

Diseño de una estrategia para la mitigación de los impactos ambientales generados por el ácido clorhídrico en el desecho del residuo líquido del proceso de decapado en la galvanotecnia.

**Presentado por:
Julián Andrés Parada Bejarano**

**Dirigido por:
Erika Ruiz**

**Especialización en Planeación Ambiental y Manejo Integral de los Recursos
Naturales
Facultad de Ingeniería
Universidad Militar Nueva Granada
2017**



Diseño de una estrategia para la mitigación de los impactos ambientales generados por el ácido clorhídrico en el desecho del residuo líquido del proceso de decapado en la galvanotecnia.

JULIAN ANDRES PARADA BEJARANO

Ingeniero Ambiental y Sanitario, Estudiante de Especialización Planeación Ambiental y Manejo Integral de los Recursos Naturales, Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Ingeniería.

Bogotá D.C., Colombia,
E-mail. julianparada08@gmail.com

RESUMEN

La industria galvanotecnia, es un proceso productivo en el cual se realiza el recubrimiento de un material metálico como el hierro, con otro material metálico fundido en algunos casos es el zinc, garantizando un cubrimiento que evite los procesos de corrosión y óxido en las piezas metálicas y deterioren el material.

El proceso productivo utiliza diferentes componentes e insumos químicos los cuales generan una serie de desechos y residuos potencialmente peligrosos que impactan el medio ambiente circundante de la empresa.

Por tal motivo al identificar cada uno de los procesos del galvanizado, se identifica que en el decapado de la pieza es posible mitigar el efecto impactante que genera el residuo líquido de ácido clorhídrico al no disponerse adecuadamente, llevando una alternativa de solución mediante metodologías de cristalización y precipitación de sulfatos metálicos, ya que de esta forma es posible garantizar una recirculación y una obtención de coagulante como es el cloruro férrico utilizado en las plantas de tratamiento de aguas.

PALABRAS CLAVE: ácido clorhídrico, decapado, metales, galvanizado, recirculación.

ABSTRAC

The electroplating industry is a productive process in which the coating of a metallic material such as iron is carried out, with another molten metallic material in some cases it is zinc, guaranteeing a covering that avoids the corrosion and rust processes in the metal parts. and deteriorate the material.

The production process uses different components and chemical inputs which generate a series of potentially hazardous waste and residues that impact the company's surrounding environment.

For this reason, to identify each of the processes of galvanizing, it is identified that in the pickling of the piece it is possible to mitigate the impact that generates the liquid waste of hydrochloric acid to not be properly disposed, leading an alternative solution by crystallization methodologies and precipitation of metallic sulphates, since in this way it is possible to guarantee a recirculation and an obtaining of coagulant, such as the ferric chloride used in water treatment plants.

KEY WORDS: Hydrochloric Acid, pickling, metals, galvanized, recirculation.

INTRODUCCION

Existe una extensa variedad de procesos industriales que generan aguas residuales requiriendo de tratamientos muy complejos para su disposición final, uno de ellos es la fase de decapado que se realiza en la galvanotecnia[1] , el proceso de decapado consiste en la limpieza de materiales metálicos a través de una solución ácida, en este caso se utiliza el ácido clorhídrico, este ácido se mezcla con varias impurezas provenientes de los materiales metálicos generando impurezas en él ácido y de esta manera el ácido reduce su eficiencia progresivamente estas impurezas al reducir la vida útil del ácido dan como resultado un gran volumen de aguas residuales que requieren de soluciones complejas al final del tubo. En consecuencia, las aguas residuales provenientes de este proceso son complicadas al momento de su tratamiento o disposición final, ya que se trata de una sustancia tóxica y ácida con altos contenidos de hierro y otros metales pesados.

Una posible solución ante la complejidad del tratamiento y disposición final de las aguas residuales del proceso de decapado en la industria galvanotecnia es recircular el ácido clorhídrico en este proceso, de esta manera se alarga la vida útil del ácido que debido a las impurezas que traen los materiales metálicos afectan la eficiencia de limpieza de estos materiales.

En este orden de ideas un proceso de precipitación de sulfatos [2] de los diferentes metales presentes en él ácido puede permitir la recuperación del ácido clorhídrico, identificando previamente el uso del ácido clorhídrico en el proceso y el contenido de los metales pesados al final del proceso para su disposición final, con el fin de establecer su posible recirculación y aprovechamiento en el proceso de decapado y de esta manera evitar los impactos generados al disponer el ácido clorhídrico agotado.

La recuperación de coagulantes de procesos industriales data del siglo XX con estudios cuyo objetivo es obtener sulfato de aluminio de lodos producidos de la potabilización de agua [3]. En la industria de la metalurgia, se destacan los residuos del proceso del decapado, del cual se pueden recuperar sulfatos en condiciones ácidas dando como resultado un producto de alta solubilidad pero que contiene una alta carga de metales que, si bien tienen cualidades como coagulantes por sus cargas positivas, no permiten un reciclado constante [4].

El agua residual proveniente de este tipo de industrias es de gran complejidad, por ello, para su tratamiento se debe realizar una mezcla con el fin de homogenizar su contenido de metales pesados, de acidez y otras características fisicoquímicas facilitando el proceso de detoxificación. Entonces, los estudios de mecanismos alternos que permitan la producción de un subproducto de los residuos industriales ante la complejidad de su tratamiento y disposición final, siendo una posible solución la reutilización de una solución tratada como coagulante, que abriría un amplio mercado nacional de estos productos que son importados, además de reducir costos en el tratamiento de este tipo de aguas residuales [5,6].

Investigaciones previas han concluido que la recuperación del ácido agotado no solo es posible, sino que mejora la calidad del proceso con una eficiencia de 4,05g HCl/ g Fe decapado. El proceso consta en el método de difusión diálisis continúa realizada en el tanque de decapado, su residuo se neutraliza y sedimenta para ser reingresado como solvente, de manera que no requeriría de la adición de agua pura al sistema ni del tratamiento de residuos peligrosos generados [7].

Otros métodos más sencillos constan del reingreso del ácido agotado libre con la adición de cloruros de hierro y Zinc. Esta solución puede ser preparada continuamente con la limitación de que el hierro presenta una reducción progresiva de su solubilidad del ácido y la pierde cuando la concentración es de 150g/L. En general, del residuo de un proceso de decapado se ha logrado una recuperación del Zinc de hasta el 92% por medio de la extracción líquido-líquido por medio de un contacto rotatorio de 120 rpm con TBP como agente extractante [8]

MATERIALES Y METODOS

Con el fin de establecer la posibilidad de mitigación del ácido agotado en el proceso de decapado de la industria metalúrgica se llevará a cabo un proceso de investigación empírica de tipo experimental.

La presente metodología consta de cuatro etapas fundamentales que se describen a continuación:

1. Establecer el proceso de galvanizado identificando el uso del ácido clorhídrico en el mismo:

Esta etapa inicia con la identificación del proceso de galvanizado en la industria galvanotecnia, estableciendo las posibles operaciones en las que se utilizara el ácido clorhídrico. De igual forma se identifica el uso que tiene el ácido en el proceso de decapado identificando el ciclo de vida del ácido en este proceso.

2. Análisis de la normatividad ambiental vigente

Se evidencia por medio de la norma nacional, regional y local, acerca de los criterios de uso y disposición del ácido clorhídrico, estableciendo así un marco normativo del uso del ácido clorhídrico en el proceso de decapado y su posible impacto en el medio ambiente.

3. Diseño de la metodología de recuperación de ácido clorhídrico

Para el diseño de la metodología se cuenta con varias sub fases, por ende, aquí se establece el posible proceso para la recuperación del ácido clorhídrico de la siguiente manera:

- a. **Caracterización fisicoquímica del ácido agotado:** Recolección de las muestras y su procedimiento de cadena de custodia, con el fin de realizar una caracterización fisicoquímica del ácido agotado, que incluirá la determinación de parámetros como: pH, Acidez, Alcalinidad total, Dureza Total, Densidad, Sólidos suspendidos, disueltos y totales, sedimentables, DQO, OD, Conductividad, Cloruros y otros metales incluyendo el Hierro, Zinc, Cadmio, Plomo, Cromo y Níquel
- b. **Obtención de sulfatos:** Se realizarán cinco experimentos con sus respectivas réplicas para precipitar los sulfatos de los elementos metálicos presentes en los residuos líquidos, mediante la adición de cantidades estequiometrias de Ácido Sulfúrico.
- c. **Cristalización de Sulfatos:** para realizar la precipitación de los sulfatos y que se vean como cristales de sulfatos, es necesario que la solución se lleve a temperaturas bajas.
- d. **Caracterización Fisicoquímica del residuo líquido tratado y Determinación de la Pureza del Ácido Clorhídrico:** Se realizará una caracterización similar a la realizada al ácido agotado, pero esta vez con el residuo líquido tratado. La pureza del ácido clorhídrico se determinará por medio de una titulación ácido base con hidróxido de sodio.

RESULTADOS

El proceso de galvanizado es un tratamiento realizado a la superficie de una pieza metálica, este proceso es utilizado con el fin de evitar la corrosión que presentan la mayoría de las piezas metálicas al momento de hacer contacto con agua y oxígeno. Debido a esto para iniciar el proceso de galvanizado de una pieza es importante realizar una excelente preparación de la superficie de la pieza, y se establece que esta preparación es una etapa importante en el proceso, porque el galvanizado depende de eliminar los restos de pintura, grasa, u óxidos metálicos que contiene

la pieza con un procedimiento conocido como el decapado como se observa en la figura 1 proceso de galvanizado. [9]

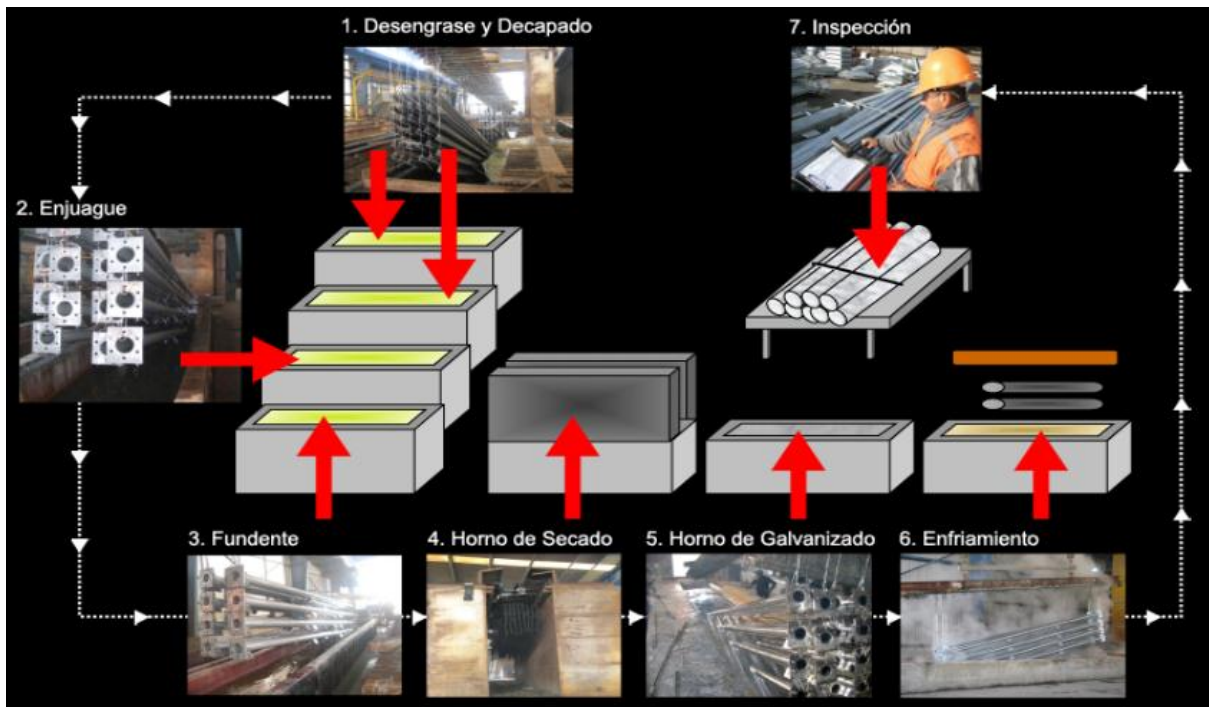


Figura 1. Proceso de galvanizado **Fuente:** Modificado por el autor

En los procesos de galvanizado se utilizan fundamentalmente como ácidos de decapado el ácido clorhídrico (HCl) y en menor proporción el ácido sulfúrico (H_2SO_4) para materiales como el hierro y el acero inoxidable. La concentración de un baño de decapado se da en un intervalo de 14-16% en peso en caso de utilizar ácido clorhídrico, sin embargo, en otros sistemas utilizan concentraciones entre 6-15%; y en caso de utilizar ácido sulfúrico se presenta en un intervalo de 10-14% en peso, de igual forma para obtener un mejor resultado en el proceso la temperatura óptima de trabajo de los ácidos en el decapado es en un intervalo de 60-80°C. [8,10]

El proceso de decapado consiste en sumergir una pieza metálica en un baño ácido con el fin de disolver la película de óxido, cascarilla y escamas, en esta actividad el baño de decapado va disminuyendo su efectividad de remoción al aumentar la concentración de hierro o impurezas en el ácido clorhídrico, por lo que es necesario realizar adiciones periódicas de ácido para mantener la concentración del mismo y una excelente dilución de óxido en el proceso, sin embargo también es necesario reponer las pérdidas del ácido producidas por la evaporación y por el arrastre de las piezas. [8,11]

Este sistema puede mantenerse así hasta que se alcanza el límite de solubilidad del cloruro ferroso ($FeCl_2$) en el ácido clorhídrico, de igual forma el ácido utilizado contiene una concentración de óxidos en solución y cuando se ha llegado a este límite el baño de decapado está agotado siendo necesaria su renovación ya que se observa que el tiempo requerido en el proceso de dilución aumenta, llegando así a

desechar y preparar otra solución para que el proceso siga operando; generalmente el ácido agotado es enviado a un tanque de neutralización, en donde por medio de un álcali se obtiene una solución neutralizada que se envía a la planta de tratamiento de agua (si la empresa la tiene), el lodo generado considerado peligroso, es confinado de acuerdo a la legislación actual resolviendo de esta manera el problema “al final del tubo”, sin embargo, otras empresas desechan el residuo al alcantarillado como se observa en la tabla 1 efectos de los contaminantes sobre instalaciones de alcantarillado, aumentando la contaminación en los sistemas hídricos de la zona de influencia directa e indirecta de la empresa.[8,9]

Tabla 1. Efectos de los contaminantes sobre instalaciones de alcantarillado

PARAMETRO	EFEECTO
Potencial de Hidrogeno pH	Daño a los colectores, por exceso de acidez o alcalinidad. Inhibición del crecimiento microbiano en los sistemas de tratamiento biológico de las aguas servidas.
Temperatura	Aumento de las velocidades de reacciones químicas y bioquímicas, ocasionado por un aumento de temperatura. Volatilización de compuestos orgánicos presentes en los residuos líquidos, con gasificación y producción de emanaciones tóxicas y mal olor. La presencia de gases aumenta la presión de las tuberías
Solidos Suspendido	Se produce acumulación de sedimentos al interior de las tuberías, produciendo efectos de obstrucción de escurrimiento de fluidos.
Grasas y Aceites	Se produce acumulación y se dificulta el escurrimiento de fluidos. Además, disminuye la transferencia de oxígeno en el cuerpo receptor.
Sulfatos	Se produce la precipitación de sales insolubles que atacan las tuberías de cemento.
Metales pesados y toxicos	Interfieren en los procesos biológicos de tratamiento de aguas servidas, inhibiendo el crecimiento microbiano.
Detergentes	Interfieren en los procesos biológicos de tratamiento de aguas servidas, inhibiendo el desarrollo microbiano.

Fuente: Guía de buenas Prácticas para el sector de la galvanotecnia

La industria galvanotecnia ocasiona impactos ambientales, debido a la naturaleza toxica de los compuestos químicos que se utilizan en el proceso, siendo un potencial impacto la generación de agua residual con alto contenido de metales pesados tales como el cromo hexavalente, hierro, zinc entre otros. Los residuos generados que están presentes en los efluentes líquidos, en los sólidos y en las emisiones atmosféricas afectan no solo al medio ambiente y a la salud de las personas. Estos impactos generan efectos desde el deterioro de los sistemas de alcantarillado, los sistemas de tratamiento biológico, y la salud de los trabajadores los cuales pueden

llegar a ser más significativos en la industria, en la tabla 2 identificación de impactos ambientales en el componente ambiental, se observa el riesgo y el procedimiento industrial del proceso de galvanizado que lo genera. [1]

Tabla 2 Identificación de impactos ambientales en el componente ambiental

Componente ambiental	Proceso	Residuo	Riesgo	Impacto
Hídrico	Limpieza y electrodeposito	Alcalis	Corrosividad	Afectacion en los sistemas de drenaje
	Limpieza	Acido clorhidrico	Toxicidad	Afectacion en los sistemas de tratamiento de aguas
	Lavado de piezas	Detergentes	Toxicidad	Variacion en la calidad del agua
	Lavado de maquinas y desengrase	Aceites y grasas	Toxicidad	Afectacion en los sistemas de drenaje
	Baño de recubrimiento cromado	Cromatos, cianuros	Toxicidad	Afectacion en la salud humana
Atmosferico	Baño de recubrimiento niquelado y cromado	Vapores acidos y alcalicos	Toxicidad y corrosividad	Afectacion en las instalaciones metalicas de la empresa
	Pintar	Particulas de pintura volatiles y polvo	Toxicidad	Afectacion de mucosas y vias respiratorias
Suelo	Lavado de maquinas y desengrase	Aceites y grasas	Toxicidad	Afectacion en la calidad del suelo

Fuente: Guía de buenas Prácticas para el sector de la galvanotecnia

De igual según el proceso de galvanizado para una industria que incluye actividades desde el amarre hasta enfriamiento y alistamiento de la pieza para la entrega al cliente, se identifican los siguientes aspectos e impactos ambientales estableciendo si su significancia ambiental es positiva o negativa (tabla 3 matriz de identificación de aspectos e impactos ambientales y significancia) para el medio ambiente, observando que en todos los procesos del galvanizado la significancia es negativa, por lo que se puede entender que es necesario realizar buenas prácticas ambientales en la industria galvanotecnia para mitigar los impactos generados, de igual forma es importante comprender que el procedimiento de decapado, es el proceso que mayor impacto genera, ya que los residuos líquidos acidificados necesitan mejores y mayores procedimientos en sus tratamientos, son catalogados como residuos peligrosos y además generan una contaminación significativa en los componentes del suelo y el agua, así como en las estructuras hidráulicas del tratamiento, por ende estableciendo una jerarquización en el proceso de galvanizado se establece lo siguiente:

1. **Decapado:** el decapado afecta la calidad del agua generando una acidificación en el recurso, de igual forma genera una afectación en la calidad del suelo, ya que un derrame en el componente suelo genera una alteración en el intercambio y una acidificación en el mismo, finalmente en el componente aire genera vapores ácidos presentado una afectación en la calidad del aire.
2. **Desengrase:** el uso de potasa caustica en este proceso, genera un residuo alcalino, sin embargo, esto genera una alteración en el componente hídrico, alterando la calidad del agua y las reacciones de los microorganismos en el medio.
3. **Galvanizado:** este proceso genera una alteración en la calidad del agua y del suelo, ya que se utilizan grandes concentraciones de metales, para adherir al medio metálico, lo cual nos genera una gran generación de residuos peligrosos metálicos.
4. **Fundente:** el uso de sales, me presenta una afectación en el componente hídrico y en el suelo, ya que me afecta la capacidad de intercambio en los medios.
5. **Amarrado, Secado y enfriamiento:** en este proceso, se ve afectada la calidad del aire debido a la generación de vapores en el proceso de secado, de igual forma el arrastre de partículas en el enfriamiento con agua genera una alteración leve en la calidad del agua.

. **Tabla 3** Matriz de identificación de aspectos e impactos ambientales y significancia

ACTIVIDAD	ASPECTO	IMPACTO	SIGNIFICANCIA
Amarre	Uso de materia prima, por lo general alambres metálicos	Contaminación del suelo. Aumento de residuo solido	NEGATIVO
Desengrase	Consumo de agua, alcalinización del agua	Contaminación de recurso hídrico, vertimiento al rio Bogotá.	NEGATIVO
Decapado	Consumo de agua, acidificación del agua	Contaminación hídrica, corrosión del sistema de alcantarillado debido a la acidez del agua	NEGATIVO
Enjuague	consumo de agua	Agotamiento del recurso hídrico, vertimiento ácido y básico debido a que el enjuague se realiza en las dos etapas anteriores	NEGATIVO
Fundente	Uso de sales diluidas en agua, consumo de agua	Contaminación hídrica, contaminación del suelo debido al goteo	NEGATIVO
Secado	Consumo de energía	Calidad del aire afectada, por el cambio de temperatura de la emisión de aire caliente debido al proceso de secado	NEGATIVO
Galvanizado	Uso de energía, baño de zinc fundido	Contaminación del suelo por goteo, salpicadura al operario encargado de la actividad	NEGATIVO

ACTIVIDAD	ASPECTO	IMPACTO	SIGNIFICANCIA
Enfriamiento	Uso de agua, consumo de agua	Vertimiento de agua con metales pesados por ejemplo el zinc desprendido de la pieza	NEGATIVO
Administración	Uso de energía, materia prima	Aumento de los residuos sólidos, por lo general papel debido a los tramites, excesivo uso de energía eléctrica en implementos electrónicos	NEGATIVO

Fuente: Autor

Con base en lo anterior en la tabla 4 marco normativo; se observa el marco normativo legal en Colombia, que involucra a la industria galvanotecnia en el contexto normativo ambiental con el fin de efectuar una matriz legal general de la industria y sus posibles impactos en el medio ambiente.

Tabla 4. Marco normativo

MEDIO	LEY/DECRETO/RESOLUCION	ESPECIFICACIÓN
Hídrico	Decreto 948 de 1995	por el cual se establece la ubicación de la industria en una zona adecuada
	Decreto 1541 de 1978	por el cual se estipula el cumplimiento de todas las prácticas de conservación del medio ambiente
	Decreto 1541 de 1978	Por el cual prohíbe la descarga de aguas residuales en ríos y demás fuentes naturales
	Decreto 2811 de 1974	Relacionado con la concesión de aguas y disposición final o procesamiento de aguas residuales
	Decreto 1594 de 1984	Por el cual se reglamenta la ausencia de uso del agua del acueducto público para fines productivos.
Atmosférico	Resolución 1697 de 1997	Por la cual se generan permisos para emisiones
	Ley 9 de 1979	Relacionada con el control de emisiones
	Resolución 898 de 1995	Registro del gasto de combustible
	Resolución 160 de 1996	Tubos de escape en buen funcionamiento
	Resolución 601 de 2006	Norma de calidad de aire o nivel de inmisión

<i>MEDIO</i>	<i>LEY/DECRETO/RESOLUCION</i>	<i>ESPECIFICACIÓN</i>
Ruido	Decreto 948 de 1995	Clasificación de sectores de restricción de ruido ambiental.

Fuente: Autor

Teniendo en cuenta la perspectiva del marco normativo legal en Colombia, será posible crear una matriz legal para una compañía que haga parte de la industria galvanotecnia, se logra observar que hay normas que debe cumplir la empresa con el fin de prevenir los futuros impactos provenientes de malas prácticas en el proceso del galvanizado, además se observa que los impactos significativos en la industria galvanotecnia se presentan en los componentes ambientales atmosférico e hídrico y al relacionarlo con la normatividad ambiental es posible determinar acciones para prevenir impactos por la actividad.

Con el fin de determinar la posibilidad de reutilización del ácido clorhídrico agotado en el procedimiento de decapado de la industria galvanotecnia se llevará a cabo el diseño de una estrategia para la mitigación del impacto producido al desechar el ácido clorhídrico por medio de residuos líquidos o agua residual industrial. Este procedimiento se puede realizar por medio de la precipitación y cristalización de sulfatos de los diferentes metales que se encuentren en el ácido, esto puede permitir la recuperación del ácido clorhídrico, sin embargo, es de gran importancia cuantificar el contenido de los metales pesados al final del proceso, con el fin de establecer su posibilidad de recirculación y aprovechamiento en el proceso y de esta manera evitar el problema al final del tubo. [12]

Como se nombró anteriormente en materiales y métodos la estrategia metodológica se lleva a cabo a través de cuatro subbases, a continuación, se identificarán los diferentes procedimientos que pueden establecer una recuperación y posterior recirculación del ácido clorhídrico en un proceso de decapado:

Actividades de la Etapa I. Caracterización fisicoquímica del ácido agotado:

1.1. Recolección de muestras del agua residual generada en el proceso de decapado.

Para la recolección de las muestras de aguas residuales es necesario tener en cuenta que el medio de la muestra es un medio ácido, por ende, es importante tener la dotación necesario para la prevención de accidentes a la persona capacitada que realizara el muestreo, de igual forma es necesario establecer cuáles son los parámetros a analizar, que se observa en la actividad siguiente, para así establecer los métodos de conservación y preservación del muestreo. Tal como se observa en la Tabla 5. Requerimientos para la conservación y almacenamiento de muestras de agua.

Tabla 5. Requerimientos para la conservación y almacenamiento de muestras de agua.

Parámetro	Método	Conservación	Almacenamiento
pH	Multiparámetro HANNA	Análisis inmediato	-
Hierro	Espectrofotometría de absorción atómica	Filtrar inmediatamente, adicionar HNO ₃ a un pH<2	6 meses
Zinc	Espectrofotometría de absorción atómica	Filtrar inmediatamente, adicionar HNO ₃ a un pH<2	6 meses
Cadmio	Espectrofotómetro de plasma ICAP 6300.	Filtrar inmediatamente, adicionar HNO ₃ a un pH<2	6 meses
Plomo	Espectrofotómetro de plasma ICAP 6300.	Filtrar inmediatamente, adicionar HNO ₃ a un pH<2	6 meses
Cromo	Espectrofotómetro de plasma ICAP 6300.	Refrigeración	24 horas
Níquel	Espectrofotometría de absorción atómica	Filtrar inmediatamente, adicionar HNO ₃ a un pH<2	6 meses
Densidad	Picnómetro	No especifica	No especifica
Cloruros	HACH	No Requiere	24 horas
Sólidos totales	Gravimétrico	Refrigeración	7 días
Sólidos suspendidos	Gravimétrico	Refrigeración	7 días
Sólidos disueltos	Gravimétrico	Refrigeración	7 días
Sólidos Sedimentables	Volumétrico	Refrigeración	7 días
Acidez	Titulación	Refrigeración	24 horas
DQO	HACH	Refrigeración	6 horas

Fuente: IDEAM

1.2. Caracterización fisicoquímica del ácido agotado: pH, Acidez, Alcalinidad total, Dureza Total, Densidad, Sólidos suspendidos, disueltos y totales, DQO, OD, Conductividad, Cloruros y otros metales incluyendo el hierro, Zinc, Cadmio, Plomo, Cromo, tal como se observa en la tabla 5 Características fisicoquímicas del ácido agotado, en donde se observa el método de análisis, el valor y las unidades en que se da el resultado.

Tabla 5 Características fisicoquímicas del ácido agotado

Parámetro	Método	Unidad	Valor fijado
pH	Multiparámetro HANNA	Unidades	0.5
Hierro	Espectrofotometría de absorción atómica	mg/l F	10200
Zinc	Espectrofotometría de absorción atómica	mg/l Zn	3048

Parámetro	Método	Unidad	Valor fijado
Cadmio	Espectrofotómetro de plasma ICAP 6300.	mg/l Cd	0.1957
Plomo	Espectrofotómetro de plasma ICAP 6300.	mg/l Pb	0.0295
Cromo	Espectrofotómetro de plasma ICAP 6300.	mg/l Cr	0.9748
Níquel	Espectrofotometría de absorción atómica	mg/l Ni	55.18
Densidad	Picnómetro	g/ml	1.214
Cloruros	HACH	mg/l	1000
Sólidos totales	Gravimétrico	mg/l	346280
Sólidos suspendidos	Gravimétrico	mg/l	937.5
Sólidos disueltos	Gravimétrico	mg/l	345342.5
Sólidos Sedimentables	Volumétrico	ml/l	-
Acidez	Titulación	%	18.08

Fuente: [13] Universidad de la Salle

Actividades de la Etapa II. Obtención de sulfatos

- 2.1. Determinación de la temperatura óptima de adición de ácido sulfúrico a volúmenes conocidos del agua residual. Las temperaturas de estudio son: (50, 60, 70, 80 y 90°C).

Para la determinación de las temperaturas es necesario realizar una serie de réplicas experimentales, ya que de esta manera se logra observar la temperatura óptima con la cual se puede trabajar con ácido sulfúrico y así obtener sulfatos del metal que contenga el ácido clorhídrico agotado.

Actividades de la Etapa III. Cristalización de Sulfatos

- 3.1. Precipitar los sulfatos obtenidos hasta lograr la cristalización a temperaturas de -10, -5, 0, 5, y 10°C
- 3.2. Pesar los cristales de sulfatos obtenidos.

Para el procedimiento de precipitación de sulfatos, es necesario realizar réplicas y utilizar un rango de temperaturas de -10°C a 10 °C con el fin de obtener el mejor cristal de sulfato, con el fin de realizar una metodología experimental de precipitación y cristalización de sulfatos se opta por realizar de manera experimental estableciendo una sobresaturación es un estado metaestable, el paso siguiente es provocar la aparición del exceso de sólido bajo la forma de cristales, lo que puede conseguirse mediante un descenso de la temperatura debido a la variación que, habitualmente, experimenta la solubilidad con la misma. [12]

Actividades de la Etapa IV. Cuantificación y Determinación de la Pureza del ácido Clorhídrico

- 4.1. Determinación de las características fisicoquímicas del residuo líquido tratado.
- 4.2. Determinación del contenido de metales presentes en el lodo: hierro, Zinc, Cadmio, Plomo y Cromo, entre otros

Finalmente se lleva a cabo la determinación de las características fisicoquímicas del residuo líquido tratado, es decir posterior a las actividades de la etapa II y III, y como se observa en la tabla 6 caracterización del residuo líquido tratado, se observa una mejoría en la calidad del residuo líquido de ácido agotado.

Tabla 6. Caracterización del residuo líquido tratado

Parámetro	Método	Unidad	Acido agotado	Agua tratada
pH	Multiparámetro	Unidades	0.5	8
Densidad	Picnómetro	g/cm ³	1,27	-
Turbiedad	Turbidímetro	UNT	200	1100
DQO	Hach	mg/L	20000	1820
Hierro	Hach	mg/L	136500	8,55
Aluminio		mg/L	<0,01	<0,01
Cadmio	Adsorción atómica	mg/L	0,182	<0,01
Zinc		mg/L	1800	<0,01
Plomo	Adsorción atómica	mg/L	15,38	<0,01
Cromo Total	Adsorción atómica	mg/L	17,29	<0,01
Níquel		mg/L	900	<0,01
Sólidos suspendidos totales	Gravimétrico	mg/L	527	420

Fuente: [14] Universidad de la Salle

CONCLUSIONES

La industria galvanotecnica, es una de las industrias de desarrollo económico más importantes a nivel nacional, ya que el proceso de galvanizado permite que las piezas metálicas utilizadas en la construcción no sufran de corrosión u otras alteraciones que afecte el buen funcionamiento de la misma, sin embargo, este tipo de practica industrial es a su vez una de las industrias más contaminantes de las fuentes hídricas y de igual forma las que mayor impacto tienen en los sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas en las ciudades donde ejercen sus procesos productivos.

Por ende es necesario plantear metodologías de prevención y mitigación de los efectos de impactos ambientales ocasionados por los procesos productivos de las

industrias de galvanizado, para el caso se trató de un proceso de recirculación de ácido clorhídrico agotado, que posterior a una serie de tratamientos fisicoquímicos como la precipitación y cristalización de sulfatos metálicos por metodologías experimentales, se observa que el agua residual proveniente del proceso de decapado llega a establecer un nivel menor de contaminación en su caracterización fisicoquímica (tabla 6) , garantizando una mejora en el proceso productivo y evitando los impactos ambientales que estos residuos líquidos generan; además es garante de un costo ambiental positivo para la empresa, ya que hay la posibilidad de generación de cristales de cloruro férrico que podrían venderse en el mercado aumentando los ingresos económicos para la industria que aplique una metodología de cristalización y precipitación de sulfatos en sus procesos productivos.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por la oportunidad de generar un excelente resultado, a la Universidad Militar Nueva Granada por su asesoramiento e instalaciones, a Bibiana Forero por el amor y paciencia en el desarrollo, y a mis padres y hermanos por el apoyo día a día en la obtención de resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Ministerio del Medio Ambiente y FUNDES Colombia, Guía de buenas Prácticas para el sector de la galvanotecnia. Diciembre 2014
- [2] M. Espigares García y J.A. Pérez López. Precipitación química, ablandamiento del agua
- [3] Tratamiento y disposición de aguas residuales de plantas de tratamiento de agua potable en Chile. Fernández Acuña Sebastián Ignacio. Santiago de Chile 2015
- [4] Testing of alum recovery for solids reduction and reuse. Jour. AWWA, 76-83 Bishop, Rolan, Bailey, & Cornwell, 1987
- [5] Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas. IDEAM.
- [6] Guía Ambiental, Formulación de planes de pretratamiento de efluentes industriales. Ministerio del medio ambiente, 2002.
- [7] Recuperación y reciclamiento de agua residual del sistema de decapado difusión dialisis Treviño, Santillán, & López, 2005
- [8] Valorización De Efluentes De Decapado Ácido Metálico. Recuperación De Zinc. Tesis Doctoral, Universidad De Cantabria. Peña, H. S. 2006.

[9] Recuperación Y Reciclamiento De Agua Residual Del Sistema De Decapado Difusión Diálisis. C. B. Treviño a, C A. Santillán b, C. S López c, C. L Abdala d 2005.

[10] Recovery of Nitric Acid and Hydrofluoric Acid from the Pickling Solution by Diffusion Dialysis Process. Sato, J. et al. 1985.

[11] The Hot Dip Galvanizing Process. Metal plate Galvanizing. 2002.

[12] Precipitación y cristalización. Química general. Practica de laboratorio. UAM 2014.

[13] Evaluación de la influencia de las condiciones del proceso de decapado de la empresa polyuprotec en el contenido de metales pesados del ácido agotado. Valderrama Mónica, Martínez Erika. U. La Salle 2014

[14] Evaluación del uso de un agua residual proveniente del proceso de decapado como coagulante en agua residual sintética a nivel de laboratorio. Palma Laura. U. La Salle 2013

[15] Toma de muestras de aguas residuales. IDEAM 2007