

Optimización y estandarización de procesos de neutralización química para la mitigación de riesgos y mejora de la eficiencia operativa en el mantenimiento de tanques de almacenamiento de ácido sulfúrico, para la empresa Qualind SAS

Juan Camilo Correa López

Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano

Facultad de Ingeniería, Diseño e Innovación

Programa de Ingeniería Industrial

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de

Ingeniero Industrial

Director

Luis Eduardo González Peña

Bogotá D.C., Colombia

Junio de 2026

Tabla de Contenido

Resumen.....	6
Abstract.....	8
1. Planteamiento del Problema	10
2. Objetivos.....	13
2.1 Objetivo General	13
2.2 Objetivos Específicos	13
3. Justificación.....	14
4. Marco Teórico.....	16
4.1 Marco Conceptual	16
4.2 Marco Teórico	18
4.3 Estado del Arte	22
4.4 Marco Legal	23
5. Metodología.....	25
5.1 Diseño de Investigación	25
5.2 Fases del Trabajo.....	25
5.3 Población objeto de impacto para la investigación	28
5.4 Técnica e Instrumentos.....	28
5.5 Técnicas de análisis de información.....	28
5.6 Presupuesto.....	29
5.7 Cronograma de actividades	29
6. Resultados	31
6.1 Resultados primera fase	31

Estandarización de procesos como mejora operativa

6.2 Resultados segunda fase.....	42
6.3 Resultados tercera fase	43
6.4 Resultados cuarta fase	43
7. Discusión y Conclusiones.....	45
Recomendaciones	46
Impactos esperados.....	47
Bibliografía	48

Lista de Tablas

<i>Tabla 1. Reactivos con características y aplicaciones</i>	20
<i>Tabla 2. Dosificación de producto para proceso de neutralización</i>	21
<i>Tabla 3. Discriminación de las fases del trabajo por objetivos</i>	26
<i>Tabla 4. Presupuesto del estudio investigativo para la empresa</i>	29
<i>Tabla 5. Cronograma de actividades</i>	30
<i>Tabla 6. Conocimiento sobre procedimientos existentes de mantenimiento en tanques</i>	31
<i>Tabla 7. Frecuencia para consultar un procedimiento escrito antes de iniciar la tarea</i>	32
<i>Tabla 8. Comportamiento habitual antes de iniciar la tarea designada</i>	32
<i>Tabla 9. Conocimiento de dosificación del agente neutralizante</i>	35
<i>Tabla 10. Grado de acuerdo con afirmaciones relacionadas a seguridad</i>	36
<i>Tabla 11. Presencia de incidentes durante la realización de la tarea</i>	36
<i>Tabla 12. Dosificación de producto para proceso de neutralización</i>	42
<i>Tabla 13. Indicadores de cumplimiento propuestos</i>	44

Lista de Figuras

Figura 1. Guante de nitrilo expuesto a gotas de ácido sulfúrico al 98%	16
Figura 2. Conocimiento conceptual del proceso de neutralización.....	33
Figura 3. Reconocimiento de agente neutralizante correcto.	34
Figura 4. Protocolo de actuación ante un derrame de ácido sulfúrico	34
Figura 5. Capacitación en riesgo químico	35
Figura 6. Conocimiento del protocolo para reporte de incidentes en la tarea de neutralización	37
Figura 7. Paso a paso visual de neutralización de ácido sulfúrico en tanques de mantenimiento en industria	37
Figura 8. Formato análisis de trabajo seguro	41
Figura 9. Formato permiso de trabajo integral	41
Figura 10. Formato propuesta Procedimiento Operativo Estándar SOP	43

Resumen

El ácido sulfúrico es un químico altamente corrosivo y convierte su manipulación y almacenamiento en una actividad de alto riesgo, especialmente durante los procesos de mantenimiento de tanques, donde la presencia de residuos químicos evidencia el incremento en la probabilidad de incidentes operacionales, afectaciones ambientales y accidentes laborales en empresas de esta índole.

La presente investigación tiene como objetivo optimizar y estandarizar los procesos de neutralización química empleados durante actividades de mantenimiento de tanques de almacenamiento de ácido sulfúrico en la empresa Qualind SAS. El proyecto se fundamenta en conceptos de gestión de riesgo químico, seguridad industrial, procesos de neutralización, aplicación de cálculos estequiométricos para la determinación adecuada de agentes neutralizantes, permitiendo establecer controles operacionales mediante procedimientos estandarizados de seguridad.

Ante el hecho de que el ácido sulfúrico evolucionó hasta llegar a una producción industrial masiva, aumentando riesgos ocupacionales y ambientales; organismos internacionales como OSHA han procurado normatizar su manejo seguro. Hoy, la gestión del riesgo químico prioriza controles de ingeniería, procedimientos técnicos y sistemas de neutralización eficaces para prevenir incidentes industriales.

La investigación se desarrollará bajo un enfoque metodológico mixto con alcance descriptivo y diseño no experimental de corte transversal. Inicialmente se realizará un diagnóstico de las condiciones actuales mediante entrevistas semiestructuradas al personal operativo. Posteriormente se analizarán las variables estequiométricas relacionadas con el proceso de neutralización, considerando factores teóricos imprescindibles. Después, se elaborarán

Estandarización de procesos como mejora operativa

Procedimientos Operativos de Seguridad (POS) fundamentados en criterios técnicos, normativos y de seguridad industrial y finalmente se evaluará el impacto de la aplicación de estos procedimientos a la compañía, por medio de indicadores establecidos.

Se espera que los resultados permitan establecer lineamientos claros para la ejecución segura de actividades críticas relacionadas con la neutralización de ácido sulfúrico, reduciendo riesgos asociados, reprocesos operativos, desperdicio de insumos y tiempos de intervención. Asimismo, el proyecto pretende aportar una metodología aplicable a otros contextos industriales donde se desarrollen operaciones similares con sustancias corrosivas.

Palabras Clave: ácido sulfúrico, neutralización química, riesgo químico, seguridad industrial, mantenimiento industrial, procedimientos operativos.

Abstract

Sulfuric acid is a highly corrosive chemical, making its handling and storage a high-risk activity, especially during tank maintenance processes, where the presence of chemical residues increases the likelihood of operational incidents, environmental impacts, and workplace accidents in companies of this nature.

This research aims to optimize and standardize the chemical neutralization processes used during maintenance activities on sulfuric acid storage tanks at Qualind SAS. The project is based on concepts of chemical risk management, industrial safety, neutralization processes, and the application of stoichiometric calculations for the accurate determination of neutralizing agents, enabling the establishment of operational controls through standardized safety procedures.

Given that sulfuric acid has evolved to the point of mass industrial production, increasing occupational and environmental risks, international organizations such as OSHA have sought to standardize its safe handling. Today, chemical risk management prioritizes engineering controls, technical procedures, and effective neutralization systems to prevent industrial incidents.

The research will be conducted using a mixed-methods approach with a descriptive scope and a non-experimental, cross-sectional design. Initially, a diagnosis of the current conditions will be carried out through semi-structured interviews with operational personnel. Subsequently, the stoichiometric variables related to the neutralization process will be analyzed, considering essential theoretical factors. Next, Safety Operating Procedures (SOPs) will be developed based on technical, regulatory, and industrial safety criteria. Finally, the impact of implementing these procedures on the company will be evaluated using established indicators.

The results are expected to establish clear guidelines for the safe execution of critical activities related to sulfuric acid neutralization, reducing associated risks, operational rework,

Estandarización de procesos como mejora operativa waste of supplies, and intervention times. Furthermore, the project aims to provide a methodology applicable to other industrial contexts where similar operations with corrosive substances are carried out.

Keywords: biomechanical hazards, disorders, disorders, musculoskeletal, symptomatology, drivers.

1. Planteamiento del Problema

El ácido sulfúrico es uno de los compuestos químicos más utilizados a nivel industrial debido a su participación en procesos de producción relacionados con fertilizantes, refinación de petróleo, tratamiento de minerales, fabricación de productos químicos y diferentes operaciones de transformación industrial. Su elevada capacidad reactiva y corrosiva exige condiciones estrictas de almacenamiento, transporte y manipulación, especialmente en instalaciones donde se manejan grandes volúmenes del producto. (Núñez Ortigüela, J.,2021).

Aunque el ácido sulfúrico cumple un papel estratégico dentro de la industria moderna, su manejo implica riesgos significativos tanto para el personal operativo como para el medio ambiente. La exposición directa puede ocasionar lesiones graves en piel, ojos y vías respiratorias, mientras que fallas operacionales como fugas, derrames o procedimientos inadecuados de mantenimiento pueden generar afectaciones ambientales, pérdidas económicas e interrupciones operacionales. Se puede analizar desde diferentes perspectivas. Así:

- Proceso operativo involucrado

Neutralización de remanentes de ácido sulfúrico durante el proceso de parada de planta, donde se realizan los mantenimientos de tanques de almacenamiento.

- Equipos e infraestructura

Tanques de almacenamiento de ácido sulfúrico, recipientes de transferencia, equipos y herramientas. Los residuos químicos adheridos a las superficies internas, líneas de conducción y sistemas de drenaje de estos equipos, incrementa la posibilidad de reacciones exotérmicas, emisión de vapores peligrosos y accidentes asociados a trabajos en espacios confinados.

Los equipos y herramientas de control presentan limitaciones, puesto que el personal técnico suele realizar las mediciones de pH y temperatura de forma manual, también los sistemas de ventilación

Estandarización de procesos como mejora operativa y los equipos de dosificación de agentes neutralizantes se operan bajo criterios empíricos, sin un cálculo estequiométrico previo que regule los caudales y las concentraciones requeridas para mitigar las emisiones gaseosas peligrosas.

- Factor humano

Personal operativo encargado de las actividades de mantenimiento y neutralización química asumen el riesgo directo en la manipulación de los reactivos. Por su parte, el Supervisor/Coordinador de Seguridad y Salud en el Trabajo enfrenta dificultades para evaluar y controlar los riesgos en tiempo real debido a la falta de parámetros técnicos medibles, mientras que el líder de proyectos experimenta puede experimentar retrasos en los tiempos de entrega por la variabilidad de los métodos aplicados. Asimismo, se puede evidenciar una desarticulación con el equipo de gestión ambiental, encargado de fiscalizar la disposición final de los residuos generados en la neutralización.

- Procedimientos y documentación

Se evidencia la ausencia o falta de estandarización de procedimientos operativos escritos para ejecutar la neutralización. En empresas donde se ejecutan mantenimientos de tanques de ácido sulfúrico, estas actividades suelen desarrollarse bajo criterios empíricos o prácticas no documentadas, generando variabilidad en las operaciones, uso ineficiente de agentes neutralizantes y mayores probabilidades de incidentes.

- Gestión de seguridad y control operacional

Existencia de controles como permisos de trabajo y análisis de trabajo seguro, sin embargo, se requiere de establecer procedimientos operativos seguros basados en fundamentos técnicos, cálculos estequiométricos y lineamientos de seguridad industrial.

Estandarización de procesos como mejora operativa

Diversos antecedentes internacionales evidencian la magnitud del problema. Entre ellos se destaca el derrame de ácido sulfúrico ocurrido en el Mar de Cortés, relacionado con procesos de corrosión en sistemas de almacenamiento y conducción, el cual produjo importantes impactos ambientales (Reddit 2019), y cuestionamientos sobre las prácticas de mantenimiento implementadas por la organización responsable. Asimismo, investigaciones sobre exposición ocupacional a sustancias químicas peligrosas han demostrado que la ausencia de controles operacionales adecuados incrementa considerablemente los índices de accidentalidad y afectación a la salud de los trabajadores.

En el contexto colombiano, el manejo de sustancias peligrosas se encuentra regulado mediante normativas orientadas a la prevención de riesgos químicos y gestión de residuos peligrosos. Sin embargo, en muchas organizaciones persisten deficiencias relacionadas con la estandarización de procedimientos, capacitación del personal y control técnico de las operaciones de neutralización química.

A partir de esta problemática surge el siguiente interrogante de investigación:

¿El diseño e implementación de procesos operativos estandarizados pueden mitigar riesgos y mejorar la eficiencia operativa en los mantenimientos de tanques de ácido sulfúrico en la empresa Qualind sas?

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Optimizar el proceso de neutralización química de ácido sulfúrico mediante el diseño y estandarización de procedimientos operativos de seguridad, con el fin de mitigar riesgos humanos y ambientales y mejorar la eficiencia operativa en el mantenimiento de tanques de almacenamiento de ácido sulfúrico.

2.2 Objetivos Específicos

1. Diagnosticar el estado actual de los procedimientos de mantenimiento y los conocimientos técnicos del personal operativo sobre la neutralización del ácido sulfúrico mediante encuestas.
2. Determinar las variables estequiométricas necesarias para una neutralización segura y eficiente de remanentes químicos en tanques de almacenamiento de ácido sulfúrico.
3. Elaborar los Procedimientos Operativos de Seguridad (SOP) para el proceso de neutralización de ácido sulfúrico, mediante la integración lineamientos técnicos y normativos incluyendo uso correcto de EPP, dosificación de agentes y disposición final.
4. Evaluar el impacto de la implementación de los procedimientos operativos de seguridad (SOP) propuestos mediante indicadores de desempeño.

3. Justificación

El ácido sulfúrico constituye una de las sustancias químicas de mayor utilización en el ámbito industrial debido a su participación en múltiples procesos productivos. Sin embargo, sus propiedades corrosivas y altamente reactivas convierten su manipulación en una actividad crítica que requiere controles rigurosos para prevenir accidentes laborales, afectaciones ambientales y pérdidas económicas.

Las actividades de mantenimiento realizadas en tanques de almacenamiento representan uno de los escenarios de mayor exposición al riesgo químico. Durante estas intervenciones pueden presentarse residuos ácidos, liberación de vapores peligrosos, reacciones exotérmicas y condiciones inseguras derivadas de procedimientos inadecuados o falta de estandarización.

A pesar de la existencia de lineamientos generales relacionados con seguridad química y manejo de sustancias peligrosas, aún se evidencian vacíos técnicos en la ejecución de procesos de neutralización. En algunos casos, la dosificación de agentes neutralizantes depende de la experiencia empírica del operario, lo que genera inconsistencias en los resultados, sobreconsumo de materiales y mayores probabilidades de incidentes.

En este sentido, el desarrollo de procedimientos operativos estandarizados adquiere una relevancia significativa, ya que permite establecer criterios claros para la ejecución segura y eficiente de las actividades de neutralización química. La integración de fundamentos estequiométricos, controles operacionales y lineamientos normativos contribuye a reducir la variabilidad de los procesos y fortalecer la gestión del riesgo químico.

La presente investigación resulta pertinente al analizarla desde varios puntos de vista:

Estandarización de procesos como mejora operativa

Desde la perspectiva técnica, permitirá estructurar una metodología sustentada en principios químicos y de seguridad industrial aplicables a procesos de mantenimiento con sustancias corrosivas. En el ámbito operativo, contribuirá a optimizar tiempos de intervención, reducir reprocesos y mejorar el aprovechamiento de insumos neutralizantes. A nivel organizacional, favorecerá la consolidación de prácticas seguras y estandarizadas que fortalezcan la toma de decisiones y el cumplimiento normativo. Desde la dimensión social el proyecto impacta directamente en la calidad de vida, integridad física y salud ocupacional tanto en los trabajadores operativos como en las comunidades aledañas de la empresa, eliminando prácticas empíricas y robusteciendo la seguridad química al prevenir eventos catastróficos o fugas masivas que puedan vulnerar el derecho a un entorno seguro y saludable. En términos económicos, la estandarización técnica optimiza los costos operativos mediante el uso eficiente y medido de los agentes neutralizantes, evitando el sobreconsumo innecesario de insumos. Además, reduce drásticamente las pérdidas económicas asociadas a paradas de planta prolongadas, sobretiempos laborales y reprocesos. A largo plazo, el proyecto blindará financieramente a la organización al mitigar los sobre costos por sanciones legales de entes reguladores, indemnizaciones por accidentes de trabajo, daños severos a la infraestructura de los tanques y pasivos ambientales por vertimientos fuera de norma.

Adicionalmente, el proyecto posee un potencial de aplicación más allá de la empresa objeto de estudio, dado que la metodología desarrollada podrá ser utilizada como referencia en otras organizaciones que ejecuten operaciones similares con sustancias químicas peligrosas. De esta manera, la investigación no solo busca resolver una necesidad puntual, sino también aportar herramientas orientadas al fortalecimiento de la cultura de seguridad química y mejora continua en entornos industriales.

4. Marco Teórico

4.1 Marco Conceptual

Ácido sulfúrico y su relación con el pH (potencial de hidrógeno)

El ácido sulfúrico es un compuesto inorgánico altamente corrosivo y de gran relevancia industrial, cuya principal complejidad reside en su elevada afinidad con el agua y la consecuente liberación exotérmica de calor al entrar en contacto con la humedad o sustancias alcalinas (Núñez Ortigüela, J., 2021). Esta alta reactividad hace que se tenga que implementar un monitoreo termodinámico riguroso en los procesos en los que se usa, medido por potenciales de hidrógeno (pH). El pH funciona como una escala de medida estandarizada (de 0 a 14) para determinar el nivel de acidez o alcalinidad de una solución, donde los valores inferiores a 7 son los que determinan ese comportamiento agresivo del ácido sulfúrico.

Figura 1. Guante de nitrilo expuesto a gotas de ácido sulfúrico al 98%



Nota: Imagen tomada de: <https://researchsafety.uky.edu/sites/default/files/2025-10/institutional-chp-r-20250917.pdf>

Es por esto, que el pH no debe ser considerado una simple métrica de laboratorio, sino la variable crítica de control operacional y de seguridad más transcendental en campo. Monitorear

Estandarización de procesos como mejora operativa su evolución en tiempo real es el único mecanismo técnico que garantiza la verificación de la pérdida de acidez del compuesto y asimismo, certifica condiciones seguras antes de que el personal operativo intervenga físicamente tanques de almacenamiento.

Neutralización química basada en la estequiometría

Para mitigar la peligrosidad intrínseca del ácido sulfúrico durante actividades de mantenimiento, la ingeniería recurre al proceso de neutralización química. Este proceso consiste en una reacción controlada entre un ácido y una base (como el bicarbonato de sodio, hidróxido de calcio o carbonato de calcio) para transformar residuos peligrosos en no peligrosos. No obstante, la eficiencia de esta operación no puede dejarse al azar o a la intuición, ya que depende de variables dinámicas como la concentración, la temperatura y el tiempo de reacción. Es aquí donde la estequiometría se convierte en una herramienta matemática y científica indispensable, al establecer las relaciones cuantitativas exactas entre los reactivos químicos y los productos resultantes. Por esto se convierte en una necesidad operativa y financiera para este tipo de procesos.

Gestión del riesgo químico mediante procedimientos operativos estandarizados

Ya se ha mencionado que la manipulación de este tipo de sustancias corrosivas configura un escenario con un alto riesgo químico. Entendido como la probabilidad de sufrir afectaciones a la salud por exposición (inhalación, ingestión o contacto dérmico); este riesgo se materializa a través de quemaduras severas, daños respiratorios crónicos por vapores e impactos ambientales por vertimientos deficientes (NIOSH, s.f.). Para contrarrestar esta amenaza, la organización debe migrar de la corrección a la prevención mediante el diseño de Procedimientos Operativos de Seguridad (POS). Estos documentos técnicos estructuran la ejecución de tareas críticas, uniendo la teoría científica con la práctica en el terreno de una manera controlada.

4.2 Marco Teórico

Se realizará una revisión de fuentes bibliográficas enfocadas al proceso de neutralización aplicado al ácido sulfúrico, revisando sus inicios y evolución; afectaciones que puedan asociarse a este compuesto químico, tomando como herramienta de consulta para la investigación diversas bases de datos como: Dialnet, Scielo, Google académico. Destacando la inclusión de textos, como; tesis, monografías y artículos escritos de los últimos años.

Evolución del riesgo químico asociado al ácido sulfúrico

El uso del ácido sulfúrico se remonta a los primeros desarrollos de la alquimia y la química experimental. Sin embargo, fue durante la Revolución Industrial cuando su producción alcanzó niveles masivos debido al crecimiento de la industria química y metalúrgica (López, 2002).

El incremento en la producción y utilización de este compuesto transformó el riesgo químico asociado a su manipulación, pasando de incidentes aislados en laboratorios a problemáticas de carácter industrial relacionadas con exposición ocupacional, corrosión de estructuras, liberación de vapores y accidentes ambientales (Benito Piedra, 2017).

Con el paso de los años, diferentes organismos internacionales desarrollaron normativas y sistemas de clasificación orientados al manejo seguro de sustancias peligrosas. Entre ellos se destacan el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA) y los lineamientos establecidos por entidades como OSHA, NIOSH y el Center for Chemical Process Safety (OSHA, 2022).

Actualmente, la gestión del riesgo químico en operaciones con ácido sulfúrico se fundamenta en la implementación de controles de ingeniería, procedimientos estandarizados, capacitación permanente y sistemas de gestión orientados a la prevención de incidentes.

Estandarización de procesos como mejora operativa

La American Institute of Chemical Engineers, a través del Center for Chemical Process Safety (CCPS), ha avanzado con lineamientos técnicos para la gestión de riesgos en procesos químicos, recalcando la importancia de la estandarización de procedimientos críticos como son la limpieza, inertización y neutralización de productos.

También Medina (2018) presentó un estudio sobre la operatividad de una planta de neutralización de aguas ácidas en una empresa minera peruana, destacando la eficacia de la neutralización y el tratamiento de residuos.

Neutralización química en mantenimientos industriales

En procesos industriales, la neutralización química representa una actividad fundamental durante las paradas de mantenimiento de equipos y tanques de almacenamiento. Antes de intervenir físicamente un sistema que ha contenido ácido sulfúrico, es indispensable eliminar o estabilizar los residuos presentes para reducir la peligrosidad del entorno.

La neutralización controlada permite disminuir la corrosividad del medio y garantizar condiciones seguras para el ingreso del personal a espacios confinados. Para ello se utilizan agentes alcalinos cuya selección depende de variables operativas como el volumen de ácido residual, la temperatura, la facilidad de aplicación y el comportamiento de la reacción (Benito Piedra, 2017).

La siguiente tabla describe las variables operativas de los reactivos más utilizados en las paradas de planta del país:

Tabla 1. *Reactivos con características y aplicaciones*

Agente	Generación de	Aplicación principal
neutralizante	calor	
Bicarbonato de sodio	Baja a moderada	Neutralización controlada en mantenimientos menores y componentes delicados.
Carbonato de calcio	Baja	Neutralización de suelos, diques y derrames extensos.
Hidróxido de calcio	Moderada a alta	Limpieza interna de tanques y tuberías industriales.
Hidróxido de sodio	Muy alta	Uso restringido a sistemas automatizados por su alta reactividad.

Nota: Elaboración propia.

A continuación, se muestra una tabla de dosificación después de analizar las fuentes teóricas *Basada en cálculos estequiométricos con un factor de seguridad del 20% para asegurar la neutralización completa*

Ácido Sulfúrico al 98% neutralizado con **Cal Apagada** (uno de los agentes más económicos y comunes).

Tabla 2. Dosificación de producto para proceso de neutralización

Volumen de Ácido en el Tanque (L)	Cantidad de Cal Apagada (kg)	Bultos Sugeridos (25 kg c/u)
10 L	16.5 kg	~ 0.7 bultos
50 L	82.0 kg	~ 3.3 bultos
100 L	163.5 kg	~ 6.5 bultos
200 L	327.0 kg	~ 13.1 bultos
500 L	817.5 kg	~ 32.7 bultos

Nota: Elaboración propia.

Desarrollo estequiométrico de la neutralización de ácido

La neutralización química del ácido sulfúrico requiere la aplicación de principios estequiométricos que permitan determinar la cantidad adecuada de reactivo neutralizante, garantizando tanto la seguridad operacional como la eficiencia del proceso.

La reacción química balanceada entre el ácido sulfúrico y el bicarbonato de sodio corresponde a:

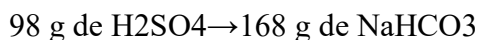


A partir de esta ecuación se establece una relación molar de 2:1, lo que indica que se requieren dos moles de bicarbonato de sodio por cada mol de ácido sulfúrico neutralizado.

Las masas molares utilizadas para el análisis fueron:



Por lo tanto, la relación de masa teórica se expresa de la siguiente manera:



Estandarización de procesos como mejora operativa

En condiciones reales de operación, factores como pureza del reactivo, temperatura, agitación y eficiencia de mezcla pueden afectar la reacción química. Por esta razón, se recomienda aplicar factores de seguridad entre el 10 % y el 20 % para garantizar una neutralización completa y mantener condiciones de seguridad operacional (Lab Alley, 2024; North Industrial, 2024).

Fundamentación de los Procedimientos Operativos de Seguridad

Los Procedimientos Operativos de Seguridad funcionan como controles administrativos orientados a reducir errores humanos y garantizar uniformidad en la ejecución de actividades críticas (Reason, 2016).

Un procedimiento técnicamente estructurado debe incluir:

- Objetivo y alcance.
- Identificación de riesgos.
- Requisitos previos de seguridad.
- Elementos de protección personal requeridos.
- Secuencia operativa detallada.
- Controles durante la ejecución.
- Acciones de emergencia.
- Criterios de cierre y validación.

En el contexto de mantenimiento de tanques de ácido sulfúrico, estos procedimientos adquieren una importancia crítica debido a las condiciones de peligrosidad presentes en la operación.

4.3 Estado del Arte

Las investigaciones recientes como la de Carrión Villazana y Huaman (2021) relacionadas con neutralización química y mantenimiento industrial evidencian la creciente necesidad de estandarizar los procedimientos asociados al manejo de sustancias peligrosas.

Estandarización de procesos como mejora operativa

Estudios desarrollados en plantas de tratamiento químico han demostrado que las sobredosificaciones de agentes neutralizantes generan incrementos significativos en costos operacionales y producción innecesaria de residuos. Asimismo, la ausencia de controles adecuados puede provocar liberación de gases peligrosos y reacciones exotérmicas de alta intensidad. (IChemE, 2023).

Investigaciones de la región del Eje Cafetero, la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP, 2021) enfocadas en mantenimiento de tanques atmosféricos también han identificado que las fases de limpieza y descontaminación representan uno de los momentos de mayor exposición al riesgo químico, especialmente en espacios confinados donde pueden acumularse vapores tóxicos.

En Colombia en general, diferentes estudios universitarios y lineamientos normativos han promovido la implementación de programas relacionados con gestión del riesgo químico y estandarización documental. Sin embargo, todavía existe una limitada integración entre fundamentos estequiométricos, procedimientos de mantenimiento y estrategias operacionales adaptadas al contexto industrial nacional.

A partir de esta revisión se identifica una oportunidad de investigación orientada a integrar variables técnicas, operativas y de seguridad en una metodología aplicable a los procesos de neutralización química durante el mantenimiento de tanques de ácido sulfúrico.

4.4 Marco Legal

La presente investigación se fundamenta en normativas nacionales e internacionales relacionadas con seguridad industrial, manejo de sustancias peligrosas y gestión ambiental.

- **Decreto 4741 de 2005**

Reglamenta la prevención y manejo de residuos o desechos peligrosos en Colombia, estableciendo disposiciones orientadas a proteger la salud humana y el medio ambiente.

- **Decreto 1496 de 2018**

Adopta el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA), fortaleciendo los criterios de comunicación del riesgo químico en ambientes laborales.

- **OSHA Process Safety Management Guidelines**

Lineamientos internacionales orientados al manejo seguro de procesos que involucran sustancias químicas peligrosas, promoviendo controles técnicos, administrativos y operacionales.

- **Normativas sobre espacios confinados (Res. 0491 del 2020)**

Las regulaciones relacionadas con trabajos en espacios confinados establecen requisitos para el ingreso seguro del personal a tanques y sistemas cerrados, incluyendo monitoreo atmosférico, permisos de trabajo y procedimientos de emergencia.

5. Metodología

5.1 Diseño de Investigación

El proyecto investigativo es de tipo mixto, basado en hallazgos cualitativos y cuantitativos, haciendo uso de los datos estadísticos en términos de confiabilidad y validez de la información recopilada. Según Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C (2020), el tipo de investigación mixta presenta un procesamiento empírico de investigación que implica el análisis de datos integrando los hallazgos de los dos métodos, que permitan obtener un resultado de toda la información recabada, logrando un entendimiento más detallado del fenómeno de estudio.

El enfoque utilizado para la investigación tiene un tipo de estudio con alcance descriptivo, esto debido a la caracterización de los antecedentes y variables de estudio, según los autores Amaiquema Marquez, F. A., Vera Zapata, J. A., & Zumba Vera, I. Y (2019), este tipo de estudio, pretende predecir o estimar supuestos de las variables del fenómeno de estudio, a partir de unas características medias y registrando datos que permitirán interpretar la naturaleza actual y composición del fenómeno de estudio.

El diseño no experimental y observacional, con corte transversal, recabando datos en un único momento. Según Galarza, C. A. R (2021), el diseño no experimental permite analizar y observar en un momento determinado las variables, considerando el corto periodo de investigación, permite demarcar la muestra estudio, obteniendo datos de validación pertinentes para determinar las condiciones en la medición estadística.

5.2 Fases del Trabajo

Estandarización de procesos como mejora operativa

Tabla 3. Discriminación de las fases del trabajo por objetivos

OBJETIVOS	ACTIVIDADES	METODOLOGÍA	ENTREGABLE
Diagnosticar el estado actual de los procedimientos de mantenimiento y los conocimientos técnicos del personal operativo sobre la neutralización del ácido sulfúrico mediante encuestas.	1. Aplicación de encuestas.	Antes de comenzar las consultas sobre los procedimientos de mantenimiento realizados en la empresa, es necesario hacer entrega del consentimiento informado al representante legal, por medio del cual se autoriza la realización de dichas consultas, las cuales permiten indagar sobre los conocimientos previos de los procesos de neutralización en las tareas de mantenimiento del equipo operativo. Esta encuesta es estructurada, utilizando un cuestionario rígido con preguntas predeterminadas y opciones de respuesta fijas. Es rápida de realizar, fácil de cuantificar y estandariza los datos para un análisis objetivo.	Tablas y análisis gráficos de los resultados obtenidos.
	2. Identificación de prácticas operativas actuales.	Por medio de la observación directa se podrá identificar las prácticas realizadas por el personal operativo en la tarea de neutralización. Esto apoya gráficamente el paso a paso de la tarea.	
	3. Revisión documental de procedimientos existentes.	Finalmente, se solicitará al área administrativa los documentos existentes, como procedimientos,	

Estandarización de procesos como mejora operativa

		que apoyan y guían la tarea de neutralización.	
Determinar las variables estequiométricas necesarias para una neutralización segura y eficiente de remanentes químicos en tanques de almacenamiento de ácido sulfúrico.	1. Estudio de las variables químicas y operativas relacionadas con el proceso de neutralización, desde la consulta bibliográfica de fuentes académicas confiables.	Revisión bibliográfica especializada: • Cálculos estequiométricos. • Selección de agentes neutralizantes. • Análisis de variables críticas del proceso.	No aplica
Elaborar los Procedimientos Operativos de Seguridad (SOP) para el proceso de neutralización de ácido sulfúrico, mediante la integración lineamientos técnicos y normativos incluyendo uso correcto de EPP, dosificación de agentes y disposición final.	1. Diseño de Procedimiento Operativo de Seguridad del proceso de neutralización de ácido sulfúrico.	• Definición de secuencias operativas. • Elaboración de flujogramas. • Definición de controles de seguridad. • Integración de criterios normativos y técnicos.	Documento como propuesta de procedimiento estándar.
Evaluar el impacto de la implementación del procedimiento operativo de seguridad (SOP) propuestos mediante indicadores de desempeño.	Establecer indicadores para evaluar la efectividad de los procedimientos propuestos.	• Medición de eficacia de neutralización. • Evaluación de reducción de sobre costos. • Medición de nivel de conocimiento técnico. • Identificación de eficiencia en el uso de insumos.	Documento con indicadores de cumplimiento de la tarea de neutralización.

Nota: Elaboración propia.

5.3 Población objeto de impacto para la investigación

Con una población, que consta de 15 personas, entre hombres y mujeres, con edades entre los 18 y 55 años, donde su operación principal es el mantenimiento industrial de tanques de almacenamiento químico.

En cuanto a la muestra, se seleccionó un muestro no probabilístico, por conveniencia, es decir, se elige la población basada en la disponibilidad de recurso humano que posee la empresa, dirigido únicamente a los trabajadores del área operativa adscritos a la empresa.

5.4 Técnica e Instrumentos

El principal instrumento de investigación de aplicación es el Cuestionario que permite indagar los conocimientos previos sobre el proceso de neutralización usado en las tareas de mantenimiento de tanques de ácido sulfúrico.

De lo anterior, es importante presentar el permiso para aplicar las herramientas, esto, por medio de un consentimiento informado del representante legal de la empresa, dando cumplimiento de la norma ética de tratamiento de datos y seguridad y privacidad de la información.

5.5 Técnicas de análisis de información

En el procesamiento de los datos, se inició con la previa autorización por parte de la empresa, por medio de un consentimiento previamente revisado y posteriormente firmado por el representante legal, por el cual, se hace la explicación del alcance del estudio, de esta manera, se coordinó la fecha y lugar para realizar la aplicación de la encuesta como herramienta estadística para el estudio.

Estandarización de procesos como mejora operativa

También se tomó registro fotográfico de los pasos en la realización de la tarea de neutralización de ácido sulfúrico en tanques de almacenamiento. De esta manera se identifican los tiempos de operación. Por otro lado, desde el área administrativa, se otorga información financiera sobre costos de la actividad y los documentos de seguridad y salud en el trabajo para diligenciar antes y durante la tarea.

De la misma manera, se utilizó la estadística descriptiva como técnica de análisis de información, esto por medio de gráficos que permiten realizar el análisis de los resultados hallados. La información se analizó a través del software de cálculo Microsoft Excel, en el cual, se puede extraer estadísticas representadas en tablas y gráficos, a partir de un análisis estadístico, el trabajo se compila sobre un análisis escrito utilizando el editor de texto Microsoft Word y finalmente la utilización del gestor bibliográfico Zotero.

5.6 Presupuesto

A continuación, se presenta el presupuesto estimado del proyecto investigativo:

Tabla 4. Presupuesto del estudio investigativo para la empresa

Concepto	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Papelería	1	\$ 80.000	\$ 80.000
Internet	1	\$120.000	\$ 120.000
Fotocopias e impresiones	60	\$300	\$ 18.000
Movilidad (Pasajes)	8	\$3500	\$28.000
Total			\$ 246.000

Nota. La tabla representa el presupuesto estimado para llevar a cabo el estudio investigativo. Elaboración propia.

5.7 Cronograma de actividades

A continuación, se presenta el cronograma de las principales actividades o tareas estipuladas duran el desarrollo del proyecto investigativo para la empresa.

Tabla 5. Cronograma de actividades

Fase	Actividad Principal	Semanas
Fase 1: Diagnóstico	Recolección de datos históricos de costos y entrevistas a operarios.	1
Fase 2: Análisis Técnico	Cálculos estequiométricos de neutralización y análisis de riesgos.	1
Fase 3: Diseño de SOP	Redacción de Procedimientos Operativos Estándar y diseño de ayudas visuales.	2-3
Fase 4: Entrega Final	Redacción del documento de tesis y preparación de la sustentación.	2-3

Nota. La tabla representa el cronograma de actividades para llevar a cabo el estudio investigativo.
Elaboración propia.

6. Resultados

6.1 Resultados primera fase

Diagnosticar el estado actual de los procedimientos de mantenimiento y los conocimientos técnicos del personal operativo sobre la neutralización del ácido sulfúrico mediante encuestas.

- A continuación, se presentan los resultados obtenidos a cada pregunta generada en la encuesta aplicada.

Tabla 6. Conocimiento sobre procedimientos existentes de mantenimiento en tanques

Opción de Respuesta	n	%
Sí, existe y lo conozco detalladamente	0	0%
Sí existe, pero no lo conozco a fondo	0	0%
No existe ningún procedimiento escrito	12	80.0%
No sé / No respondo	3	20.0%
TOTAL	15	100%

Nota. La tabla representa el conocimiento previo de los participantes en la existencia de un documento escrito sobre mantenimiento de tanques. Elaboración propia.

Análisis: El 80% de los encuestados (12 de 15) afirma no conocer ningún procedimiento escrito en la empresa para el mantenimiento de tanques de ácido sulfúrico. El 20% restante no está seguro. Ningún operario reportó conocer o haber consultado un procedimiento escrito detallado, lo que representa una brecha crítica en la gestión documental de seguridad.

Estandarización de procesos como mejora operativa

Tabla 7. Frecuencia para consultar un procedimiento escrito antes de iniciar la tarea

Opción de Respuesta	n	%
Antes de cada tarea	0	0%
Solo cuando no conozco el tanque	0	0%
A veces	0	0%
Nunca — trabaja de memoria / por experiencia	15	100.0%
TOTAL	15	100%

Nota. La tabla representa la frecuencia con la que consulta procedimientos operativos antes de iniciar las tareas designadas. Elaboración propia.

Análisis: El 100% de los encuestados indica que nunca consulta el procedimiento escrito, operando exclusivamente desde la memoria o experiencia. Este resultado es consistente con pregunta N°1, donde la mayoría señaló que no existe un procedimiento. La ausencia total de consulta documental aumenta significativamente el riesgo de errores en procedimientos críticos.

Tabla 8. Comportamiento habitual antes de iniciar la tarea designada

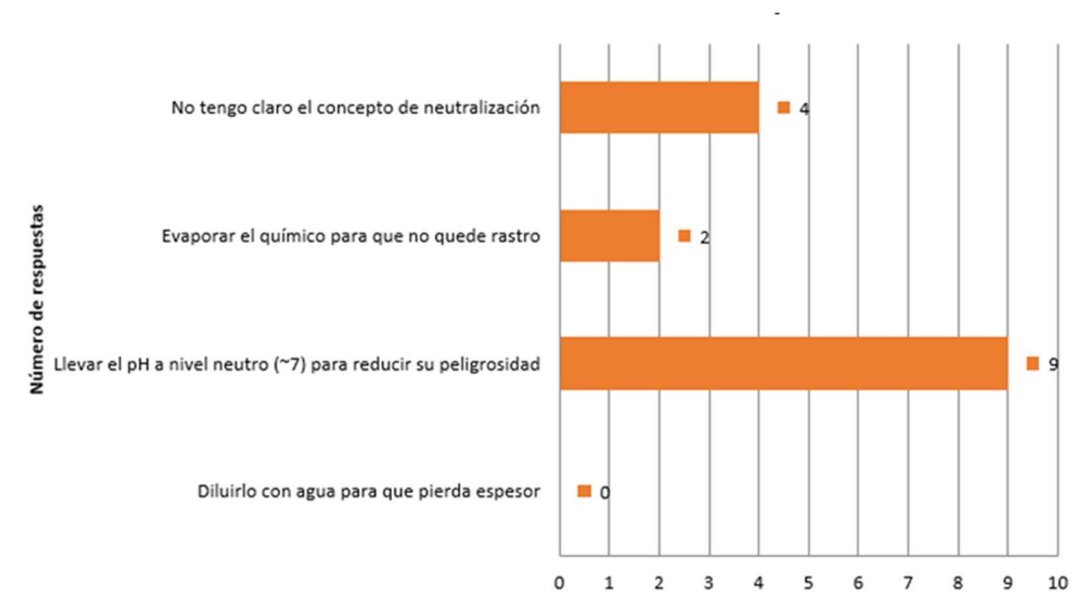
Opción de Respuesta	n	%
Se diligencian y firman ATS y permiso obligatoriamente en el sitio	15	100.0%
Solo se firman al final de la jornada o en la oficina	0	0%
Rara vez se llenan documentos de seguridad	0	0%
No se realiza ningún permiso o ATS para esta actividad	0	0%
TOTAL	15	100%

Nota. La tabla representa la práctica habitual de los participantes antes de iniciar las tareas críticas. Elaboración propia.

Estandarización de procesos como mejora operativa

Análisis: El 100% de los encuestados afirma que se diligencian y firman obligatoriamente el Análisis de Trabajo Seguro y el Permiso de Trabajo en el sitio antes de iniciar labores. Es un hallazgo positivo, evidenciando una cultura sólida en controles administrativos de seguridad.

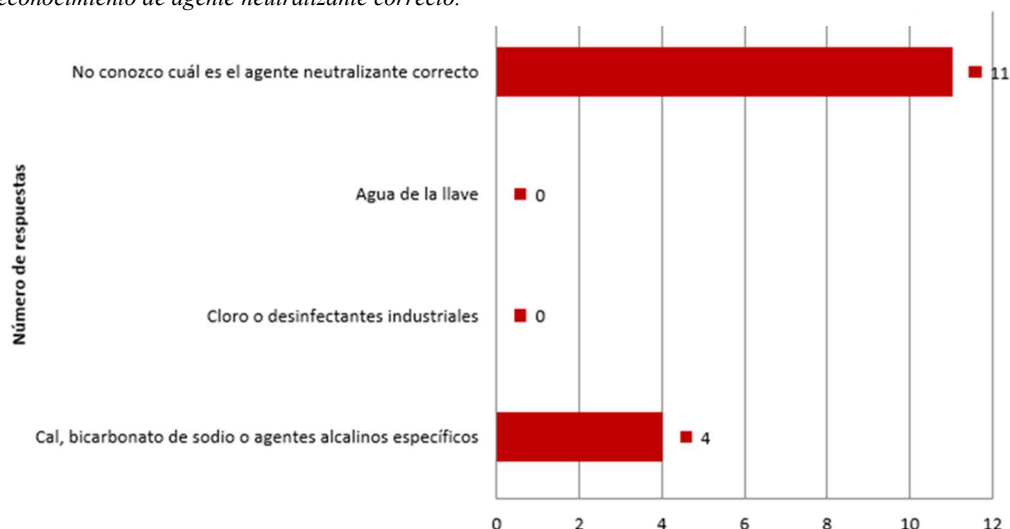
Figura 2. Conocimiento conceptual del proceso de neutralización.



Nota. La figura muestra la cantidad de participantes que comprenden el concepto técnico del procedimiento de neutralización. Elaboración propia.

Análisis: Solo el 60% (9 de 15) de los trabajadores comprende correctamente el objetivo de la neutralización. El 13% (2 personas) tiene un concepto técnicamente errado, y el 26% (4 personas) declara no tener clara la definición. En conjunto, el 40% presenta algún grado de desconocimiento conceptual sobre un proceso fundamental para la seguridad propia y de terceros.

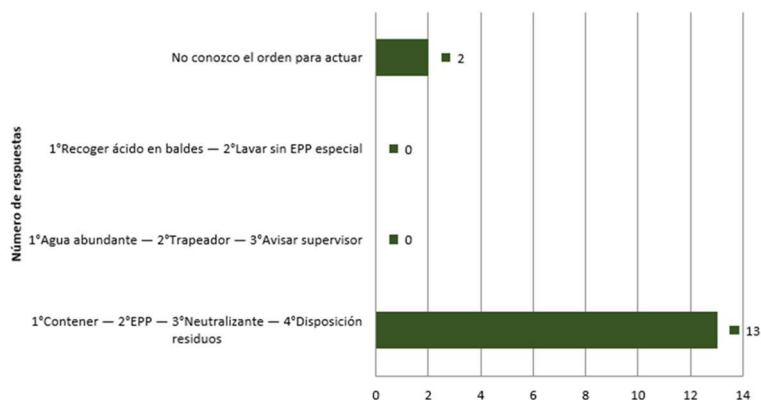
Figura 3. Reconocimiento de agente neutralizante correcto.



Nota. La figura muestra la cantidad de participantes que reconocen el agente neutralizante correcto para el proceso. Elaboración propia.

Análisis: El 73% de los encuestados reconoce no saber cuál es el agente neutralizante correcto ante un derrame de ácido sulfúrico. Solo el 26 identificó correctamente el uso de cal/ bicarbonato de sodio. Este resultado es crítico, ya que un operario que enfrente un derrame real podría utilizar agua, generando reacciones exotérmicas peligrosas.

Figura 4. Protocolo de actuación ante un derrame de ácido sulfúrico



Nota. La figura muestra el reconocimiento de los participantes para actuar ordenadamente frente a un derrame de ácido sulfúrico. Elaboración propia.

Estandarización de procesos como mejora operativa

Análisis: Más del 80% de los operarios identifica correctamente el protocolo de actuación ante un derrame. Sin embargo, al desconocer el agente neutralizante compromete directamente la ejecución del paso 3 del protocolo, lo que evidencia un conocimiento procedimental incompleto.

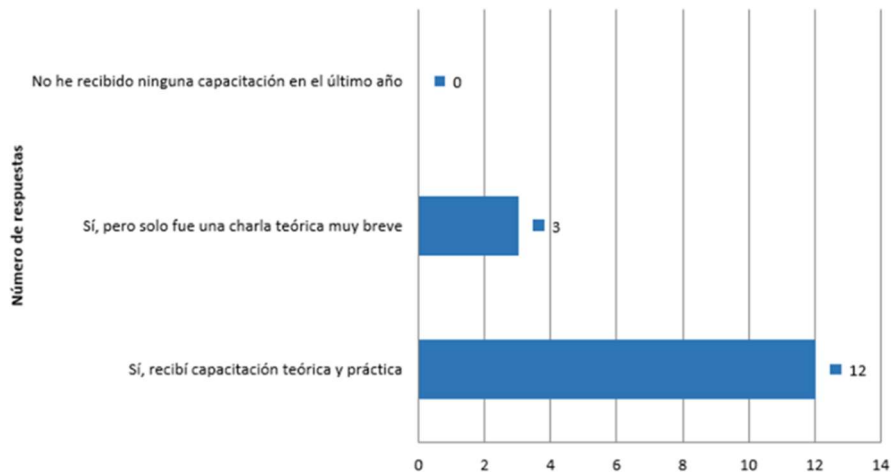
Tabla 9. Conocimiento de dosificación del agente neutralizante

Opción de Respuesta	n	%
Sí, conozco la relación exacta de aplicación	0	0%
Tengo una idea aproximada, pero no la medida exacta	11	73.3%
No — aplico al cálculo visual hasta que deje de reaccionar	4	26.7%
TOTAL	15	100%

Nota. La tabla muestra el nivel de conocimiento sobre la dosificación del químico en el proceso de neutralización. Elaboración propia.

Análisis: Ningún operario conoce la proporción exacta de neutralizante requerida. El 73% maneja una idea aproximada y el 26% aplica el producto de forma empírica. La dosificación incorrecta puede resultar en neutralización incompleta o uso excesivo de reactivos, con implicaciones de seguridad y costos asociados.

Figura 5. Capacitación en riesgo químico



Nota. La figura evidencia la capacitación recibida sobre el riesgo químico relacionado al ácido sulfúrico. Elaboración propia.

Análisis: El 80% de los trabajadores reporta haber recibido capacitación teórica y práctica durante el último año, mientras el 20% solo recibió una charla teórica breve. Aunque la cobertura es positiva, las brechas en las preguntas anteriores sugieren que la efectividad o profundidad de las capacitaciones debe ser revisada.

Tabla 10. Grado de acuerdo con afirmaciones relacionadas a seguridad

Enunciado	Tot. de acuerdo	De acuerdo	En desacuerdo	Tot. en desacuerdo	Total
Los EPP que entrega la empresa son adecuados para protegerme contra salpicaduras y gases de ácido sulfúrico.	15	0	0	0	15
Me siento completamente seguro y preparado técnicamente para controlar un evento de fuga o derrame de ácido.	15	0	0	0	15
Los procedimientos de mantenimiento actuales garantizan mi seguridad física frente al riesgo químico.	15	0	0	0	15

Nota. La tabla muestra el grado de acuerdo tienen los participantes con afirmaciones relacionadas a seguridad. Elaboración propia.

Análisis: Los tres enunciados de la escala Likert registraron unanimidad total: el 100% de los participantes se manifestó Totalmente de acuerdo con que los EPP son adecuados, que se sienten seguros y que los procedimientos garantizan su seguridad. Esta situación contrasta con el actuar empírico que se viene evidenciando en las preguntas anteriores.

Tabla 11. Presencia de incidentes durante la realización de la tarea

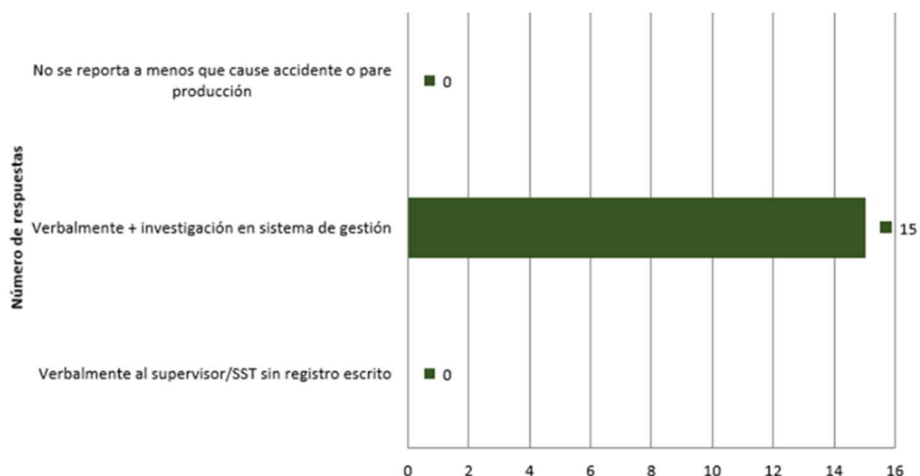
Opción de Respuesta	n	%
Sí — ha presenciado o sufrido un incidente	13	86.7%
No	2	13.3%
TOTAL	15	100%

Nota. La tabla muestra la existencia reciente de incidentes con el manejo de ácido sulfúrico. Elaboración propia.

Estandarización de procesos como mejora operativa

Análisis: Más del 80% de los encuestados reporta haber presenciado o sufrido algún tipo de incidente en el último año. Combinado con las brechas de conocimiento de las preguntas anteriores, este indicador sugiere una relación directa entre el desconocimiento técnico y el alta riesgo de incidentes/accidentes.

Figura 6. Conocimiento del protocolo para reporte de incidentes en la tarea de neutralización



Nota. La tabla muestra el conocimiento de los trabajadores en el actuar en caso de incidente con la tarea de neutralización. Elaboración propia.

Análisis: El 100% de los participantes afirma que los incidentes se reportan verbalmente y quedan registradas en el sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo. Este resultado es positivo y refleja una cultura de reporte sólida.

- A continuación, se identifican prácticas operativas actuales por medio de inspección visual:

Figura 7. Paso a paso visual de neutralización de ácido sulfúrico en tanques de mantenimiento en industria

1. Identificación del tanque a intervenir



Estandarización de procesos como mejora operativa

2. Demarcación y señalización de zona destinada para realizar la tarea



3. Acondicionamiento de canecas e IBC (recipientes plásticos de almacenamiento provisional de ácidos) en zona de neutralización



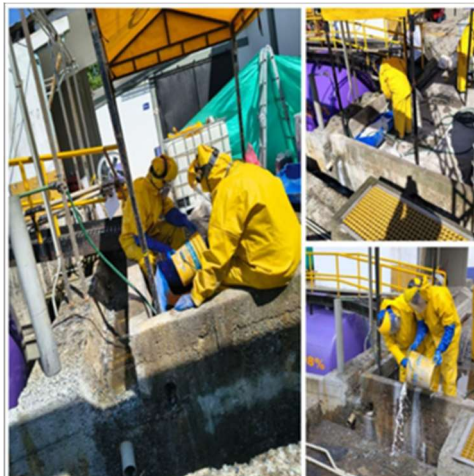
4. Dilución de ácido sulfúrico



5. Medición de pH y Temperatura



6. Vertimiento de solución neutralizada por desagüe



7. Limpieza de área de trabajo



Nota. La secuencia visual muestra el protocolo usado por el equipo operativo de la empresa Qualind sas en la tarea de neutralización. Fotos suministradas por la empresa.

- Revisión documental de procedimientos existentes.

Se consulta con el área de Seguridad y Salud en el Trabajo; su responsable, manifiesta verbalmente que el proceso de neutralización de ácido sulfúrico en mantenimientos de tanques de almacenamiento es catalogado como tarea crítica por tanto para su realización previamente se realiza reunión de planeación en conjunto con área de ingeniería y posteriormente el coordinador SST en sitio, previo a la tarea, analiza y diligencia con todo el equipo dos formatos:

1. Análisis de Trabajo Seguro
2. Permiso de Trabajo Integral

Estandarización de procesos como mejora operativa

Figura 8. Formato análisis de trabajo seguro

Qualind sas		ANÁLISIS DE TRABAJO SEGURO			
Empresa (cliente):		Ciudad:			
Área donde se realiza el trabajo:		Fecha de realización del Trabajo:			
Hora de inicio:		Hora de Finalización:			
Descripción de la tarea a realizar:					
Cédula	Nombres y apellidos		Firma		
PARA ESTE TRABAJO SE REQUIERE PERMISO DE:					
Trabajo en alturas	Espacios confinados	Trabajo en caliente	Energías peligrosas	Otro, cuál?	
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS A UTILIZAR					
Manuales					
Eléctricas					
Pneumáticas					
Hidráulicas					
Mecánicas					
Otras, cuáles?					
IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS					
Virus, bacterias y hongos	Presión atmosférica	Psicosocial	Eléctrico	Espacios confinados	
Ruido	Radiación ionizante	Estrés	Trabajo en caliente	Sismo / terremoto	
Iluminación	Radación no ionizante	Pérdida de conciencia	Explosión	Inundación	
Vibración	Gases y/o vapores	Esfuerzo	Incendio	Derrumbe	
Calor	Material particulado	Manejo de residuos	Accidentes de tránsito	Publicidad, mobiliario	
Frio	Sustancias Químicas	Manejo de residuos	Alturas		
ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL REQUERIDOS					
Casco de seguridad	Tapabocas	Cinta para soldar	Botas plásticas		
Barbiquejo	Guantes de cuero	Guantes de plástico	Eslings en Y		
Gafas	Mascarilla	Botas de seguridad	Eslinga en Y		
Protección auditiva	Peligras (fuente o situación)	Consecuencias	Controles Requeridos		
Etapas de la tarea					
EVALUACIÓN DEL RIESGO					
¿Es posible, probable o casi-seguro que ocurra un incidente?					
Sí, deténgase y no proceda con la tarea. Analice con el supervisor encargado el paso a paso, revisen controles y responda la siguiente pregunta.					
No, continúe con la tarea con precaución, implemente los controles establecidos.					
¿Es seguro proceder ahora en la tarea con los controles adicionales?					
Sí, proceda con la tarea.					
No, consulte al supervisor antes de tomar cualquier decisión.					
NOMBRE Y FIRMA DE QUIEN APRUEBA LA ACTIVIDAD					

Nota. Formato tomado de archivo Qualind sas.

Figura 9. Formato permiso de trabajo integral

Fecha de Inicio:	DD/MM/AAAA	Nombre de Quien Diligencia el Permiso	Consecutivo:
			
SISTEMA DE GESTIÓN DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO PERMISO DE TRABAJO INTEGRADO PARA TAREAS CRÍTICAS ALTURAS (TA) - ESPACIOS CONFINADOS (EC) - EN CALIENTE (TC) - MANEJO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS (MSQ) - TRABAJO ELÉCTRICO (TE)			
<i>Este permiso de trabajo integrado para tareas críticas se basa en la siguiente normatividad:</i> -Trabajo en Alturas (Resolución 4372 de 2021) -Trabajo en Espacios Confinados (Resolución 0451 de 2020 en el artículo 11) -Trabajo en Caliente (Resolución 1460 de 1975) -Manejo de sustancias químicas (Decreto 1436 de 2018 y Resolución 175 de 2021) -Trabajo Eléctrico (Resolución 3018 de 2015 y NTPA 106) -Sistemas de Gestión (Decreto 1012 de 2015 y Resolución 0312 de 2015) <i>Este formato ha sido diseñado de conformidad con los parámetros establecidos en las normatividades anteriormente mencionadas, el cual debe ser diligenciado previo a la labor, ubicar en un lugar visible durante la ejecución de la tarea y no debe tener tachones ni enmendaduras.</i>			
Fecha de Inicio:	DD/MM/AAAA	Fecha de Terminación:	DD/MM/AAAA
Empresa Cliente:		Trabajo Solicitado Por:	
Tipo de Obra o Proyecto		Lugar de Ejecución de la Tarea	
Industrial	Residencial		
Descripción de la Actividad:			
EPP REQUERIDOS PARA LA ACTIVIDAD			
Marque con una X, todos los EPP que requiere para la actividad			
Ropa de Trabajo Autorizada	Arnés de Cuerpo completo	Mascarilla Full Face/Media Cara con Filtros	Guantes PVC largos
Gafas de Seguridad	Eslinga de Detección de Caídas con Absorbedor	Delantal para Soldadura de Carnaza o Vaqueta	Escafandra para Manejo de Productos Químicos
Casco de Seguridad con Barbiquejo	Eslinga de Posicionamiento o Restricción	Polainas para Soldadura de Carnaza o Vaqueta	Botas Dieléctricas (Aplica a trabajos con Alta y Media Tensión)
Botas de Seguridad Punta de Acero	Monja Industrial	Traje Tyvec	Guantes Dieléctricos (Aplica a trabajos con Alta y Media Tensión)

Nota. Formato tomado de archivo Qualind sas

Estandarización de procesos como mejora operativa

Al preguntar por la existencia de algún documento que evidencie el procedimiento requerido para llevar a cabo la tarea de neutralización de ácido sulfúrico, se tiene respuesta oficial de la empresa que no se cuenta con él.

6.2 Resultados segunda fase

Determinar las variables estequiométricas necesarias para una neutralización segura y eficiente de remanentes químicos en tanques de almacenamiento de ácido sulfúrico.

En el marco teórico, después de hacer un recorrido por los conceptos técnicos de la estequiometría, se llega finalmente, a la elaboración de un cuadro que guía la cantidad de producto neutralizante (Cal) al ácido sulfúrico para ser neutralizado.

Tabla 12. Dosificación de producto para proceso de neutralización

Volumen de Ácido en el Tanque (L)	Cantidad de Cal Apagada (kg)	Bultos Sugeridos (25 kg c/u)
10 L	16.5 kg	~ 0.7 bultos
50 L	82.0 kg	~ 3.3 bultos
100 L	163.5 kg	~ 6.5 bultos
200 L	327.0 kg	~ 13.1 bultos
500 L	817.5 kg	~ 32.7 bultos

Nota: Elaboración propia.

6.3 Resultados tercera fase

Elaborar los Procedimientos Operativos de Seguridad (SOP) para el proceso de neutralización de ácido sulfúrico, mediante la integración lineamientos técnicos y normativos incluyendo uso correcto de EPP, dosificación de agentes y disposición final.

A continuación, se muestra la propuesta del formato del documento que se diseña por parte del investigador, donde se abarca definición de secuencias operativas, elaboración de flujogramas, definición de controles de seguridad e integración de criterios normativos y técnicos.

Figura 10. Formato propuesta Procedimiento Operativo Estándar SOP

LOGO EMPRESA	QUALIND SAS PROCEDIMIENTO OPERATIVO ESTÁNDAR SOP
NEUTRALIZACIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO (H ₂ SO ₄)	
1. INTRODUCCIÓN	
La neutralización del Ácido Sulfúrico (H ₂ SO ₄), es un proceso crítico que debe manejarse con extrema precaución. Al ser un ácido fuerte, reacciona de forma exotérmica (libera calor) al entrar en contacto con bases, metales, materia orgánica, aire, agua, entre otros.	
2. OBJETIVO	
Establecer los lineamientos técnicos y de seguridad necesarios para realizar la neutralización química del Ácido Sulfúrico (H ₂ SO ₄) de manera controlada. El propósito es transformar este ácido fuerte en una solución salina neutra con un pH entre 6.5 y 8.5, mitigando los riesgos de reacciones exotérmicas violentas y garantizando una disposición final que no afecte el ecosistema ni los cuerpos de agua.	
3. ALCANCE	
Este procedimiento aplica a todas las actividades de manipulación, dilución y neutralización de soda cáustica en solución que se realicen dentro de los procesos de intervención por QUALIND SAS. Inicia desde la preparación del área y el equipo de	
LOGO EMPRESA	QUALIND SAS PROCEDIMIENTO OPERATIVO ESTÁNDAR SOP
4. DEFINICIONES	
• Ácido sulfúrico H₂SO₄: Compuesto químico altamente corrosivo y es el ácido industrial más utilizado en el mundo. Se presenta como un líquido viscoso, incoloro o ligeramente amarillento, con un olor picante. • Hidróxido de Calcio Ca(OH)₂: Compuesto inorgánico conocido como cal muerta, apagada o hidratada. Es un polvo blanco cáustico, alcalino, utilizado en la construcción (morteros), odontología para endodancias, tratamiento de aguas y procesamiento de alimentos. • Sulfato de Calcio CaSO₄: compuesto químico inorgánico, sólido blanco y poco soluble en agua, conocido comúnmente como yeso en su forma deshidratada • Neutralización Química: Proceso mediante el cual se añade un agente ácido a una base (o viceversa) para transformar una sustancia peligrosa en una solución salina neutra. • Reacción Exotérmica: Fenómeno químico que libera energía en forma de calor. En este proceso, la liberación de calor puede ser violenta si no se controlan las concentraciones y la velocidad de adición. • pH (Potencial de Hidrógeno): Medida de acidez o alcalinidad de una solución. • Dilución Previa: Acción de mezclar el reactivo concentrado con agua antes de la	

Nota. Elaboración propia.

6.4 Resultados cuarta fase

Evaluar el impacto de la implementación del procedimiento operativo de seguridad (SOP) propuestos mediante indicadores de desempeño.

En la siguiente tabla se sugiere la implementación de indicadores que midan eficiencia y costos del proceso, después de la aplicación del procedimiento operativo estándar recomendado.

Tabla 13. Indicadores de cumplimiento propuestos

Indicador	Fórmula de Cálculo	Meta Sugerida
Eficacia de Neutralización	$(N^{\circ} \text{ de procesos con pH final 6-9} / \text{Total de procesos}) \times 100$	100%
Reducción de Sobre costos	$[(\text{Costo anterior} - \text{Costo con POE}) / \text{Costo anterior}] \times 100$	> 15%
Nivel de Conocimiento Técnico	$(\text{Puntaje post-capacitación} / \text{Puntaje pre-capacitación})$	Incrementar 40%
Uso de Insumos (Eficiencia)	$(\text{Cantidad teórica estequiométrica} / \text{Cantidad real usada})$	Próximo a 1 (100%)

Nota. La tabla muestra los indicadores de evaluación del SOP. Elaboración propia.

7. Discusión y Conclusiones

1. El diagnóstico realizado permitió identificar que la ausencia de procedimientos escritos, al no generar referencia documental alguna, representa el principal factor de riesgo para este tipo de operaciones. Esto denota una gran brecha en el conocimiento técnico, el cual es necesario para llevar a cabo tareas consideradas como críticas; de allí que, actuaciones incorrectas ante un derrame químico llevan a un aumento en el riesgo de accidentalidad.
2. Los resultados de la encuesta aplicada al personal evidenciaron que el equipo operativo responde a las preguntas más desde un tema aspiracional que técnico; poniendo en riesgo, de esta manera, una cultura de seguridad que la empresa ya tiene implementada. Los controles administrativos existentes son adecuadamente ejecutados, sin embargo, los procedimientos operativos estandarizados reclaman su protagonismo.
3. El análisis de las variables químicas permitió establecer que la ausencia de metodologías estandarizadas para la neutralización química durante el mantenimiento de tanques limita la capacidad de las organizaciones para garantizar simultáneamente la seguridad, el cumplimiento normativo y la eficiencia operativa.
4. La elaboración de procedimientos operativos de seguridad constituye una herramienta de control que permite trascender el cumplimiento técnico para transformarse en un compromiso de la empresa con la vida de cada trabajador, forja la cultura del autocuidado, garantizando un entorno seguro.
5. La implementación del SOP propuesto puede contribuir a mejorar la implementación de metodologías estandarizadas, se forjan reducciones de sobrecostos en la operación, traducidos en ahorro de insumos minimizando el desperdicio de estos gracias a su dosificación exacta. También se evitan riesgos financieros, al reducir al máximo sanciones por entes gubernamentales.

Recomendaciones

- Elaborar y socializar procedimientos escritos de mantenimiento incluyendo a todo el equipo.
- Es necesario construir un ciclo de formación para contar con capacitaciones teóricas sistemáticas, simulaciones en campo, así como evaluación de competencias operativas que van a ir alimentando los indicadores de calidad semestralmente. Tanto de identificación del producto químico como de dosificación de agentes neutralizantes.
- Se recomiendan revisiones periódicas anuales para los procedimientos operativos estándar ya implementados o tras la ocurrencia de un accidente o incidente.
- Realizar simulacros de respuesta ante derrames con evaluación de desempeño individual.
- Investigar las causas raíz de los incidentes reportados y verificar el cierre de acciones correctivas en el sistema de gestión.
- La digitalización de registros de mediciones de pH inicial, cantidad de insumo usada y el pH final facilitará el cálculo de indicadores de gestión y en control de sobre costos en tiempo real.

Impactos esperados

✓ Impacto social

La implementación de procedimientos operativos estandarizados -SOP- contribuirá al fortalecimiento de la cultura de seguridad y autocuidado tanto en la organización como en las empresas clientes.

✓ Impacto económico

Estandarizar procesos de este tipo permitirá optimizar el uso de agentes neutralizantes mediante criterios técnicos de dosificación reduciendo los costos operativos por sobreconsumo de insumos, los gastos asociados a fallas en el proceso o reprocesos como tal.

✓ Impacto ambiental

El control adecuado de remanentes químicos en tanques de almacenamiento permitirá garantizar el cumplimiento de la normatividad ambiental mediante vertimientos seguros, minimizando de esta manera, el riesgo de contaminación en las fuentes hídricas.

✓ Impacto en productividad y competitividad

Los procedimientos estandarizados permitirán mejorar la consistencia y calidad de procesos operativos, reduciendo tiempos muertos y posicionando a la organización como un referente confiable en el manejo seguro del riesgo químico.

Bibliografía

American Institute of Chemical Engineers (AIChE). (2020). Guidelines for risk based process safety. Wiley.

Benito Piedra, F. J. (2017). Sistema de gestión de seguridad en una planta de producción de ácido sulfúrico al 98% según el estándar OHSAS 18001:2007. Universidad Politécnica de Madrid.

Carrión Villazana, M. A., & Huaman Cochachi, D. (2021). Modificación del proceso de neutralización de los efluentes ácidos de la Planta de Ácido Sulfúrico de la empresa Doe Run Perú para disminuir el gasto de reactivos neutralizantes y reducir los gases desprendidos en la poza de neutralización (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú. <https://repositorio.uncp.edu.pe/>

Center for Chemical Process Safety (CCPS). (2018). Guidelines for Writing Effective Operating and Maintenance Procedures. John Wiley & Sons.

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2020). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw-Hill.

International Council of Chemical Associations (ICCA). (2023). Chemical Industry Global Metrics Report.

López, M. A. (2002). Evolución histórica de la catálisis y los métodos industriales para la obtención de grandes reactivos: El caso del ácido sulfúrico.

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. Universidad Nacional de San Agustín.

Recuperado

de:

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

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2023). Gestión integral de residuos peligrosos en Colombia.

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). (2021). Sulfuric Acid: Workplace Safety and Health Topics.

Núñez Ortigüela, J. (2021). Accidentes con ácido sulfúrico: riesgos para la salud de las víctimas y abordaje inicial. Revista Ocronos, 4(10). Recuperado de <https://revistamedica.com/accidentes-acido-sulfurico/>

Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2020). Process Safety Management Guidelines for Compliance.

Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2022). *Permit-required confined spaces standard (29 CFR 1910.146)*. U.S. Department of Labor.

Perry, R. H., & Green, D. W. (2019). Perry's Chemical Engineers' Handbook (9th ed.). McGraw-Hill.

Reason, J. (2016). Managing the Risks of Organizational Accidents. Routledge.

Towler, G., & Sinnott, R. (2021). Chemical Engineering Design: Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design. Elsevier.

Universidad Pontificia Bolivariana (UPB). (2023). Propuesta para la estandarización de actividades de mantenimiento para tanques de almacenamiento atmosféricos bajo estándares API en refinerías colombianas.

Estandarización de procesos como mejora operativa

Universidad Tecnológica de Pereira (UTP). (2021). Diseño de un programa para la implementación del sistema globalmente armonizado en empresas con manejo de riesgo químico de la región.