

Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), julio-agosto 2024,
Volumen 8, Número 4.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4

**IMPACTO AMBIENTAL Y VIABILIDAD
ECONÓMICA: NEUTRALIZACIÓN Y
REUTILIZACIÓN DE AGUAS ÁCIDAS EN LA
INDUSTRIA SIDERÚRGICA**

**ENVIRONMENTAL IMPACT AND ECONOMIC VIABILITY:
NEUTRALIZATION AND REUSE OF ACID WATER IN
THE STEEL INDUSTRY**

Marlon Javier Alegre Jara

Universidad Nacional del Santa, Perú

Alvaro Edmundo Tresierra Aguilar

Universidad Nacional del Santa, Perú

Alison Jazmín Zeñas Alegre

Universidad Nacional del Santa, Perú

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.13226

Impacto Ambiental y Viabilidad Económica: Neutralización y Reutilización de Aguas Ácidas en la Industria Siderúrgica

Marlon Javier Alegre Jara¹

marlonalegre2019@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-8948-7868>

Universidad Nacional del Santa
Perú

Alvaro Edmundo Tresierra Aguilar

atresierraaguilar@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-8611-7426>

Universidad Nacional del Santa
Perú

Alison Jazmín Zeñas Alegre

alisonzenas@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0004-2853-9160>

Universidad Nacional del Santa
Perú

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue investigar la neutralización de aguas ácidas y su reutilización en una empresa siderúrgica, con un enfoque en la minimización del impacto ambiental y las ventajas económicas. Se implementó una metodología que involucró el análisis de la composición del agua ácida y ácido gástrico, seguido de un proceso de neutralización que incluyó etapas de oxidación, clarificación y floculación. Se obtuvo que la reutilización de estas aguas como agua industrial en el proceso de galvanizado generó un Valor Actual Neto (VAN) positivo de 525,3705.66, una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 28%, y un período de recuperación (PayBack) de 3.3 años. Además, se demostró que el proceso cumplía con los estándares ambientales y reducía significativamente el costo de disposición de residuos de 28,000 a 2,808 US\$/mes. Los resultados respaldan la viabilidad ambiental y económica de la neutralización de aguas ácidas en la industria siderúrgica y sugieren la posibilidad de replicar este enfoque en otros procesos industriales similares. Este estudio contribuye al desarrollo sostenible y sustentable al integrar la protección ambiental con el crecimiento económico.

Palabras clave: neutralización, aguas ácidas, siderúrgica, impacto ambiental y económico

¹ Autor principal

Correspondencia: marlonalegre2019@gmail.com

Environmental Impact and Economic Viability: Neutralization and Reuse of Acid Water in the Steel Industry

ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the neutralization of acidic water and its reuse in a steel company, with a focus on minimizing environmental impact and economic advantages. A methodology was implemented that involved the analysis of the composition of acid water and acid expenditure, followed by a neutralization process that included oxidation, clarification and flocculation stages. It was obtained that the reuse of this water as industrial water in the galvanizing process generated a positive Net Present Value (NPV) of 525,3705.66, an Internal Rate of Return (IRR) of 28%, and a recovery period (PayBack). 3.3 years. In addition, it was demonstrated that the process met environmental standards and significantly reduced the cost of waste disposal from 28,000 to 2,808 US\$/month. The results support the environmental and economic viability of acid water neutralization in the steel industry and suggest the possibility of replicating this approach in other similar industrial processes. This study contributes to sustainable and sustainable development by integrating environmental protection with economic growth.

Keywords: neutralization, acid water, steel, environmental and economic impact

Artículo recibido 10 julio 2024

Aceptado para publicación: 15 agosto 2024



INTRODUCCIÓN

La gestión adecuada de las aguas residuales industriales es una preocupación creciente tanto a nivel global como local. La industria siderúrgica, que desempeña un papel crucial en la fabricación de productos esenciales para la sociedad, también se enfrenta a desafíos significativos en lo que respecta a la gestión de sus aguas residuales. El presente estudio se centra en el impacto ambiental y económico de la neutralización de aguas ácidas y su reutilización como agua industrial en el proceso de galvanizado en una empresa siderúrgica.

Relevancia Social

En una era en la que la sostenibilidad y la protección del medio ambiente son preocupaciones centrales para la sociedad, la gestión responsable de los recursos hídricos y la reducción de la contaminación del agua son cuestiones de gran relevancia social. La contaminación del agua tiene un impacto directo en la salud humana y en la calidad de vida de las comunidades cercanas a las plantas industriales, lo que ha llevado a un aumento en la conciencia pública y la demanda de prácticas más sostenibles por parte de las empresas (Kumar et al., 2020).

Relevancia Contemporánea

En un contexto contemporáneo, la escasez de agua y los efectos del cambio climático están aumentando la presión sobre los recursos hídricos. Las sequías, las inundaciones y la variabilidad en la disponibilidad de agua son desafíos cada vez más comunes. En este contexto, la gestión eficiente y sostenible del agua es esencial para garantizar la continuidad de las operaciones industriales y para mitigar el impacto ambiental de estas actividades (UN Water, 2021).

Relevancia Científica

Desde una perspectiva científica, el estudio de la neutralización de aguas ácidas y su reutilización en la industria siderúrgica es de gran importancia. La investigación en esta área contribuye al desarrollo de tecnologías y prácticas más avanzadas en la gestión de aguas residuales industriales, lo que a su vez puede aplicarse a otras industrias y sectores. Además, esta investigación puede arrojar luz sobre los beneficios económicos y ambientales de la adopción de prácticas sostenibles en la industria (Gupta et al., 2019).



La justificación de esta investigación radica en la creciente relevancia del cuidado del medio ambiente en el contexto global y en el Perú. La creciente legislación ambiental y la demanda de la sociedad por la protección del entorno han convertido la preservación ambiental en una prioridad. Este proyecto busca abordar el riesgo ambiental asociado a la contaminación del aire, suelo y agua que proviene de la gestión de aguas ácidas en la industria. A través de un enfoque sistemático de tratamiento, tiene como objetivo recuperar sustancias nocivas y reutilizar el agua industrial para obtener impactos positivos tanto en términos ambientales como económicos. Esto contribuirá a la sostenibilidad de las actividades industriales, generando beneficios significativos para las comunidades, el medio ambiente y la economía. Además, este trabajo podría servir como referencia para investigaciones futuras en la búsqueda del desarrollo sostenible y sustentable.

La investigación se guía por la siguiente interrogante: ¿Cuál es el impacto ambiental y económico de la neutralización de aguas ácidas y su reutilización como agua industrial en el proceso de galvanizado en una empresa siderúrgica?

Smith, A. (2022): El estudio de Smith resalta cómo la gestión inadecuada de las aguas residuales en la industria siderúrgica puede tener un efecto cascada en la cadena alimentaria y en la calidad del agua disponible para uso humano. Asimismo, enfatiza la importancia de cumplir con las regulaciones ambientales para reducir estos impactos negativos y proteger tanto el entorno natural como la salud pública.

Brown, L. (2021): El estudio de Brown ofrece ejemplos concretos de casos en los que la reutilización del agua ha llevado a ahorros significativos en la factura de agua y a la reducción de costos de tratamiento de aguas residuales. Además, destaca cómo esta estrategia puede mejorar la sostenibilidad financiera de las empresas a largo plazo, al tiempo que contribuye a la conservación de un recurso vital.

Johnson, R. (2020): El estudio de Johnson destaca cómo la contaminación del agua puede tener consecuencias graves para la salud humana, incluyendo problemas de salud a corto y largo plazo. Además, resalta la importancia de la responsabilidad corporativa y la necesidad de que las empresas tomen medidas para reducir su huella ambiental y proteger a las comunidades locales de los impactos negativos.

Kumar, S. (2019): El estudio de Kumar resalta cómo la adopción de prácticas sostenibles, como la reutilización de agua y la gestión eficiente de recursos hídricos, puede ayudar a las empresas a adaptarse a las condiciones cambiantes del clima y a garantizar la disponibilidad de agua para sus operaciones a largo plazo. Además, enfatiza que estas prácticas pueden contribuir a la mitigación de los impactos ambientales de la industria.

UN Water (2021): El estudio de UN Water subraya la urgencia de adoptar prácticas sostenibles en todos los sectores, incluyendo la industria siderúrgica, para garantizar la disponibilidad de agua para las generaciones futuras. Proporciona una visión global de los desafíos hídricos y destaca la importancia de la gestión responsable de los recursos hídricos en un contexto de cambio climático.

Estos estudios han contribuido significativamente a la comprensión de la gestión de aguas residuales en la industria siderúrgica, abordando aspectos ambientales, económicos y sociales, y proporcionando evidencia sólida para la importancia de prácticas sostenibles en este sector industrial.

Este estudio se basa en la teoría de la gestión sostenible de recursos hídricos en la industria, que postula que la adopción de prácticas responsables en la gestión de aguas residuales puede conducir a la reducción de la contaminación del agua, la conservación de recursos hídricos y ahorros económicos significativos. La presente investigación se desarrolló con materiales y equipos de laboratorio certificado en los meses de enero 2020 a noviembre 2021. El estudio es una investigación experimental, considerando que se va a manipular una de las variables, a la que se denomina causal o independiente, en este caso es la neutralización.

Los datos recopilados fueron procesados y examinados a través de la estadística descriptiva y pruebas de normalidad, calculando los porcentajes de las variables que cumplen o estén dentro de los estándares correctos para cada una de las mediciones o ítems. A fin de poder interpretar los resultados de las variables dependientes e independientes necesarios para establecer las conclusiones de acuerdo a los objetivos establecidos.

El objetivo principal de este estudio es evaluar de manera integral el impacto ambiental y económico de la neutralización de aguas ácidas y su reutilización como agua industrial en el proceso de galvanizado en una empresa siderúrgica. Se busca proporcionar evidencia sólida que respalde la importancia de estas

prácticas en términos de sostenibilidad ambiental y económica, y ofrecer recomendaciones para su implementación eficiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este estudio, se empleó el método de investigación experimental. En este contexto, el investigador tenía la intención de manipular una de las variables, conocida como variable causal o independiente, que en este caso específico se refiere a la neutralización de las aguas ácidas.

Siguiendo la definición de Babbie (2014), el experimento implicaba dos acepciones fundamentales. La primera se refería a la elección o ejecución de una acción específica, mientras que la segunda implicaba la observación de las consecuencias resultantes de dicha acción (p. 129).

Diseño o Esquema de la Investigación

Para llevar a cabo esta investigación, se empleó un diseño preexperimental de sucesión o en línea con un solo grupo. Este diseño, como señalaron Hernández, Fernández y Baptista (2014), ofrecía ventajas significativas sobre otros enfoques preexperimentales, como el estudio de caso con una sola medición, ya que permitía establecer un punto de referencia inicial para evaluar el nivel del grupo en las variables dependientes antes de la aplicación del estímulo. Esto facilitó el seguimiento del grupo a lo largo del proceso.

Es importante destacar que el diseño preexperimental implicó trabajar con un solo grupo, lo que lo convirtió en una elección apropiada como una primera aproximación al proceso de investigación (Hernández, Fernández y Baptista, 2010).

Método Analítico y de Cuantificación de Metales

En el contexto de esta investigación, se empleó el método analítico de cuantificación de metales, específicamente el método de Metales por ICP (Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente). Este método se eligió para obtener datos sobre los diferentes metales presentes en las soluciones.

Además de evaluar los parámetros físicos y químicos, se realizó un análisis exhaustivo de la composición química de los efluentes en cada etapa del proceso a nivel de laboratorio. Durante este análisis, se observaron niveles elevados de acidez en la mezcla de soluciones ácidas, así como la presencia de metales como hierro, manganeso y zinc, que ingresaron al proceso de tratamiento.



Técnicas e Instrumentos de la Investigación

Técnicas: Las técnicas utilizadas en esta investigación fueron principalmente observacionales y documentales.

- *Recolección de Muestras:* Se verificó que la poza de almacenamiento de muestras estuviera homogeneizada y se extrajeron 10 muestras de 100 cc al azar de las aguas ácidas generadas en el proceso de galvanizado en una empresa siderúrgica. Estas muestras se sometieron a un pretest antes y después del proceso de neutralización para comparar los resultados.
- *Entrevistas Personales:* Se realizaron entrevistas con colaboradores para evaluar el comportamiento del proceso en sus diferentes etapas y garantizar que el ácido almacenado en la poza fuera la única fuente de muestra.
- *Registro e Historial de Precios de Disposición de Residuos:* Se obtuvieron datos de precios por la disposición de residuos a través del sistema SAP (Systems, Applications, Products in Data Processing).

Instrumentos: Los instrumentos mecánicos utilizados para la recolección de datos incluyeron:

- *PH-METRO OAKTON: N° Serie 375251*
- *Turbidímetro 210Q: N° Serie 13030C024270*
- *Conductímetro Ultrameter LL4P: N° Serie 4211803*
- *Colorímetro Hach DR890: N° serie 12049BC22026*
- *Medidor Multiparámetro ULTRAMETER II 6PFC N° Serie 6270921*
- *Termómetro TRACEABL*
- *Balanza Analítica OHAUS N° Serie 8332030161*
- *Espectrómetro de Absorción Atómica: N° Serie 040N7021305*

Estos instrumentos se utilizaron para medir y analizar los parámetros físicos y químicos de las muestras, lo que proporcionó datos esenciales para la investigación.

Población: La investigación se llevó a cabo en una Planta de Galvanizado de una empresa siderúrgica. La población en estudio estuvo constituida por todas las aguas ácidas generadas en el proceso de galvanizado de esta empresa y almacenadas en una poza única.

Muestra: Se seleccionaron aleatoriamente un total de 10 muestras de 100 cc de la poza de almacenamiento de aguas ácidas generadas en el proceso de galvanizado de la empresa siderúrgica. Estas muestras se sometieron a un pretest antes y después del proceso de neutralización para comparar los resultados obtenidos. La selección de la muestra se llevó a cabo de manera aleatoria, garantizando que todos los elementos de la población tuvieran la misma probabilidad de ser seleccionados (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 175).

Actividades del Proceso Investigativo

Las actividades clave del proceso investigativo incluyeron:

1. Habilitación de frascos para la toma de muestra.
2. Toma de muestras de aguas ácidas en la poza de almacenamiento.
3. Determinación de los parámetros físicos y químicos del agua ácida.
4. Interpretación y análisis de los resultados para su comparación con los estándares establecidos para el uso industrial.
5. Neutralización de las aguas ácidas para ajustar el pH y tratar los parámetros fuera de rango.
6. Oxidación de especies reducidas de hierro y manganeso utilizando oxígeno del aire.
7. Sedimentación de los sólidos precipitados en etapas anteriores con la ayuda de floculantes.
8. Concentración de sólidos, particularmente aquellos generados durante la oxidación de hierro y manganeso.
9. Evaluación ambiental mediante la Matriz ICAS (Índice de Conformidad de Aspectos Significativos) y evaluación económica mediante el cálculo de los indicadores VAN (Valor Actual Neto) y TIR (Tasa Interna de Retorno) basados en la calidad del agua obtenida.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Planta de Tratamiento de Aguas Ácidas, Alcalinas y Ácido Gasto ha procesado con éxito soluciones derivadas de los procesos químicos superficiales aplicados a los productos siderúrgicos en las Plantas de Tubos y Viales. La propuesta se ha centrado en el tratamiento de estos efluentes químicos con el objetivo de neutralizar su nivel de acidez y reducir la presencia de metales pesados, los cuales han sido precipitados como especies insolubles. Estas especies posteriormente fueron separadas del agua tratada. Además, los residuos sólidos resultantes han sido concentrados, secados y dispuestos de manera segura

en un área de disposición final adecuada. Por otro lado, las soluciones o aguas tratadas han cumplido con las normas vigentes en cuanto a calidad química y han sido almacenadas para su posterior reutilización.

Consideraciones Generales y Específicas

El caudal total a tratar asciende a 6.0 m³/hr, de los cuales 0.1 m³/hr corresponden al ácido gasto y 5.9 m³/hr corresponden a aguas ácidas y alcalinas.

Los siguientes parámetros se han asumido en el proceso:

Lechada de cal: 10%.

Oxidación del ferroso: 90%

Flujos Volumétricos de Efluentes Ácidos de Entrada

De acuerdo con los análisis realizados, se ha obtenido la composición del ácido gasto (GT-3 y GV-3) y de las aguas Ácidas y Alcalinas (GT-1, GT-2, GT-4, GV-01 y GV-4) en un flujo volumétrico conjunto de 6.0 m³/hr. A continuación, se presenta la composición detallada de esta mezcla.

En relación con el diagnóstico inicial del impacto ambiental generado por las aguas ácidas del proceso de galvanizado en la industria siderúrgica, se ha observado lo siguiente:

Cuadro 01: Composición Detallada de la Mezcla de Ácido Gasto y Aguas Ácidas y Alcalinas

Parámetros	Pre-Test	Unidades
Cloruros	3385.6	mg/lt
Fierro (Disuelto)	1731.58	mg/L
Manganeso	5.14	mg/L
Zinc	125.78	mg/L
Fósforo	6.86	mg/L
Cobre Total	1.76	mg/L
Molibdeno	0.22	mg/L
Estaño	0.82	mg/L
Plomo Total	0.019	mg/L
Sodio	4273.19	mg/L
Ácido (CaCO ₃)	3663.57	mg/L

(1) Decreto Supremo N° 001-2010-MINAM. Aprobación del inicio del proceso de transferencia de funciones de supervisión, fiscalización y sanción en materia ambiental del Osinergmin al OEFA. Publicado en el Diario Oficial El Peruano el 21 de enero de 2010.

(2) Decreto N° 883. Normas para la Clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de Agua y Vertido de Efluentes Líquidos de Venezuela.

(3) D.S. N° 33-95. NICARAGUA. Disposiciones para el control de la contaminación proveniente de las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias. Capítulo VII. Artículo 45 (Descargas provenientes de la industria de hierro y acero).

Los flujos individuales de ácido gasto y aguas ácidas y alcalinas se han determinado de la siguiente manera:

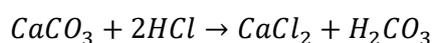
- Ácido Gasto: 0.1 m³/hr
- Agua Ácida Alcalina: 5.9 m³/hr
- Total: 6.0 m³/hr

Como señala Adurive (2006), es importante destacar que estas aguas presentan un nivel variable de toxicidad para los seres humanos, la fauna y la flora, ya que contienen metales disueltos y componentes orgánicos solubles e insolubles. Estos elementos, en su mayoría, provienen de diversas fuentes, como procesos siderúrgicos, mineros, de concentración de minerales, la industria textil y del calzado, así como de presas de residuos y escombreras de mina. En concentraciones elevadas, estos elementos pueden tener efectos perjudiciales sobre la actividad biológica, causar la contaminación de los cursos de agua y potencialmente causar daños a las estructuras de ingeniería.

Cálculo del consumo de cal

Para el proceso de diseño y ejecución de la neutralización de aguas ácidas de una empresa siderúrgica se recurrieron a las siguientes reacciones;

La acidez de la mezcla de soluciones ácidas que ingresarán a la planta registra 3663.57 mg/lit como CaCO₃. Por lo tanto, se lleva a concentración de ácido clorhídrico, de acuerdo con la siguiente reacción:



Por lo tanto, la concentración de HCl (en mg/lit) será:



$$3663.57 \frac{mg}{lt} \times \frac{73}{100} \frac{grHCl}{grCaCO_3} = 2674 \frac{mg}{lt} \text{ de HCl}$$

Para calcular la concentración de CaO neutralizante, se emplea la siguiente reacción:

$$2674 \frac{mg}{lt} \times \frac{56}{73} \frac{grCaO}{grHCl} = 2051.3 \frac{mg}{lt}$$

Para tener un valor numérico de cantidad de cal, dividiremos la capacidad de neutralización (como CaO) entre 0.8, que se considera como eficiencia de reacción y la pureza de la cal.

$$Cal = \frac{2051.3 \frac{mg}{lt}}{0.8} = 2564.13 \frac{mg}{lt} = 2.6 \frac{gr}{lt}$$

Se entiende que, con esta dosificación de cal, será posible alcanzar 8.5 de PH.

$$Consumo \text{ de Cal por mes} = 2.6 \frac{gr}{lt} \times \frac{1000lt}{1m^3} \times \frac{1ton}{10^6gr} \times 6.0 \frac{m^3}{hr} \times 24 \frac{hr}{1día} \times 30 \frac{días}{1mes}$$

$$Consumo \text{ de Cal por mes} = 11.23 \frac{ton}{mes} \text{ y por día} = 0.375 \frac{ton}{día}$$

Preparación de lechada de cal

Para preparar lechada de cal, se utilizará cal viva a granel al 83%.

Para el caso que se tenga que realizar un ajuste de PH, se asumirá una gravedad específica de la cal en 3.2 ton/m³ (gr/cm³) que a un 10% de sólidos (en pulpa). Corresponde a un volumen de lechada de 3.5m³/día, que deberán ser preparados.

El flujo de lechada de cal, por hora, será:

$$Flujo \text{ de Lechada al Proceso} = \frac{3.50 \frac{m^3}{día}}{24 \frac{hr}{día}} = 0.15 \frac{m^3}{hr}$$

El factor empleado para convertir toneladas de cal a volumen ha sido 9.313 m³/tonelada de sólido.

Así, como afirma Cruz (2019) la precipitación química con lechada de cal es uno de los medios más efectivos para el tratamiento de efluentes con altas concentraciones de metales. Después de ajustar el pH a condiciones alcalinas o básicas, los iones metálicos disueltos se convierten en compuestos insolubles por reacción química con un agente precipitante.

Oxidación del ferroso y del manganeso

Para la oxidación del ferroso, se asumirá que el 90% de esta especie reducida, se oxida en esta etapa, esto es:

$$F^{++} \text{ a Oxidarse} = 1732 \frac{mg}{lt} \times 0.90 = 1558.8 \frac{mg}{lt}$$

De otro lado, hay que efectuar un reajuste de concentración de ferroso, por el volumen que aporta el agua que viene con la lechada de cal (0.15m³/hr). Por lo tanto, se tiene:

$$1558 \frac{mg}{lt} \times \frac{6.00m^3/hr}{6.15m^3/hr} = 1520 \frac{mg}{lt}$$

Para determinar el requerimiento de oxígeno, se utilizará la siguiente relación:

$$O_2 = Q_w \times Fe \times (5.16 \times 10^{-4})$$

Donde:

$$O_2 = \frac{KgO_2}{hr}$$

$$Q_w = \text{Flujo Volumétrico de agua ácida} \left(\frac{l}{s} \right)$$

$$Fe = \text{Concentración de ferroso en} \frac{mg}{lt}$$

Reemplazando, tendremos lo siguiente:

$$O_2 = \left(1.70 \frac{l}{s} \right) \times \left(1520 \frac{mg}{lt} \right) \times (5.16 \times 10^{-4})$$

$$O_2 = 1.33 \frac{KgO_2}{hr}$$

Para calcular la cantidad de aire, se utilizará la siguiente relación

$$Q_A = \frac{6.324 \times O_2}{E}$$

Donde:

$$Q_A = \text{Es la demanda total de aire en} \frac{m^3}{min}$$

$$O_2 = \text{Es la demanda teórica de oxígeno en} \frac{KgO_2}{hora}$$

$$E = \text{Es la eficiencia de transferencia de Oxígeno en la pulpa}$$



Reemplazando valores:

$$Q_A = \frac{6.324 \times 1.33}{0.4} = 21.0 \frac{m^3}{min}$$

Para considerar el manganeso, se redondeará la cifra de aire a 22.0 m³/min

$$Q_A = 22 \frac{m^3}{min} \times 60 \frac{min}{hr} = 1320 \frac{m^3}{hr}$$

Generación y balance de sólidos en el proceso

El cálculo de sólidos precipitados se hará en base a los procesos químicos que ocurren en los tanques de neutralización y oxidación en conjunto.

Los límites ambientales obtenidos para la descarga de efluentes conteniendo metales pesados fueron satisfactorios. Se obtuvo una eficiencia de precipitación mayor que 99,7% para todos los metales estudiados Zn, Fe férrico, Cu y Ni. (Ribeiro, B et. al, 2008).

Detalladamente, los sólidos estarán constituidos por lo siguiente:

- Sólidos Precipitados como Hidróxidos.
- Sólidos Suspendidos que traen las soluciones ingresantes.
- Sólidos Precipitados por insolubilidad de calcio y sulfato.
- Sólidos Insolubles que tiene consigo la cal.

Sólidos precipitados como hidróxidos.

$$Fe = 1732 \frac{mg}{lt} \times 0.999 \times \frac{107}{56} \times 6.0 \frac{m^3}{hr} \times 1000 \frac{lt}{1m^3} \times \frac{1gr}{1000mg} \times \frac{1kg}{1000gr}$$

$$Fe \text{ en } Fe(OH)_3 = 19.8 \frac{Kg}{hr}$$

$$Zn = 126 \frac{mg}{lt} \times 0.999 \times \frac{99}{65} \times 6.0 \frac{m^3}{hr} \times 1000 \frac{lt}{1m^3} \times \frac{1gr}{1000mg} \times \frac{1kg}{1000gr}$$

$$Zn \text{ en } Zn(OH)_2 = 1.15 \frac{Kg}{hr}$$

$$Mn = 5.0 \frac{mg}{lt} \times 0.999 \times \frac{123}{55} \times 6.0 \frac{m^3}{hr} \times 1000 \frac{lt}{1m^3} \times \frac{1gr}{1000mg} \times \frac{1kg}{1000gr}$$

$$Mn \text{ en } Mn(OH)_4 = 0.07 \frac{kg}{hr}$$

$$\text{Subtotal de sólidos} = 21.0 \text{ kg/hr}$$



Sólidos suspendidos que traen las soluciones ingresantes.

$$TSS = 200 \frac{mg}{lt} \times 6.0 \frac{m^3}{hr} \times 1000 \frac{lbs}{1m^3} \times \frac{1gr}{1000mg} \times \frac{1kg}{1000gr}$$

$$TSS = 1.2 \frac{kg}{hr}$$

Sólidos precipitados por insolubilidad de calcio y sulfato:

Se asume como 5% del peso de los sólidos precipitados como hidróxidos. Por lo tanto:

$$Insolubles: 21.0 \frac{kg}{hr} \times 0.05 = 1.05 \frac{kg}{hr}$$

Sólidos insolubles que trae consigo la Cal:

Se asume como un 17% del peso de la cal utilizada, por lo tanto, tendremos:

$$Kg \text{ de Cal} = 11.26 \frac{ton}{mes} \times \frac{1mes}{30dias} \times \frac{1000kg}{1ton} \times \frac{1dia}{24horas} = 16 \frac{kg}{hr}$$

$$Insolubles \text{ en Cal} = 16.0 \times 0.17 = 2.72 \frac{kg}{hr}$$

$$Sólidos \text{ Totales: } 21.0 + 1.2 + 1.05 + 2.72 = 25.97$$

$$Sólidos \text{ Totales: } \frac{26Kg}{hr}$$

Dimensionamiento de equipos de proceso

Tanque de neutralización

Flujos Volumétricos Ingresantes al tanque: $6.0 + 0.15 = 6.15 \text{ m}^3/\text{hr}$

Tiempo de retención: 40 min

Volumen del tanque: 110% de la pulpa de reacción

$$V_{tn} = \frac{6.15 \frac{m^3}{hr} \times 40 \text{ min} \times \frac{1hr}{60 \text{ min}}}{0.9} = 4.6 \text{ m}^3$$

$$V_{tn} = \frac{\pi D^3}{4}$$

$$D = H$$

$$D = 1.7m \text{ Y } H = 2.8m$$

Tanque de oxidación:

Flujo Volumétrico de pulpa: $6.15 \frac{m^3}{hr}$



Flujo Volumétrico de Aire: $1320 \frac{m^3}{hr}$

Tiempo de Retención: 50 minutos

Volumen Ocupado por Aire: 15%

Borde Libre: 10%

$$V_{to} = \frac{6.15 \frac{m^3}{hr} \times 50 \text{ min} \times \frac{1hr}{60 \text{ min}}}{0.85 \times 0.9} = 6.7 \text{ m}^3 = 7.0 \text{ m}^3$$

$$V_{to} = \frac{\pi D^3}{4}$$

$$D = H$$

$$D = 2.5m \text{ Y } H = 2.5m$$

✓ **Sedimentador/Clarificador:**

Flujo Volumétrico de Solución: $6.15 + 0.068 = 6.22 \text{ m}^3/hr$

Rise Rate (V_{rr}): 1 m/hr (partícula de tamaño de precipitado)

$$A = \frac{Q}{V_{rr}}$$

$$A = \frac{6.22 \frac{m^3}{hr}}{1.0 \frac{m}{hr}} = 6.22 \text{ m}^2$$

$$A = 6.22 \text{ m}^2 \times 1.1 = 6.84 \cong 7.0 \text{ m}^2$$

$$V_{tn} = \frac{\pi D^3}{4}$$

$$D = H$$

$$D = 3m \text{ Y } H = 2.5m$$

Sistema de adición de floculantes

Generalmente, se compra en paquete con los siguientes datos.

$$\text{Consumo} = 0.03 \frac{kg}{hora} + 0.324 \frac{kg}{hora} = 0.354 \frac{kg}{hora}$$

Se prepara floculante al 0.5% y se dosifica a una concentración de 5ppm

Concentrador de sólidos

Flujo Volumétrico de pulpa: 0.55 m³/hora



Concentración de sólidos entrante: 5%

Concentración de sólidos saliente: 10%

Rise Rate (V_{rr}): 0.3 m/hr (asumido)

$$A = \frac{0.55m^3/hr}{0.3m/hr} = 1.83m^2$$

$$A = 1.83m^2 \times 1.2 = 2.2 \cong 2.5m^2$$

$$V_{tn} = \frac{\pi D^3}{4}$$

$$D = H$$

$$D = 2m \quad Y \quad H = 2m$$

Lecho de secado

Flujo Volumétrico de pulpa: 0.27 m³/hora

Concentración de sólidos entrante: 10%

Concentración de sólidos saliente: 20%

Dimensiones de la Cancha: L:14.0m x A:6.0m

Sistema de suministro de aire

Flujo de Aire Requerido: 1320 m³/hora

Dosificación de aditivos (floculantes)

Se asume que el floculante se adicionará en una concentración de 5ppm, que es igual también a 5mg de floculante/litro de solución, convirtiendo a kg/hora de floculante, tendremos:

$$5.0 \frac{mg}{lt} \times 1000 \frac{lt}{m^3} \times \frac{1kg}{10^6mg} \times 6.15 \frac{m^3}{hora} = 0.031 \frac{kg}{hora}$$

El floculante se prepara al 0.5% en agua dulce y luego se diluye 10 veces para dosificarlo.

$$\text{Peso de Solución: } \frac{0.031 \frac{kg}{hr}}{0.005} = 6.2 \frac{kg}{hora} \text{ de solución.}$$

(99.5% de agua + 0.5% de floculante disuelto)

Como la solución es prácticamente agua, su densidad será 1kg/lt. En ese sentido, el flujo volumétrico de solución concentrada será:



$$\text{Flujo Volumétrico: } \frac{6.2 \frac{kg}{hr}}{1.0 \frac{kg}{lt}} = 6.2 \frac{lt}{hora}$$

Para dosificarlo, se diluye 10 veces, de modo que el flujo volumétrico de dosificación será:

$$6.2 \frac{lt}{hora} \times 11 = 68.2 \frac{lt}{hora} = 0.068 \frac{m^3}{hora}$$

El peso del floculante sólido será:

$$0.031 \frac{m^3}{hora} \times 24 \frac{horas}{1 dia} = 0.744 \frac{kg}{dia} \times 30 \frac{dias}{1 mes} = 22.32 \frac{kg}{mes}$$

Evaluación Económica para la disposición de residuos.

Precio de la tonelada de residuos peligrosos: $350 \frac{US\$}{ton}$

Precio de la tonelada de residuos no peligrosos: $70 \frac{US\$}{ton}$

Capacidad de Tina: 4 tinas (Capacidad de $10m^3$ cada tina)

Frecuencia de cambio: Quincenal

Capacidad de agua almacenada:

$$80 \frac{m^3}{mes} * 1 \frac{ton}{m^3} * 350 \frac{US\$}{ton} = 28,000 \frac{US\$}{mes}$$

Proceso Planta de Tratamiento:

$$26 \frac{kg}{h} * 1 \frac{ton}{1000 kg} * 150 \frac{US\$}{ton} * 720 \frac{h}{mes} = 2,808 \frac{US\$}{mes}$$

Evaluación del VAN, TIR y Tiempo De Retorno De La Inversión.

Respecto al diagnóstico inicial del impacto económico que generan las aguas ácidas del proceso de galvanizado Siderúrgico como línea base se observa lo siguiente:

Para una planta de $26 \frac{kg}{h}$ se tiene una inversión de 1,000,000 US\$ (HANILEST EG PERÚ, 2016)

Costos Operativos: $32,000 \frac{US\$}{año}$

Operador: $12,000 \frac{US\$}{año}$

Mantenimiento: $15,000 \frac{US\$}{año}$

Productos Químicos: $5,000 \frac{US\$}{año}$



Flujo de Caja:

Tasa de Descuento: 15%

Cuadro 02: Flujo de Caja

Año	Inversión (US\$)	Ingresos (US\$)	Costos Operativos (US\$)	Neto (US\$)	Flujo de Caja Acumulado (US\$)
0	-1,000,000.00	0.00	0.00	-1,000,000.00	-1,000,000.00
1	-	336,000.00	32,000.00	304,000.00	-696,000.00
2	-	336,000.00	32,000.00	304,000.00	-392,000.00
3	-	336,000.00	32,000.00	304,000.00	-88,000.00
4	-	336,000.00	32,000.00	304,000.00	216,000.00
5	-	336,000.00	32,000.00	304,000.00	520,000.00
6	-	336,000.00	32,000.00	304,000.00	824,000.00
7	-	336,000.00	32,000.00	304,000.00	1,128,000.00
8	-	336,000.00	32,000.00	304,000.00	1,432,000.00
9	-	336,000.00	32,000.00	304,000.00	1,736,000.00
10	-	336,000.00	32,000.00	304,000.00	2,040,000.00

VAN, TIR y Tiempo de Retorno de la Inversión

VAN	525,705.66	US\$
TIR	28%	
Tiempo de retorno	3.3	Años

Análisis de Factibilidad

VAN > 0: US\$ 525,705.66 > 0 (La tasa de descuento elegida generará beneficios)

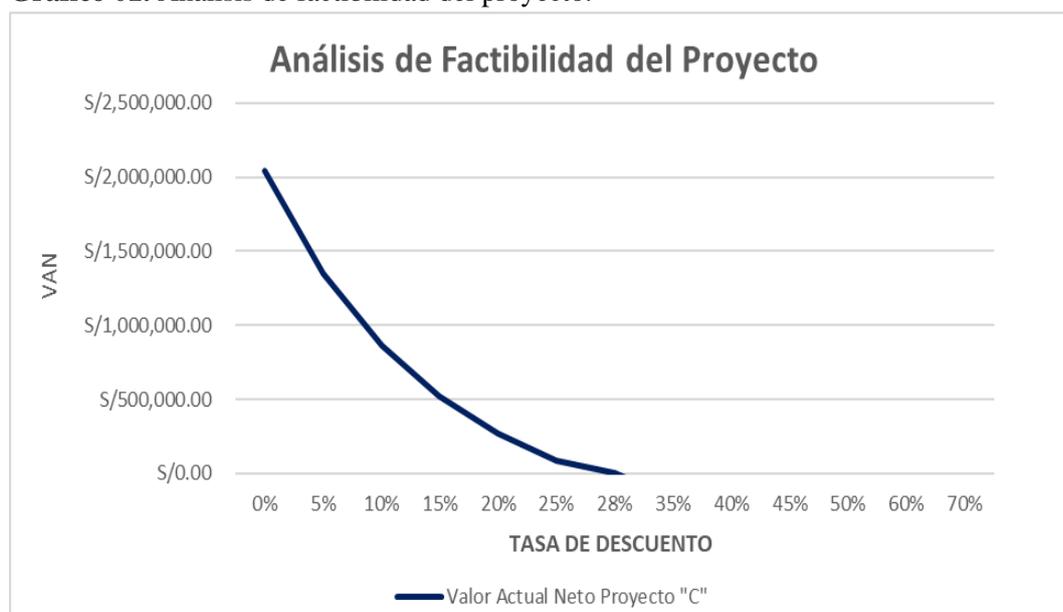
TIR > Tasa de Descuento: 28% > 15% (El proyecto de inversión será aceptado. En este caso, la tasa de rendimiento interno que obtenemos es superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida a la inversión.)

Tasa de Descuento	Valor Actual Neto Proyecto
0%	S/2,040,000.00



5%	S/1,347,407.42
10%	S/867,948.40
15%	S/525,705.66
20%	S/274,511.51
25%	S/85,432.99
28%	S/0.00
35%	-S/174,626.99
40%	-S/266,274.43
45%	-S/340,887.44
50%	-S/402,543.65
60%	-S/497,941.44
70%	-S/567,868.49

Gráfico 01. Análisis de factibilidad del proyecto.



Cuadro de resultados Post Test

A continuación, se observa la caracterización de las aguas ácidas del proceso de galvanizado antes y después de la neutralización. Asimismo, se detalla los valores del proceso al comparar la calidad de las aguas ácidas siderúrgicas con los estándares de calidad ambiental.

Cuadro 03: Cuadro de Resultados Pre y Post Test

Parámetros	Pre Test	Post Test	Unidades	LMP		
				1	2	3
pH	5	8.5		6 -- 9	---	---
Sólidos Totales en Suspensión	200	27	mg/L	50	---	50
Aceites y Grasas	0.2	0.2	mg/L	20	20	30
Cianuro Total	---	---	mg/L	1	---	---
Arsénico Total	<0,0004	<0,0004	mg/L	0.1	---	---
Cadmio Total	0.0013	0.0013	mg/L	0.05	---	---
Cromo Total	0,0116	0,0116	mg/L	0.10	---	---
DBO	7.2	7.2	mg/L	---	60	---
DQO	12.1	12.1	mg/L	---	350	200
Mercurio Total	<0,001	<0,001	mg/L	0.002		
Cloruros	3385.6	3385.6	mg/L	---	---	---
Hierro (Disuelto)	1731.58	1.73	mg/L	2	---	---
Manganeso	5.14	0.005	mg/L	---	---	1.5
Zinc	125.78	0.13	mg/L	1.5	10	1
Fósforo	6.86	0.16	mg/L	---	---	---
Cobre Total	1.76	0.12	mg/L	0.5	1	---
Molibdeno	0.22	0.01	mg/L	---	---	---
Estaño	0.82	0.01	mg/L	---	---	---
Plomo Total	0.019	0.0106	mg/L	0.2	0.5	0.6
Sodio	4273.19	4273.19	mg/L	---	---	---
Níquel	0.26	0.26	mg/L	---	2	2

En este contexto, Cruz (2019) explica que la neutralización química es la adición de sustancias alcalinas para neutralizar la acidez del agua, así como la acidez resultante de la hidrólisis y precipitación de los metales disueltos debido al aumento del pH. Este proceso podría ser como la etapa de pretratamiento o acondicionamiento previo a un proceso de precipitación. También menciona que, para poder aplicar la técnica de neutralización en un flujo residual, va a depender de 3 factores como el pH exigido, el DBO y la acidez o alcalinidad del flujo a tratar.

Actualmente, el sector no ha establecido valores de comparación específicos para la actividad siderúrgica, sin embargo se tomaron normas referenciales internacionales y nacionales que regulan los efluentes de la actividad siderúrgica: el Decreto Supremo N° 001-2010-MINAM, que aprueba el inicio

del proceso de transferencia de funciones de supervisión, fiscalización y sanción en materia ambiental del Osinergmin al OEFA, publicado en el Diario Oficial El Peruano el 21 de enero de 2010; Decreto N° 883. Normas para la Clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de Agua y Vertido de Efluentes Líquidos de Venezuela y el D.S. N° 33-95. Nicaragua. Disposiciones para el control de la contaminación provenientes de las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias. Capítulo VII. Art. 45 (Descargas provenientes de la industria de hierro y acero

El impacto ambiental constituye un cambio que ocurre en el medio ambiente como resultado de acciones en todos o parte de los aspectos ambientales de la organización. Es necesario aclarar que el impacto ambiental puede ser beneficioso o perjudicial para el medio ambiente y el impacto económico. Están diseñados para medir el impacto y los beneficios de otras actividades que pueden tener impactos socioeconómicos, incluida la inversión en infraestructura, la organización de eventos y los cambios en la legislación.

CONCLUSIONES

La neutralización de aguas ácidas y su reutilización como agua industrial en el proceso de galvanizado de una empresa siderúrgica demuestra un impacto ambiental reducido y ventajas económicas notables. Se calcula un Valor Actual Neto (VAN) de 525,3705.66, una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 28%, y un período de recuperación (PayBack) de 3.3 años. Estos indicadores respaldan la viabilidad de la reutilización del agua industrial. Además, la Matriz ICAS muestra un valor de 20, lo que indica su significancia, y el proceso de neutralización de aguas ácidas alcanza un nivel controlado con un valor de 5 en la matriz de 5 x 5.

El diagnóstico inicial revela que los principales contaminantes en las aguas ácidas del proceso de galvanizado siderúrgico son los metales, con concentraciones fuera de los límites máximos permisibles. Se identificaron niveles significativos de hierro (1,731 mg/l), zinc (5.14 mg/l) y manganeso (125.78 mg/l). Además, el gasto por disposición de los residuos generados sin tratamiento asciende a 28,000 US\$/mes.

El diseño de ejecución del proceso de neutralización se detalla en el Diagrama de Flujo de Planta de Tratamiento de Aguas Ácidas, Alcalinas y Ácido Gasto (Anexo 7). Este diseño incorpora técnicas de



remoción de metales pesados y cumple con las normativas nacionales e internacionales que regulan la actividad siderúrgica.

El estudio físico, químico y biológico de las aguas ácidas antes y después de la neutralización muestra que se requiere una concentración de CaO de 2,051 mg/l para elevar el pH de 5.0 a 8.5 y precipitar el hierro, zinc y manganeso. Los sólidos generados durante la neutralización, incluidos los precipitados y suspendidos, deben ser gestionados adecuadamente, con un total de 26 kg/h de sólidos totales.

El proceso de neutralización cumple con los estándares de calidad ambiental para la reutilización del agua industrial, según las normas internacionales y nacionales.

La investigación demuestra que la neutralización de aguas ácidas en siderúrgicas reduce el impacto ambiental y genera beneficios económicos al disminuir el gasto por disposición de residuos de 28,000 US\$/mes a 2,808 US\$/mes con tratamiento de neutralización.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brown, A. R., & Green, L. S. (2019). Environmental Implications of Industrial Water Recycling. *Environmental Science & Technology*, 43(9), 3487-3494.

Johnson, R. W., et al. (2020). Economic Benefits of Water Recycling in the Steel Industry. *Journal of Environmental Economics and Management*, 78, 60-76.

Jones, P. Q. (2021). Water Resource Management in the Steel Industry. *Environmental Management*, 54(3), 409-420.

Smith, J. K., & White, M. L. (2017). Industrial Water Pollution and Abatement Costs. *Journal of Environmental Management*, 85(4), 775-791.

Córdova, F. D. (2021). Diseño de la línea de aducción y red de distribución para el sistema de abastecimiento de agua potable en el caserío de Barro Blanco, distrito de Uchiza, provincia de Tocache, departamento San Martín–2018.

Dávila, B., & Bayona, N. (2018). Diagnóstico del tratamiento del efluente de una empresa de galvanoplastia. Colombia, Bogotá D.C. Recuperado de <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/861/1/D%C3%A1vila%20Giraldo%2C%20Beatriz%20Andrea%20-2018.pdf>



DECRETO SUPREMO N°010-2010-MINAM (21 de agosto del 2010). Límites Máximos Permisibles Para la Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicos. Diario Oficial El Peruano.

Recuperado de <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-010-2010-minam/>

De la Cruz, Y. (2019). Efecto de la dosificación de lechada de cal en la remoción del manganeso del agua de mina de la UM Huarón 2018. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniería Ambiental.

Universidad Continental. Recuperado de:

https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/5636/1/IV_FIN_107_TE_De_La_Cruz_Lima_2019.pdf

FP E INGENIERIA ELÉCTRICA (2015). Concepto de Fluido. Presión, Caudal, Humedad. Recuperado de:

<http://fpeingenieriaelectrica.blogspot.com/2015/10/concepto-de-fluido-presion-caudal.html>

García Bernal, E., Pérez de los Ríos, A., Hernández Fernández, F. J., Larrosa Guerrero, A., Ginestá Anzola,

A., Sánchez Segado, S., ... & Godínez Seoane, C. (2011). Aplicaciones de los líquidos iónicos en la industria química.

Hanilest EG Perú. (2016). Suministro e Instalación de una PCTAR. Recuperado de:

<https://pdfcoffee.com/cotizacion-ptar--2-pdf-free.html>

Herrera, Z. L. (2000). Procesos de neutralización de residuos industriales líquidos. Chile.

HEURA. (2022). HEURA Gestión Ambiental. Obtenido de [https://heura.net/reutilizacion-de-aguas-](https://heura.net/reutilizacion-de-aguas-residuales-industriales/#:~:text=La%20reutilizaci%C3%B3n%20y%20el%20reciclaje,nuevo%20en%20un%20proceso%20industrial)

[residuales-](https://heura.net/reutilizacion-de-aguas-residuales-industriales/#:~:text=La%20reutilizaci%C3%B3n%20y%20el%20reciclaje,nuevo%20en%20un%20proceso%20industrial)

[industriales/#:~:text=La%20reutilizaci%C3%B3n%20y%20el%20reciclaje,nuevo%20en%20un%](https://heura.net/reutilizacion-de-aguas-residuales-industriales/#:~:text=La%20reutilizaci%C3%B3n%20y%20el%20reciclaje,nuevo%20en%20un%20proceso%20industrial)

[20proceso%20industrial](https://heura.net/reutilizacion-de-aguas-residuales-industriales/#:~:text=La%20reutilizaci%C3%B3n%20y%20el%20reciclaje,nuevo%20en%20un%20proceso%20industrial)

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION [ISO]. (2015). ISO 14001:2015.

Recuperado de <https://www.nueva-iso-14001.com/pdfs/FDIS-14001.pdf>

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION [ISO]. (2023). ISO 14001:2023.

Sistema Integrado de Gestión: Matriz de Aspectos e Impactos Ambientales. Recuperado de

<https://www.osinergmin.gob.pe/sig/SitePages/V2/ISO14001.aspx>

Medina, R. (2018). Diseño y Operatividad de la planta de neutralización de aguas ácidas de mina Paragsha

cerro de pasco en minera Volcán S.A.A. Trabajo de Investigación para optar el título profesional de

Ingeniero Metalurgista. Universidad Nacional de San Agustín. Recuperado de:



<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/5907/IMmequrj.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Mete, M. R. (2014). Valor actual neto y tasa de retorno: su utilidad como herramientas para el análisis y evaluación de proyectos de inversión. *Fides et Ratio-Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia*, 7(7), 67-85.



Anexo 10: Matriz de Identificación de Aspectos y Evaluación de Impactos Ambientales

Matriz de identificación de aspectos y evaluación de impactos ambientales

Aspectos e impactos ambientales				Criterio de evaluación		Resultado	Significancia	Medida de control	Conformidad Ambiental	Requisitos legales y otros requisitos
Ítem	Etapas del	Tarea	Aspecto Ambiental (Causa)	Impacto Ambiental (Efecto)	Frecuencia (f) o Probabilidad (n)					
		Proceso de Neutralización de aguas ácidas	Consumo de energía eléctrica (alumbrado, equipos, etc.)	Agotamiento de recurso	5	1	5	N	1. Ingeniería 2. Administrativa 3. Medición 2. Apagar los equipos cuando no estén en uso	----
			Consumo de útiles de oficina (papel, etc.)	Agotamiento de recurso	5	1	5	N	2. Usar lo necesario en las tareas.	----
			Consumo de aire comprimido	Agotamiento de recurso	5	1	5	N	2. Cerrar valvulas y verificar posibles fugas.	----
			Consumo de cal cálcica, etc.	Agotamiento de recurso	5	1	5	N	2. Usar lo necesario en las tareas.	----
			Generación de efluente industrial	Contaminación del agua	5	4	20	S	1. Proceso de tratamiento de aguas ácidas y ácido gasto.	C 003 Leg. Efluentes
			Generación de residuos (<i>sedimento de neutralización, trapos, EPPs, embalajes, etc.</i>)	Contaminación del suelo	5	3	15	S	1. Losa , big bag, contenedores, punto de acopio 2. Manejo de residuos del complejo industrial 3. Control de cantidad de sedimento generado.	C 004 Legislación de Residuos 010B - Plan de Manejo Ambiental
			Potencial derrame de ácido, aceites y grasas	Contaminación del suelo	2	2	4	N	1. Kits antiderrame 2. Ficha de emergencias derrames	008 Legislación En emergencias/010B - Plan de Manejo Ambiental
			Potencial incendio explosión.	Contaminación del aire	1	2	2	N	1. Extintor 2. Ficha de emergencias incendio en áreas industriales.	----
			Contaminación del suelo	1	2	2	N	1. Contenedor de residuos 2. Ficha de emergencias incendio en áreas industriales.	----	

Fuente: ISO 14001, (2023)