En la actualidad existen diferentes métodos de tratamiento de los DAM, estos se clasifican en dos grupos: tratamientos activos y pasivos, el primero consta de un proceso químico en donde se añaden sustancias de pH alcalino, requiere herramientas y equipos mecánicos y manipulación constante durante el tratamiento, generalmente este método es desarrollado durante la ejecución de operaciones en la mina y su costo es elevado. El segundo grupo combina diferentes procesos naturales como: drenajes anóxicos con calcáreos, productores continuos de alcalinidad, canales de caliza, reactores biológicos pasivos, humedales artificiales aeróbicos y anaeróbicos, entre otros. Sus costos son accesibles, y no requiere la adición de sustancias químicas ni manipulación constante durante el tratamiento [7].

### b. Relave minero

El relave minero es generado a partir de los procesos de recuperación y transformación de minerales; hace parte de los pasivos ambientales que se encuentran en el sector de la minería y se define como un desecho compuesto por lodo y material fino de metales y minerales [8]. Al disponerse inadecuadamente desencadena una serie de impactos negativos sobre los cuerpos hídricos, suelo y el medio, pues dependiendo de sus componentes fisicoquímicos es un posible generador de los DAM [9].

### c. Polvo de acería

En la industria siderúrgica en los procesos de fusión y afino de acero se genera un residuo denominado polvo de acería [10], este se caracteriza por el tamaño fino de sus partículas y a diferencia de los drenajes ácidos de mina generados por los relaves mineros, el polvo de acería tiende a generar drenajes alcalinos los cuales también representan un riesgo para el medio ambiente [11].

La composición fisicoquímica de los polvos de acería varía dependiendo de las materias primas utilizadas en los procesos propios de cada planta siderúrgica, sin embargo, estos suelen componerse por óxidos de hierro, óxidos metálicos y metales pesados como cadmio, zinc y plomo, clasificados como elementos contaminantes y peligrosos [12].

La Environmental Protection Agency EPA clasifica a los polvos de acería como un residuo peligroso de clase I debido a que el tamaño de sus partículas es menor a cuarenta micras y contiene metales como plomo, zinc y hierro [13]. Cuando los metales pesados presentes en los DAM y polvos de acería entran en contacto con el agua y el suelo sin control alguno, se produce una problemática ambiental por su permanencia en el medio, afectado durante décadas y resultando su eliminación compleja y de alta dificultad [14].

## III. METODOLOGÍA

En la ejecución de esta investigación se implementó la metodología de Design Thinking basándose en 4 etapas principales: definir, idear, prototipar y probar. De este modo, en su desarrollo da lugar a la recopilación de información sobre el interrogante a responder y su entendimiento desde la creatividad, permitiéndole al investigador tener un acercamiento a los materiales y procesos de producción [15].

La recolección de la información se realizó mediante las bases de datos de SCOPUS, ScienceDirect, SciELO y Google académico, entre los estándares de selección se tuvo en cuenta la confiabilidad de la información, el idioma en español o inglés, el tipo de investigación realizada y la actualidad de publicación.

### 1. Definir

Es la etapa en donde se comprende una problemática estableciendo las necesidades y el ambiente de los entes implicados en el interrogante y su respuesta.

## 2. Idear

En este punto se da lugar a la lluvia de ideas, se establecen posibles soluciones y se opta por una de ellas para poder continuar con las siguientes fases.

## 3. Prototipar

Aquí se materializa la idea, lo plasmado en el pensamiento se vuelve realidad mediante el acercamiento a los materiales y construcción de prototipos variando sus diseños. Se aprende mientras se construye.

## 4. Probar

Se establecen los parámetros a evaluar para poder desarrollar pruebas de funcionalidad y así cuantificar los resultados de la idea que se quiere implementar.

En la Figura 1 se describe paso a paso la metodología de Design Thinking implementada en esta investigación.

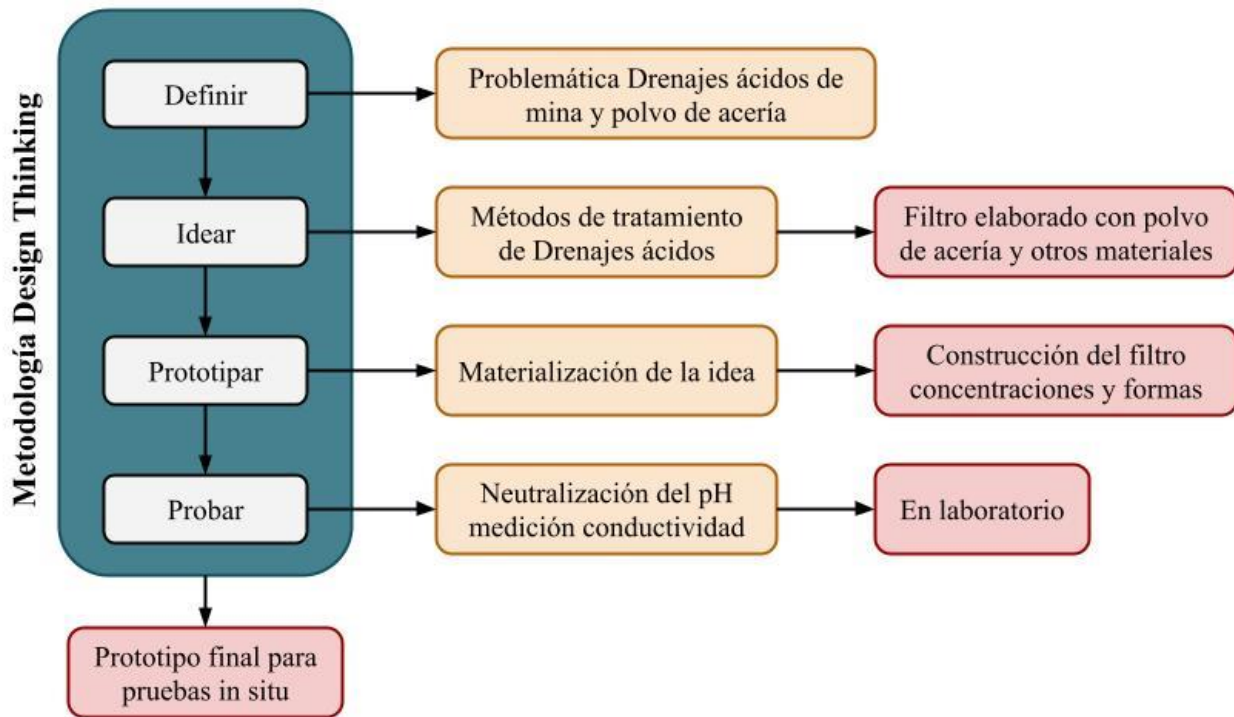


Figura 1: Metodología de trabajo implementada  
Fuente: Elaboración propia.

Se realizó una caracterización del polvo de acería, con miras a conocer su composición química mediante la técnica de Difracción de Rayos X (DRX) fluorescencia de Rayos X con el equipo Thermo ARL Optim X WDXR, e identificar las fases cristalinas presentes utilizando Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), para determinar tipos de enlaces. También se determinó mediante la aplicación del test ABA (Acid-Base Accounting) [16] el potencial de neutralización, el cual consiste en establecer el potencial de generación de ácido (PA) y el potencial de neutralización (PN) del polvo de acería para finalmente, en función de ambos, PA y PN, determinar el potencial neto de neutralización (PNN). En este método se realizó una prueba de eferescencia preliminar para determinar la concentración y el volumen de ácido clorhídrico (HCl) que se agregará a una muestra de 2 g para la digestión de carbonatos (y otros minerales neutralizantes), para la posterior determinación de PN y PA, y mediante la diferencia, se calculó el valor de PNN. De igual forma este test permite categorizar los materiales en tres grupos:

Tabla 1: Clasificación del potencial de generación de ácido de acuerdo al tipo de material.

Potencial de generación de ácido	Criterio de Interpretación
Bajo o nulo	$PNN > 20$ y $PN/PA > 3$
Marginal	$PNN < 20$ y $1 < PN/PA < 3$
Alto	$PNN < 0$ y $PN/PA < 1$

Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo la metodología Design Thinking, se escogieron diferentes 3 tipos de mezclas (M1, M2 y M3) arena ( $SiO_2$ ) y polvo de acería [18] con la siguiente composición, M1: 50% arena y 50% polvo de acería, M2: 75% arena y 25% polvo de acería. M3: 25% arena y 75% polvo de acería, que se introdujeron en siete columnas, con otros materiales tales como, algodón, grava, carbón activado y arena, los cuales son utilizados en filtros para el tratamiento de aguas. Luego se evaluó y comparó su desempeño con respecto al cambio en el pH y la conductividad, Es importante mencionar que como fluido para las pruebas se preparó una solución de ácido clorhídrico HCl con un pH inicial de 2,9 y

conductividad de 1164 $\mu$ S/cm, posteriormente, en la medición del pH se usó un pH metro marca HANNA y para la conductividad se utilizó un Medidor multiparámetro HI98199 marca HANNA.

Para ello se instaló un montaje en el laboratorio tal y como se muestra en la Figura 2; el cual consta de tres etapas, la primera en donde se almacena la sustancia ácida, la segunda en donde se ejerce un control del flujo y la tercera en donde sucede el proceso del filtrado, allí cae gota a gota el fluido sobre una capa de grava gruesa para evitar los caminos preferenciales al momento de la filtración.



Figura 2: Montaje para realización de pruebas.  
Fuente: Elaboración propia.

#### IV. RESULTADOS

Al polvo de acería empleado como medio filtrante en la fabricación de los filtros se le realizó DRX, y FRX, en la Figura 2 y Tabla 1 se muestra el difractograma, con sus respectivas especies químicas. En la Tabla 2 se relacionan los porcentajes de los óxidos presentes en el polvo de acería.

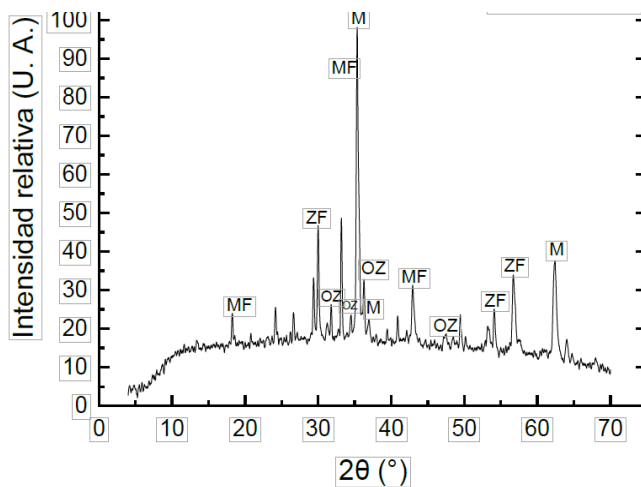


Tabla 2: Fases del polvo de acería identificadas por DRX.

Fase	Nombre	Fórmula química
MF	Magnesio-ferrita	$Fe_2MgO_4$
ZF	Óxidos de cinc y hierro	$Zn_{0.945}Fe_{1.78}O_{3.71}$
M	Magnetita	$Fe_{2.758}O_4Ti_{0.242}$
OZ	Óxidos de cinc	$ZnO$

Figura 3: Difractograma (DRX) del polvo de acería.  
Fuente: Elaboración propia.

Se observa presencia de óxidos de hierro, magnesio, y cinc que a continuación se podrán cuantificar con el análisis de FRX, en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados composición química del polvo de acería (FRX).

Óxido	% p/p	Óxido	% p/p
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	51.47	CuO	0.155
ZnO	11.87	Cl	0.153
CaO	10.95	BaO	0.0886
SiO <sub>2</sub>	9.28	NiO	0.0412
MgO	4.92	SrO	0.0356
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.08	SnO <sub>2</sub>	0.0319
MnO	2.78	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.0296
SO <sub>3</sub>	1.88	ZrO <sub>2</sub>	0.0108
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.601	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.0096
Na <sub>2</sub> O	0.561	MoO <sub>3</sub>	0.0093
TiO <sub>2</sub>	0.292	WO <sub>3</sub>	0.0081
K <sub>2</sub> O	0.282	Cs <sub>2</sub> O	0.0079
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.254	Br	0.0015
PbO	0.202		

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que los polvos de acerías cerca del 83% de su composición se encuentra formado por óxidos de hierro (51,47%), cinc (11,87%), calcio (10,95%) y silicio (9,28%).

A continuación, se presenta en la Figura 4 el infrarrojo del polvo de acería, donde se destaca la presencia de los siguientes enlaces con su respectiva frecuencia, Si-O (1100 cm<sup>-1</sup>) y carbonatos (1450 cm<sup>-1</sup>).

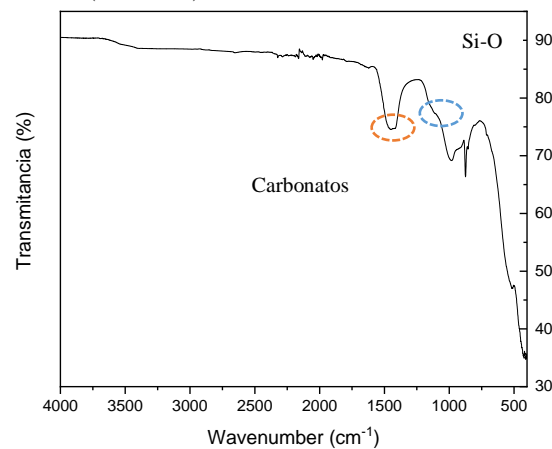


Figura 4: Infrarrojo (FTIR) del polvo de acería.

Fuente: Elaboración propia.

También se realizó una evaluación a nivel experimental, utilizando el test ABA. Para este material la tasa de efervescencia se clasificó como fuerte, luego se determinó el PN (kg CaCO<sub>3</sub>/ton muestra) igual a 264,2, a su vez teniendo en cuenta el % de S<sub>03</sub> de 1,88 (Ver tabla 2), y teniendo en cuenta la fórmula del compuesto, es posible determinar mediante la relación de masas moleculares que su contenido es 40,5% de S, que al multiplicarlo por el porcentaje presente en el polvo de acería nos da como resultado un 0,76% S.

Estequiométricamente, un material que contenga 1% en peso de S requerirá 31,25 kg de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) para neutralizar el ácido producido por una tonelada de material [16], [17]. El potencial de acidez-PA se calcula mediante la Ecuación 1:

$$PA = Wt \% S \text{ total} \times 31.25 \text{ kg CaCO}_3 \text{ tonelada material (Ec.1)}$$

Al reemplazar el % de S, se obtiene un valor de PA de 23,75 kg CaCO<sub>3</sub>/ton muestra, y teniendo en cuenta que el PNN = PN-PA se obtiene un valor de 240,45 kg CaCO<sub>3</sub>/ton muestra, y su relación PN/PA = 10,12. Al introducir los valores obtenidos, en la Tabla 1, y extraer los criterios asociados con el resultado se forma la Tabla 4, que compara estos y clasifica el polvo de acería como un material con bajo potencial de generación de ácido, lo cual permite inferir que su aporte dentro del filtro será hacia la contribución en el aumento de potencial de hidrógeno.

Tabla 4: Clasificación del polvo de acería según su potencial de generación de ácido.

Criterio de Interpretación	Valores obtenidos		Clasificación de acuerdo Potencial de generación de ácido
	PNN (kg CaCO <sub>3</sub> /ton muestra)	PN/PA	
PNN > 20 y PN/PA > 3	240,45	10,12	Bajo o nulo

Fuente: Elaboración propia.

Al conocer que el polvo de acería no es un material generador de ácido, y que es posible utilizarlo en el tratamiento de drenajes ácidos, se procedió a elaborar siete filtros. Estos filtros están compuestos con diferentes materiales: polvo de acería, arena de sílice, gravas de diferente tamaño y carbón activado y durante veinte días fue evaluado su comportamiento en parámetros de pH y conductividad. Cada filtro tiene una composición única de materiales con la finalidad de establecer el prototipo ideal en cuanto a neutralización del pH.

En la Figura 5 se presenta la composición porcentual por cada material filtrante con relación al peso representativo de los siete filtros diseñados y construidos. La mezcla 1, 2 y 3, se componen de la siguiente manera (ver Tabla 5):

Tabla 5: Composición de las mezclas utilizadas.

No. de Mezcla	% Arena	%Polvo de acería
1	50	50
2	75	25
3	25	75

Fuente: Elaboración propia.

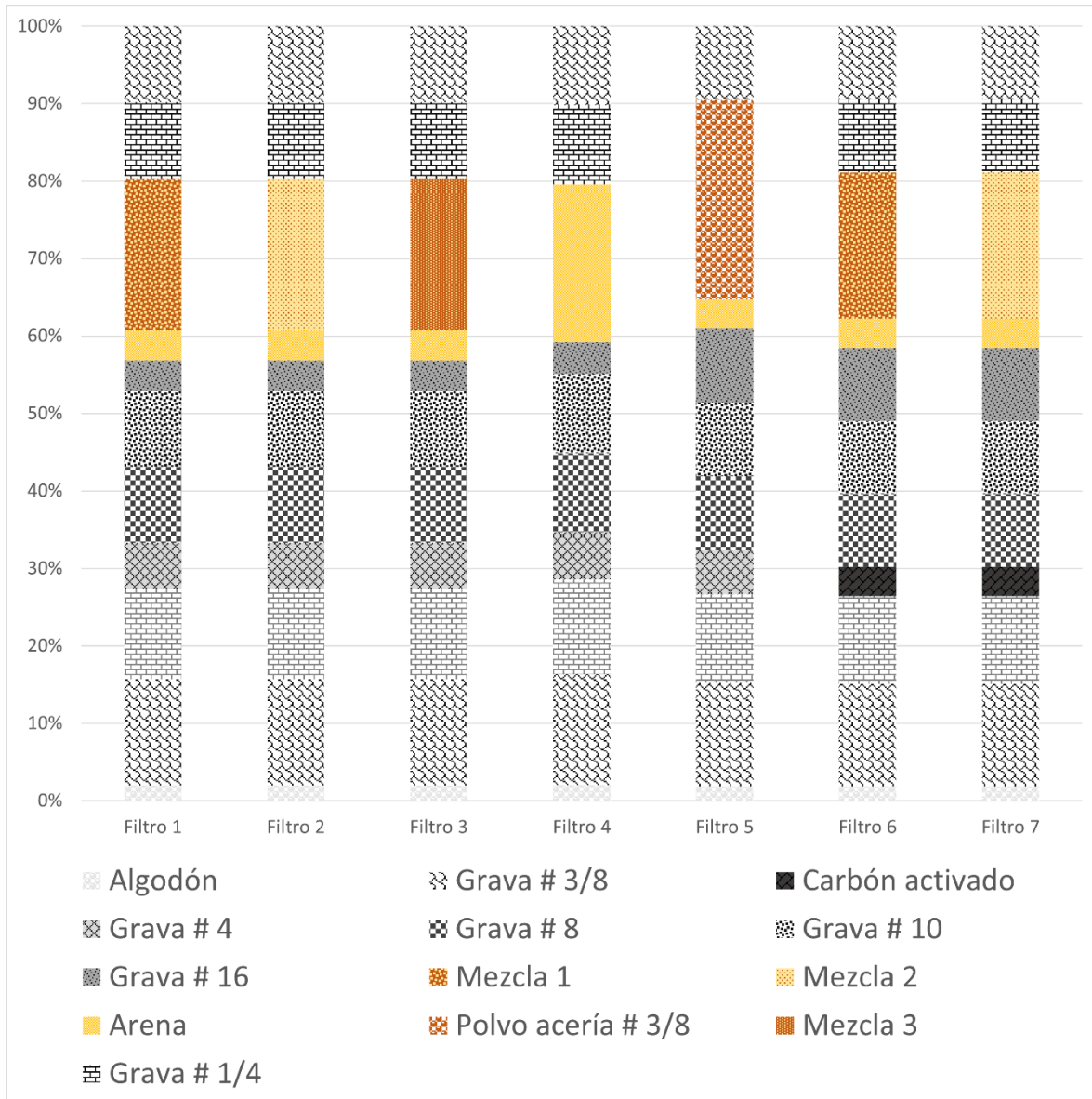


Figura 5: Composición de los filtros elaborados.

Fuente: Elaboración propia.

En las Tablas 6 y 8 se encuentran registrados los resultados de las pruebas en neutralización del pH y comportamiento de la conductividad respectivamente. Cada medición se realizó diariamente luego de un volumen de filtrado de 100 ml. Los resultados obtenidos en el pH son analizados teniendo en cuenta la resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la República de Colombia, en donde se establecen los valores permisibles de los parámetros fisicoquímicos a monitorear en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domesticas a cuerpos de aguas superficiales en el sector minero [19].

Tabla 6: Resultados en las mediciones de pH.

Parámetro	Solución	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	Filtro 5	Filtro 6	Filtro 7
pH	2,9	7,7	7,6	7,6	3,2	6,3	8,2	7,6
pH	2,9	7,7	7,7	7,6	3,2	6,5	8,3	7,9
pH	2,9	7,6	7,7	7,5	3,3	6,3	7,4	8,1
pH	2,9	7,6	7,7	7,1	3,2	6,2	7,6	8,0
pH	2,9	7,6	7,6	7,0	3,3	4,5	7,6	7,8
pH	2,9	7,5	7,6	7,2	3,2	4,5	7,4	7,9
pH	2,9	7,5	7,5	7,1	3,2	3,9	7,2	7,8
pH	2,9	7,6	7,4	7,2	3,2	3,9	7,1	7,9
pH	2,9	7,2	7,5	7,1	3,3	4,0	7,4	7,9
pH	2,9	6,8	7,2	6,8	3,3	3,3	6,6	7,4
pH	2,9	6,9	7,1	6,8	3,3	3,3	6,4	7,3
pH	2,9	6,8	7,1	6,5	3,3	3,2	6,2	7,1
pH	2,9	6,7	6,8	6,3	3,3	3,1	6,4	7,1
pH	2,9	6,8	6,9	6,3	3,2	3,4	6,4	7,3
pH	2,9	6,7	6,9	6,4	3,1	3,3	6,6	7,2
pH	2,9	6,6	6,8	6,5	3,2	3,2	6,4	7,2
pH	2,9	6,6	6,9	6,4	3,0	3,2	5,3	6,9
pH	2,9	6,5	6,8	6,0	3,1	3,2	3,7	6,7
pH	2,9	6,5	6,7	5,4	3,0	3,3	3,8	6,7
pH	2,9	6,5	6,6	5,4	3,0	3,2	3,7	6,8

Fuente: Elaboración propia.

En [19] se define como valor máximo permisible de pH un rango entre 6 a 9 en los vertimientos generados por la industria de la minería aurífera. Según la tabla anterior el valor del pH en los filtros 1, 2 y 7 se encuentra entre 6.5 y 8.1, cumpliendo con lo establecido en resolución y se observa que los filtros 1, 2 y 7 son funcionales en la neutralización del pH de la solución ácida durante los 20 días de prueba y 2000 ml filtrados.

En el filtro 3 se evidenció que es funcional en la neutralización del pH ácido hasta el día 18 de prueba y 1800 ml filtrados, pues a partir del día 19 el resultado no cumple con el rango consignado en [19].

El filtro 4 es un blanco que se realizó, este no contiene polvo de acería con la finalidad de comprobar que lo que permite la neutralización del pH ácido en los demás filtros es el polvo de acería lo cual se comprobó pues sus valores oscilan entre 3.0 y 3.3 y el pH inicial es de 2.9.

La menor efectividad en los resultados obtenidos de pH se vio reflejada en el filtro 5, este es funcional solo hasta el día cuatro de prueba y 400 ml filtrados, de ahí en adelante no cumple con los estándares para ser catalogado como funcional para neutralizar el pH ácido.

Para el filtro 6, su capacidad de neutralizar el pH cumple hasta el día 16 de prueba y 1600 ml filtrados, a partir del día 17 los valores de pH descienden por debajo del límite permitido.

A nivel general, en los filtros 1, 2, 3, 5, 6 y 7 se observa que a través del tiempo su capacidad de neutralizar los pH ácidos se va disminuyendo, esto se debe a que el material fino del polvo de acería se va perdiendo a través de cada filtrado y los filtros van presentando un proceso de colmatación.

Según las pruebas realizadas se puede decir que, para un filtro contenido en un recipiente de 500 ml y variando las proporciones analizadas de los materiales, su vida útil en el periodo de prueba estaría dada de la siguiente Tabla 7.

Tabla 7: Vida útil de los filtros analizados.

No. de Filtro	Vida útil(ml)
1	>2000
2	>2000
3	1800
5	400
6	1600
7	>2000

Fuente: Elaboración propia.

Fuente: elaboración propia

Aunque [19] no define valores máximos permisibles de conductividad en los vertimientos generados por la industria de la minería aurífera, se evaluó este parámetro, ya que representa la capacidad del fluido para conducir corriente eléctrica por medio de iones disueltos. (Ver Tabla 8).

Tabla 8: Resultados en las mediciones de conductividad.

Parámetro (µS/cm)	Solución	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	Filtro 5	Filtro 6	Filtro 7
Conductividad	1164	550	543	532	733	690	510	566
Conductividad	1164	530	520	443	740	695	430	465
Conductividad	1164	566	439	574	810	694	510	592
Conductividad	1164	568	573	545	750	700	479	540
Conductividad	1164	554	534	530	780	699	511	521
Conductividad	1164	551	535	511	811	697	515	522
Conductividad	1164	550	540	530	745	700	512	560
Conductividad	1164	535	489	448	747	765	448	469
Conductividad	1164	569	440	575	789	821	509	599
Conductividad	1164	570	571	550	792	816	490	530
Conductividad	1164	555	542	532	803	739	500	525
Conductividad	1164	550	536	515	746	728	526	523
Conductividad	1164	557	537	511	777	758	528	527
Conductividad	1164	568	543	530	733	769	510	564
Conductividad	1164	534	550	445	735	765	425	465
Conductividad	1164	568	440	573	740	830	508	590
Conductividad	1164	567	572	543	750	754	478	535
Conductividad	1164	553	535	528	789	812	510	520
Conductividad	1164	550	535	510	817	752	515	545
Conductividad	1164	555	540	515	815	750	514	540

Fuente: Elaboración propia.

En general, según la tabla anterior, los siete filtros elaborados disminuyen la conductividad en los efluentes, siendo el filtro 4 y 5 los que en menor medida fueron alterados con relación a esta medida. En las Figuras 6 y 7 se observan las tendencias de los valores de pH y conductividad respectivamente durante el periodo de prueba.

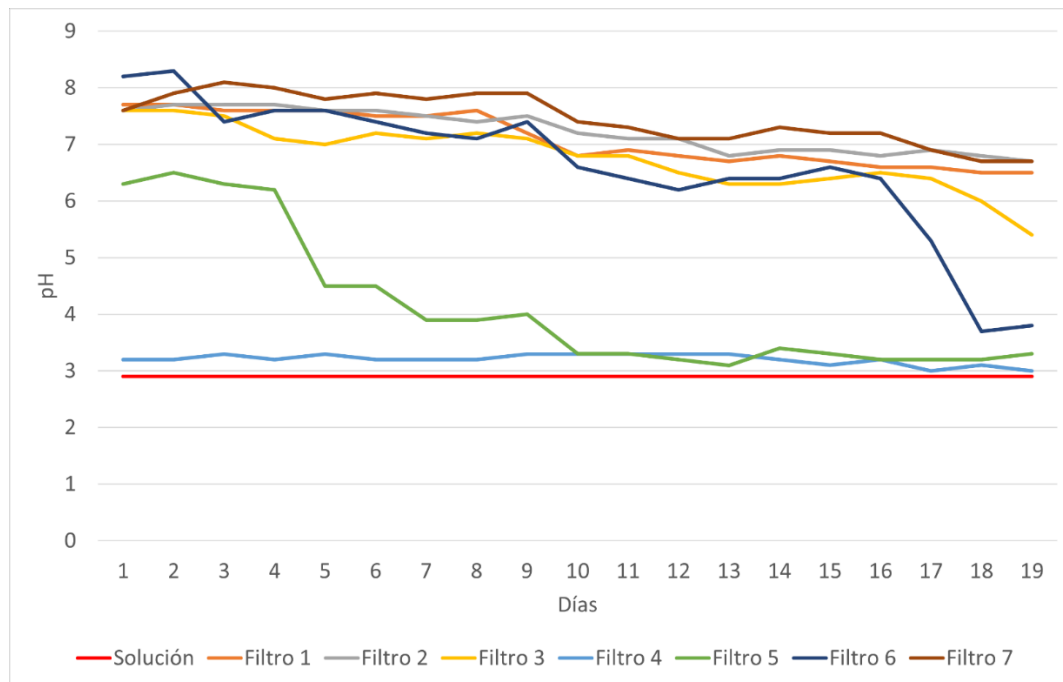


Figura 6: Tendencia de valores de pH en la solución y efluentes de los filtros.

Fuente: Elaboración propia.



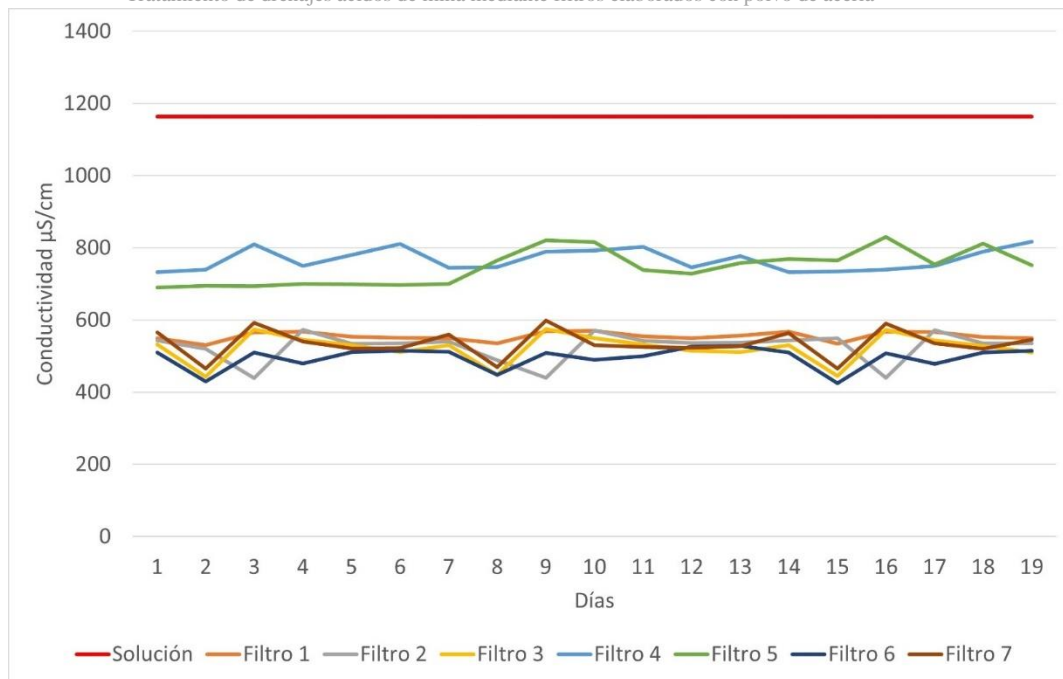


Figura 7: Tendencia de valores de conductividad en la solución y efluentes de los filtros.  
Fuente: elaboración propia.

En la solución de HCl y los efluentes que estuvieron en contacto con el filtro 4 y 5, se observan los valores más altos de conductividad y coincide con los valores del pH más bajos, es decir presentan un mayor grado de acidez y después del día número 10, tienden a estabilizarse en valores <3,5 y 3. Es importante mencionar, que el filtro 4 no tiene polvo de acería en sus componentes y el filtro 5 se compone de unos sólidos encontrados en el polvo de acería de tamaño 3/8", con lo cual es posible inferir que el elemento que permite reducir la conductividad a niveles más bajos en los filtros 1, 2, 3, 6 y 7 fue el polvo de acería.

## V. CONCLUSIONES

Los filtros elaborados con polvo de acería permiten neutralizar los drenajes ácidos, según los valores de pH en vertimientos establecidos para el sector minero en la resolución 0631 de 2015.

Los prototipos 1, 2 y 7 arrojaron mejor rendimiento y estabilidad en la tendencia de valores de pH durante los 20 días de prueba, por lo que son los ideales para desarrollar un proyecto a gran escala enfocado al tratamiento de drenajes ácidos de mina.

Los polvos de acería presentan características composicionales, que permite su utilización en la fabricación de filtros como una opción innovadora y económica para el tratamiento de drenajes ácidos.

Es importante llevar a cabo pruebas in situ con los filtros en minas auríferas y poder observar su comportamiento en el pH al estar expuesto al ambiente natural.

## VI. REFERENCIAS

- [1] Gallardo, D., et al. (2013). Chemical – physical evaluation of the superficial waters in areas with miner-metallurgic activity in Santa Lucia, Pinar del Rio. In: Farfán, H., Corvea, J.L., de Bustamente, I. y LaMoreaux, J.W. (Eds.), Management of water resources in protected areas (pp. 293-300). Springer.
- [2] Gallardo Martínez, D., et al. (2020). Drenaje ácido de minas y su influencia en ecosistemas asociados al yacimiento Santa Lucía, Cuba. Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad, 3(2), 67-81. <https://doi.org/10.46380/rias.v3i2.79>.
- [3] Organización de las naciones unidas. (1987). Our common future. The world commission on environment and development.
- [4] Akcil A. y Koldas S. (2006). Acid Mine Drainage (AMD): causes, treatment and case studies. Journal of cleaner production 12-13(14), 1139-1145.
- [5] Wu Y. et al. (2005). Feasibility of reflectance spectroscopy for the assessment of soil mercury contamination. Environmental science and technology 39(3), 873-878.
- [6] Kirschbaum, A. y Murray, J. (2011). Minería y aguas ácidas: contaminación y prevención. Temas BGNOA, 1, (1), 40-51.
- [7] Sanchez Rial, Jose Enrique, y Ferreira Centeno, Juan Pablo. (2016). Drenajes ácidos de Mina Alternativas de tratamiento. Revista de Medio Ambiente y Minería, (1), 20-33. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2519-53522016000100003&lang=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522016000100003&lang=es).
- [8] Ministerio de minas y energía. (2021). Propuesta de lineamientos técnicos de política de buenas prácticas para estandarizar los procesos relacionados con presas de relaves.
- [9] Romero A. y Flores S. (2010). Reúso de relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas. Industrial data 2(13), 75-82.

- [10] Altadill, R., Andrés, A., Bruno, A., Bruno, J, Cortés, A. Díez G, Elias, X. Mañá, F. y Ripoll, E. (2009). Reciclaje de Residuos Industriales. Editorial Díaz de Santos, Madrid, España, 1138-1143.
- [11] Señas, L., et al. (2003). Impacto ambiental producido por morteros cementicios con polvos de acería. *Revista Ciencia e Ingeniería*, 24(3), 47-53.
- [12] Doronin, I.E. y Svyazhin, A.G. (2010). Commercial Methods of Recycling Dust from Steelmaking. *Metallurgist*, 54 (10), 653.
- [13] EPA. (1991). Land disposal restrictions for electric arc furnace dust (K061). <http://www.epa.gov/osw/laws-regs/state/revision/frs/fr95.pdf>.
- [14] Bautista, F. (1999). Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados. Editorial de la Universidad Autónoma de Yucatán. México.
- [15] Jones, Christopher. (1982). Métodos de diseño. España. Editorial Gustavo Gili.
- [16] Sobek, A. A., Schuller, W. A., Freeman, J. R., & Smith, R. M. (1978). Field and Laboratory Methods Applicable to Overburdens and Minesoils. Environmental Protection Agency EPA, 47-50.
- [17] Karlsson , T., Räisänen, M. L., Lehtonen, M., & Alakangas, L. (2018). Comparison of static and mineralogical ARD prediction. Environmental Monitoring and Assessment. doi: <https://doi.org/10.1007/s10661-018-7096-2>.
- [18] Florence, K., Sapsford, D. J., Johnson, D. B., Kay, C. M., & Wolkerdofer, C. (2016). Iron-mineral accretion from acid mine drainage and its application in passive treatment. *Environmental Technology*. doi: <https://doi.org/10.1080/09593330.2015.1118558>.
- [19] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Resolución 0631.