



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL ÓXIDO DE CALCIO,
PARA LA REMOCIÓN DEL HIERRO, EN RELAVES DE LA MINA
MINSUR POR PRECIPITACIÓN ALCALINA**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. NIWTON ESNIDER PARRA VASQUEZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

PUNO – PERÚ

2022



DEDICATORIA

A mi querida madre: Cerila Lucia Vasquez Leonardo, por siempre haberme apoyado en todo momento por sus consejos, sus valores, por los ejemplos de perseverancia y constancia que la caracterizan y que me ha infundido siempre, por el valor mostrado para salir adelante, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, y su gran corazón que tiene.

A mis hermanas: Gaby y Melody por siempre ayudarme y su apoyo incondicional para lograr mis objetivos.

A mis amigos, ingenieros y compañeros de trabajo en los distintos lugares que estuve que me apoyaron siempre y me hicieron ser una mejor persona por sus consejos.

Niwton Esnider Parra Vasquez.



AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Del Altiplano – Puno, por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios superiores y brindándome la oportunidad de llevar a cabo mi formación profesional.

A la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, por formar profesionales de éxito.

A mi asesor de tesis M.Sc. Ciro Hernán Vera Alatriza que con su experiencia, conocimientos, sugerencias y recomendaciones pude ejecutar la realización del presente trabajo de investigación.

A mis amigos, compañeros y a todas las personas quienes han hecho posible la realización de este trabajo.

Niwton Esnider Parra Vasquez



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 10

ASBTRACT..... 11

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 HIPOTESIS GENERAL 15

1.1.1. Hipotesis general 14

1.1.2. Hipotesis específicos 14

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA GENERAL..... 14

1.2.1. Problema general..... 14

1.2.2. Problemas específicos 14

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... 14

1.3.1. Objetivo general 14

1.3.2. Objetivos específicos..... 14

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO 15

2.1.1. Antecedentes locales 15

2.1.2. Antecedentes nacionales 16



2.1.3. Antecedentes internacionales	19
2.2. SUSTENTO TEÓRICO	21
2.2.1. El agua.....	21
2.3. TRATAMIENTOS CONVENCIONALES DE ELIMINACIÓN DE METALES PESADOS	24
2.3.1. Efluentes acuosos industriales.....	25
2.3.2. Precipitación alcalina	29
2.3.4. Diagrama pourbaix.....	30
2.3.5. Proceso de Coagulación-Floculación	33
2.3.6. Características de las aguas	34
2.4. MARCO LEGAL	36
2.4.1. Legislación aplicable a los metales pesados	37
2.4.2. Diseño experimental estadístico.....	37
CAPITULO III	
MATERIALES Y MÉTODO	
3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO	39
3.2. MATERIALES, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS.....	39
3.3. DISEÑO DE ESTUDIO DE LA INVESTIGACIÓN.....	41
DIAGRAMA DE FLUJO.....	41
3.4. METODOLOGÍA.....	42
3.4.1. Método de precipitación alcalina	42
3.4.2. Rendimiento de remoción de metales	46
3.4.3. Diseño experimental de la investigación.....	47



CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS	48
4.1.1. Concentración inicial de Fe presentes en los relaves mineros.	48
4.2. pH con respecto a la dosificación de CaO.....	49
4.2.1. Rendimiento de recuperación de metales.....	52
4.2.2. Diseño experimental estadístico por Minitab.....	56
V. CONCLUSIONES.....	61
VI. RECOMENDACIONES	62
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
ANEXOS.....	66

ÁREA : Tecnología Ambiental

TEMA: Tratamiento De Aguas

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 04 de agosto del 2022



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Representación esquemática de los procesos de adsorción, absorción e intercambio iónico.	28
Figura 2.	Modelo general de disolución de una partícula.	29
Figura 3.	Solubilidades de hidróxidos metálicos en función del pH	30
Figura 4.	Se muestra diagramas de Pourbaix también llamados diagramas de Potencial-pH del hierro.....	32
Figura 5.	Localización del ámbito de estudio Coordenadas (2020)	39
Figura 6.	pH vs Peso en gramos de (CaO gruesa) malla N°10	50
Figura 7.	pH vs (CaO fina) malla N°140	51
Figura 8.	Curva de comparación de eficiencia en función al pH vs Peso de (CaO gruesa) malla N°10 y (CaO fina) malla N°140	51
Figura 9.	El % de rendimiento de acuerdo a los pesos de (CaO gruesa) malla N°10 abertura 2.00 mm).....	53
Figura 10.	El % de rendimiento de acuerdo a los pesos de (CaO fina) malla N°140 abertura 106µm)	54
Figura 11.	El % de rendimiento de (CaO gruesa) malla N°10 abertura 2.00 mm) y el % de rendimiento de (CaO fina) malla N°140 abertura 106 µm) vs Peso (gramos) de CaO	55
Figura 12.	Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.....	58
Figura 13.	Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.....	59



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Reacción de precipitación alcalina.....	29
Tabla 2.	Comparación de las propiedades de los agentes precipitantes.....	30
Tabla 3.	Niveles de calibración y rango apropiados para la calibración de las muestras para la determinación por espectrometría de masas con plasma.	44
Tabla 4.	Datos de los estándares para realizar la curva de calibración para el equipo de absorción atómica.	46
Tabla 5.	Concentración inicial de Fe en el relave minero.....	48
Tabla 6.	Datos de la concentración del Fe mínimo y máximo.....	48
Tabla 7.	Datos de pH con respecto a su dosificación con (CaO gruesa) malla N°10	49
Tabla 8.	Datos de pH con respecto a su dosificación con (CaO fina) malla N°140...	50
Tabla 9.	El % rendimiento de recuperación de Fe con CaO (gruesa malla N°10).	52
Tabla 11.	Comparación de % de Rendimiento del (CaO gruesa) malla N°10 y % de Rendimiento de (CaO fina) malla N°140.....	54
Tabla 12.	Regresión lineal por Minitab para el reactivo de CaO gruesa malla N°10 abertura de 2.00 milímetros.	57
Tabla 13.	Regresión lineal múltiple Minitab para el reactivo de CaO fina malla N°140 abertura 106 micrómetros.	58



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

Fe	: Hierro
CaO	: Oxido de calcio
FTIR	: Espectroscopia de infrarrojo
g	: Gramo
mg	: Miligramo
L	: Litros
P.A	: Para análisis
ppm	: Partes por millón
pH	: Potencial de Hidrógeno
T(min)	: Tiempo
%R	: Rendimiento de recuperación.
M	: Molaridad.
s	: Segundos.
µm	: Micrómetros.
mm	: Milímetros.
%R	: porcentaje de rendimiento.



RESUMEN

El estudio y el análisis de los resultados de este trabajo de investigación se realizaron en el Laboratorio Químico de la mina San Rafael ubicado en el Distrito de Antauta Provincia de Melgar, Region Puno. El objetivo del trabajo de investigación es determinar la eficiencia del Oxido de calcio de acuerdo a su tamaño de partícula, pH y tiempo para la remoción de Fe de los relaves mineros, La metodología utilizada fue la de precipitación alcalina, en donde se determinó la concentración inicial de Fe de los relaves mineros de la mina San Rafael que contiene una concentración mínima de 4.63 mg/L y máxima de 5.97 mg/L valor que supera los Límites Máximos permisibles del D.S. 004-2017- MINAM (Estándares Nacionales de Calidad Ambiental ECA, para agua). Las evaluaciones experimentales se realizaron en 8 pruebas tanto para (CaO gruesa) malla N°10 y (CaO fina) malla N°140, cada solución conteniendo 4 litros de muestra y dosificando pesos de (0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0), gramos de (CaO gruesa) malla N°10 y (CaO fina) malla N°140, agitando a 20 rpm con un tiempo de mezcla hasta llegar a un pH constante, luego la muestra se dejó decantando para ser separado la parte líquida de la sólida, la muestra tratada se analizó por absorción atómica y como resultado la concentración del (CaO gruesa) malla N°10 con (0.04 mg/L)Fe y un porcentaje de rendimiento de 99.33 % y para la (CaO fina) malla N°140 con (0.04 mg/L)Fe con un porcentaje de rendimiento de 99.33 %. después de analizar los resultados las condiciones óptimas para el (CaO gruesa) malla N°10, con una dosificación de 2.0 gramos, pH de 11.55 y un tiempo de agitación de 50 minutos y para el (CaO fina) malla N°140 con una dosificación de 2.0 gramos, pH de 11.80 y una agitación de 30 minutos con estos resultados concluimos que el (CaO fina) malla N°140 es más eficiente por resultados más óptimos.

Palabras Clave: absorción, cal, concentración, hierro, precipitación.



ASBTRACT

The study and analysis of the results of this research work were carried out in the Chemical Laboratory of the San Rafael mine located in the District of Antauta, Province of Melgar, Region Puno. The objective of the research work is to determine the efficiency of calcium oxide according to its particle size, pH and time for the removal of Fe from mine tailings, The methodology used was alkaline precipitation, where the initial Fe concentration of mine tailings from the San Rafael mine was determined containing a minimum concentration of 4.63 mg/L and maximum of 5.97 mg/L value that exceeds the Maximum Permissible Limits of D.S. 004-2017- MINAM (National Environmental Quality Standards ECA, for water). Experimental evaluations were performed in 8 tests for both (coarse CaO) No. 10 mesh and (fine CaO) No. 140 mesh, each solution containing 4 liters of sample and dosing weights of (0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0), grams of (coarse CaO) No. 10 mesh and (fine CaO) No. 140 mesh, stirring at 20 rpm with a mixing time until reaching a constant pH, then the sample was left decanting to be separated the liquid part of the solid, the treated sample was analyzed by atomic absorption and as a result the concentration of (coarse CaO) No. 10 mesh with (0.04 mg/L)Fe and a yield percentage of 99.33 % and for the (fine CaO) No. 140 mesh with (0.04 mg/L)Fe with a yield percentage of 99.33 %. After analyzing the results, the optimum conditions for the (coarse CaO) No. 10 mesh, with a dosage of 2.0 grams, pH of 11.55 and an agitation time of 50 minutes and for the (fine CaO) mesh No. 140 with a dosage of 2.0 grams, pH of 11.80 and an agitation of 30 minutes with these results we conclude that the (fine CaO) mesh No. 140 is more efficient by more optimal results.

Key words: absorption, lime, concentration, iron, precipitation.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua por metales pesados industriales pone en peligro la salud humana, por lo que los gobiernos establecen regulaciones más estrictas, motivando así un aumento de la investigación y desarrollo de métodos más eficientes para la recuperación de metales pesados Pb, Zn, Cd, que implican la reducción de residuos y el aprovechamiento de los recursos naturales disponibles. Para el tratamiento de efluentes líquidos que contienen metales, existen diferentes métodos de descontaminación, siendo la mayoría los siguientes: precipitación, intercambio de iones, adsorción por ósmosis inversa. (Ribeiro 2008).

Los metales pesados no se degradan químicamente más o menos una vez que se emiten, permanecen durante cientos de años en algunos casos contaminando el agua, el suelo y causando daños a la salud de las personas. Además, su concentración en los seres vivos aumenta a medida que son ingeridos por otros, por lo que las plantas o animales contaminados pueden causar envenenamiento. En el ámbito laboral, un gran número de actividades profesionales el contacto y manipulación de metales pesados, con el consiguiente riesgo laboral de intoxicación. Algunos ejemplos: minería, industrias de transformación, fundiciones, metalurgia en general. (Ribeiro 2008).

En el Perú la diversidad geográfica, geológica, política, y etno-cultural, así como la globalización y el rompimiento de fronteras para el comercio, permiten en la actualidad un desarrollo en variedad de actividades económicas formales e informales que generan riesgos a la salud de origen ambiental.

La presencia de metales pesados en nuestro país no solo es propia de la industria minero-metalúrgica, sino que también se debe a los insumos químicos utilizados como



aluminio, magnesio, hierro, cobre, entre otros, sin embargo, somos un país minero por excelencia, cuya actividad es considerada una importante fuente de generación de divisas, acarreando además riesgos para la salud de origen ambiental y ocupacional, como intoxicaciones por plomo y otros metales pesados.

Con este fin se han establecido normas que limitan las cantidades máximas y mínimas de metales pesados en efluentes antes de ser vertidos al medio y se llevan a cabo estudios, como el presente, orientados a eliminar los metales tóxicos de los vertidos de la manera más eficaz y económica posible. (Lara 2007).

En este proyecto se estudió la eficiencia del (CaO) óxido de calcio en diferentes tamaños granulométricos para la remoción del Fe que en concentraciones altas afecta al medio ambiente y al proceso así también para esto se hicieron corridas de dosificación, agitación y control de pH, para un óptimo proceso.

1.1. HIPÓTESIS GENERAL

1.1.1. Hipótesis general

Se determino la eficiencia del (CaO gruesa) malla N°10 y (CaO fina) malla N°140 para la remoción del hierro (fe) presentes en los relaves mineros de la UM Minsur (San Rafael).

1.1.2. Hipótesis específicas

- Se determino la concentración de hierro presentes en los relaves mineros de la UM Minsur (San Rafael).
- Fue posible definir las condiciones de pH, tiempo y dosificación de CaO (gruesa malla N°10 y fina malla N°140) que se utilizará para el proceso de remoción del hierro (Fe).



1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA GENERAL

1.2.1. Problema general

¿Será posible determinar la eficiencia de (CaO gruesa) malla N°10 y (CaO fina) malla N°140 para la remoción de hierro (Fe) presentes en los relaves mineros de la UM Minsur (San Rafael)?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Será posible determinar la concentración de hierro presentes en los relaves mineros de la UM Minsur (San Rafael)?
- ¿Será posible definir las condiciones de pH, tiempo y dosificación de CaO (gruesa malla N°10 y fina malla N°140) que se utilizará para el proceso de remoción del hierro (Fe)?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

Determinar la eficiencia del (CaO gruesa) malla N°10 y (CaO fina) malla N°140 para la remoción del hierro (Fe) presentes en los relaves mineros de la UM San Rafael.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la concentración del hierro (Fe) presente en los relaves mineros de la UM San Rafael.
- Determinar condiciones de pH, tiempo y dosificación de (CaO gruesa) malla N°10 y (CaO fina) malla N°140 que se utilizara para el proceso de remoción del hierro (Fe).



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

2.1.1. Antecedentes locales

Apaza, (2015). La eficiencia de remoción de Pb, Zn se obtuvo en $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y Pb, Zn con NaOH. Y de acuerdo al plan de experimento y aplicando matemáticas generales para optimizar o mejorar el procesamiento de un modelo de segundo orden, con este obtiene un pH de 9.77 para $\text{Ca}(\text{OH})_2$; una velocidad de agitación de 30 rpm y un tiempo de 19,2 minutos; en cambio para NaOH y los resultados dan un pH de 8.93; velocidad de mezcla 30 rpm y tiempo de agitación 19,18 minutos.

López, (2016). Se realizaron experimentos variando la velocidad de agitación (10 a 150 rpm) y el tiempo de mezcla (10 a 30 min.), con el objetivo de establecer sus influencias en los procesos ensayados. En ambos casos se fijaron las siguientes condiciones: tiempo de mezcla 10 minutos y dosis de coagulante 20 a 100 mg/L, y se varió la velocidad de agitación en el rango 20-150 rpm. Los resultados fueron que se recuperó el 98,10 % de Mn con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y 94,09 % con NaOH. Con el objetivo de establecer la influencia que el pH ejerce en el proceso de precipitación alcalina del agua residual del río Inambari (Cuenca del río Ramis), se efectuó el modelo matemático por experimentación y estadística, el pH óptimo es de 9, con un tiempo de floculación de 8,5 segundos, con una concentración de 100 ppm, utilizando como floculante el NaOH y el pH óptimo es de 8,3, con un tiempo de floculación de 7 segundos y concentración de 100 ppm.



Monroy, (2019). Se utilizaron adsorbentes de arcilla Chacko para la eliminación; obteniéndose el 83,33% de adsorción; utilizando parámetros óptimos de 01 gL^{-1} de adsorbente a pH 5,5 y agitando durante 70 minutos a 120 revoluciones por minuto. Para el tratamiento de aguas residuales de la mina se utilizaron litros, empleando 1 gL^{-1} de adsorbente pH 5.5 y agitación por 70 minutos a 30 por minuto, obteniendo un desobturado de 62.50% de adsorción. Para la remoción de la turbidez se trató con flotación-sedimentación discontinua ascendente con cal utilizando 120 litros de agua residual de mina, utilizando valores de parámetros óptimos de cantidad de adsorbente chacko, pH y tiempo 70 minutos a 120 revoluciones por minuto y en este tiempo se utilizaron 8.4 g de hidróxido de calcio equivalente a 6.36 g de cal artesanal para la turbidez de las aguas residuales de la mina, con 30 revoluciones por minuto, durante 36 minutos.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Escarsena, (2018). Se ha demostrado que el tratamiento de remoción por el método de precipitación alcalina disminuye la contaminación de las aguas municipales. Luego del proceso de precipitación alcalina, la concentración promedio en agua municipal es 0.0115 mg/L con un 78.3% y en agua de pozo es 0.0134 mg/L con una recuperación de 77.29%. Los parámetros fisicoquímicos evaluados en el proceso de recuperación de arsénico por el método de precipitación alcalina para municipios son la velocidad óptima de agitación de 150 rpm, tiempo de 20 minutos y un pH de 3.5 siendo el factor más importante, el tiempo para aguas de pozo, el factor más importante fue el pH de 3.5 utilizando coagulantes $\text{Ca}(\text{OH})_2$ respectivamente.

Rojas, (2017). se realizó 8 ensayos iniciando con la preparación del sintético de DAM con concentraciones basadas en los metales de mayor interés (Fe, Mn y Zn) de la caracterización del DAM proveniente de la Empresa Carbonífera Criciuma S.A - Brasil, se prosiguió construyendo la curva de titulación potenciométrica con 500ml de muestra



de DAM adicionando el álcali de NaOH 4M en incrementos de 1 mL hasta alcanzar un pH de 9 para determinar el pH ideal de precipitación en función a la primera inflexión que se muestra en la curva. Resultando un pH de equivalencia de 3.56, la precipitación selectiva se realizó en valores de pH 3 y 4, según el diseño experimental. El lodo resultado de la precipitación se filtró para separar la fase sólida de la acuosa, el precipitado fue purificado con lavados sucesivos de agua destilada al mismo pH de precipitación y el sobrante fue caracterizado por AAS para evaluar el porcentaje de recuperación de hierro. Se continuó el proceso con la disolución del lodo purificado con HNO₃ diluido formando un complejo denominado ferro-hexa-aqua ion. Después la solución fue alcalinizada con KOH 5M hasta alcanzar un pH de 12 para la formación del compuesto ferrihidrita, inmediatamente el sistema fue diluido y mantenido en calentamiento a 60°C en tiempos de 15 y 30 horas, según el diseño experimental, observando un cambio de color y disminución de pH. En estas condiciones la ferrihidrita se disuelve lentamente para la transformación de goetita. De los productos obtenidos, solo 4 muestras fueron lavadas 5 veces con 100ml de agua destilada; para la obtención de hematita todas las muestras fueron calcinadas a temperatura de 350°C por 2 horas, tamizadas para su caracterización mediante DRX y posteriormente fueron aplicados como pigmento en esmalte para cerámicas. Finalmente se concluye que mediante la precipitación selectiva a un pH de 4 se logra recuperar un 99.98% de hierro presente en el DAM y se logra obtener satisfactoriamente hematita con una pureza de 96% en condiciones de trabajo: un pH de 4 para la precipitación selectiva, un tiempo de transformación de 15 horas y realizando el lavado SI al precipitado goetita con agua destilada.

Puma & Leguia, (2016). Se realizó modificaciones al filtro de bioarena tradicional para lograr la adaptación de los accesorios para la remoción de metales pesados. La remoción de arsénico se logró mediante la adsorción con hidróxido de hierro



y consecuente precipitación. El accesorio es simple y de fácil manipulación ya que está compuesto esencialmente de clavos de hierro. Con dicho accesorio se puede remover más del 95% de arsénico considerando concentraciones iniciales de hasta 100 veces el límite máximo permisible. La remoción de los metales pesados (Cd, Cr, Pb, Fe) se logró mediante la precipitación electroquímica en gránulos de cobre-zinc. El accesorio diseñado logró reducir la contaminación de más del 99% de cromo y cadmio, y valores por encima del 98% de remoción de plomo y hierro, considerando concentraciones iniciales de hasta 100 veces el límite máximo permisible. Los patógenos y los sólidos suspendidos presentes en el agua contaminada, se extraen a través de la combinación de procesos biológicos y químicos que tienen lugar en la capa biológica y dentro de la capa de arena. Finalmente, los filtros de bioarena adaptados pueden generar un gran impacto sanitario, social, ambiental y económico no solo en nuestra región sino también puede ser de utilidad para todas las demás regiones que tienen problemas con metales pesados en sus aguas.

Ramirez, (2013). En el tratamiento de aguas de mina es importante conocer el análisis químico del agua de mina, con la finalidad de tomar la estrategia del caso, según sea los usos que se va a dar al agua tratada. En este caso específico, inicialmente se eleva el pH de 2.5 a 4, usando hidróxido de calcio, que permite precipitar al hierro. En esta etapa se elimina el hierro como hidróxido de hierro por filtración. Posteriormente se sigue elevando el pH de 4 a 7, que permite precipitar el cromo. Se sigue elevando el pH de 7 a 8.1 donde se precipita el catión Cu^{+2} , Finalmente se eleva el pH de 8.1 a 10.5 para precipitar los iones zn^{+2} , Ni^{+2} , Pb^{+2} , Cd^{+2} Una vez separada la mayoría de los cationes en medio alcalino, Se desarrolla un programa de cálculo que utiliza como datos el análisis químico y el volumen de agua de mina que permite calcular la masa total de hidróxido de calcio necesario y la masa de sólidos totales formados.



Barreto, (2016). El agua residual resultante tiene un pH ácido con un valor promedio de 3.51 y una concentración promedio de hierro y cobre de 61,935 y 19,415 ppm, respectivamente. De las aguas residuales mineras se tomaron tres muestras, de 9 litros cada una, y el tratamiento experimental se realizó a diferentes tiempos (30, 60, 90 minutos) y con diferentes concentraciones de óxido de calcio (40, 80, 120 g/L). Se utiliza un espectrómetro de absorción atómica de llama para determinar la concentración de hierro y cobre antes y después del tratamiento, y también se utiliza un medidor de pH para medir el pH de nuestras muestras. De acuerdo con los resultados obtenidos, la cantidad adecuada de cal debe ser de 80 gramos por litro de agua residual generada durante el período de agitación de 90 minutos de tratamiento, durante el cual se realiza una buena remoción y se cumple con las normas ambientales establecidas de acuerdo con el Decreto Supremo No. . 010-2010 min. Finalmente, en los resultados obtenidos se aclaró el efecto del tiempo de agitación y el pH en la remoción de los metales pesados antes mencionados. Porque a medida que aumenta el pH y el tiempo de agitación, disminuyen las concentraciones de hierro y cobre.

2.1.3. Antecedentes internacionales

Loaiza, (2009). Este estudio se realizó con el objetivo de encontrar la mejor solución de tratamiento para la remoción de hierro y manganeso, a través de una planta piloto de flujo presurizado, adaptada a las condiciones de la comunidad, en cuanto a costos de transporte, bajo costo de operación y mantenimiento, sin uso de aislamiento o medios de acondicionamiento, tecnología de fácil control y monitoreo, así como bajo consumo de energía. La planta piloto consta de un aireador, seguido de un tanque de contacto, un tanque de sedimentación (grava) y un filtro flash. Se evaluaron dos configuraciones diferentes del filtro de sedimentación y el filtro rápido, a 3, 6 y 12 m/H, y se encontró que la velocidad de 3 m/h mostró un comportamiento muy similar a la



velocidad de 6 m/H. Al realizar pruebas especiales, los parámetros de hierro, manganeso, alcalinidad, fosfato, nitrato, cloruro, oxígeno disuelto y pH corresponden a los valores especificados por la Resolución 1575/2007 sobre calidad del agua. Sin embargo, la turbidez y el color son superiores a los valores especificados en esta orden, por lo que es necesario utilizar cloruro férrico, como coadyuvante de la coagulación, para reducir estos parámetros a valores inferiores a los valores permisibles, reduciendo así la turbidez a valores aceptables. Superior a 1 UNT, color inferior a 15 UPC y valor de Fe inferior a 0,04 mg/L, Mn inferior a 0/L a la mejor velocidad de procesamiento encontrada en un escaneo de 12 m/h, la suma total de eliminación de hierro fue del 98,3 %, 100 % de hierro Soluble y 88,2% de manganeso.

Alfaro, (2017). Se generan varios puntos de muestreo teniendo en cuenta el proceso de cada unidad de proceso, de manera que se pueden obtener datos sobre el comportamiento de las concentraciones de hierro y manganeso a lo largo del proceso. Se evaluó el sistema en dos momentos: - El sistema funcionó sin optimización, reflejó que los valores de hierro y manganeso en el agua fluctúan dentro de los límites máximos permisibles debido a que en algunos registros cumple con los estándares de agua potable de NSO salvadoreño. 13.07.01:08 y otros registros incompatibles, lo que ha llevado a que los usuarios desconfíen del agua destinada al consumo humano. sistema de trabajo con mejoras; Determinación de dosis de hipoclorito de calcio, construcción de filtros de esponja diseñados para remover sólidos, tanque recolector instalado como deflector para mejorar la retención de hierro y manganeso, además, se limpió la arena del filtro para remover el hierro y manganeso precipitado, y estas mejoras ayudaron a mantener los valores de concentración de hierro por debajo de 0.30 mg/L y el manganeso por debajo de 0.10 mg/L, según normas de El Salvador.



2.2. SUSTENTO TEÓRICO

2.2.1. El agua

El agua es un componente de nuestra naturaleza presente desde hace más de 3.000 millones de años, ocupando cuartas partes de la superficie del planeta. Aproximadamente el 98% corresponde a el agua salada de los mares y océanos, el 69% del agua dulce de la que disponemos corresponde al agua atrapada en los glaciares y la nieve, el 30% consiste en agua subterránea y una cantidad no superior al 0,7 % presente en forma de ríos y lagos. El agua es una molécula simple y extraña, se la puede considerar como el líquido de la vida. Es la sustancia más abundante en la biosfera, se encuentra en sus tres estados y es el componente mayoritario de los seres vivos, ya que entre el 65 y el peso de la mayoría de las formas vivas es agua. El agua también fue el medio del que surgió la vida. Tiene un comportamiento extraño, que lo hace diferente de la mayoría de los líquidos, muestra extraordinarias propiedades físicas y químicas que serán las responsables de su biología. Durante la evolución de la vida, los organismos se adaptan al medio acuoso y han desarrollado mecanismos que les permiten aprovechar las propiedades del agua. (Robledo y Castaño, 2012).

2.2.1.1. Contaminaciones del agua

La contaminación de cuerpos de agua ocurre cuando se liberan directa o indirectamente a cuerpos de agua con un tratamiento adecuado para eliminar los componentes nocivos. La contaminación del agua afecta a las plantas y animales que viven en estos cuerpos de agua y, en la mayoría de los casos, afecta no solo a las especies e individuos, sino también a las comunidades biológicas. El agua de estos cuerpos ha sido contaminada por sustancias tóxicas como ácidos, solventes orgánicos, metales y otros, producto de actividades industriales, agrícolas, pecuarias, dichas aguas ya no son aptas



para el consumo. La descarga de contaminantes específicos no es la única contaminación del agua, sino que también la construcción de presas, embalses y desvíos de ríos pueden degradar su calidad. (Heinke et al., 1999)

2.2.1.2. Contaminaciones del agua por metales pesados

La calidad de las aguas puede verse alterada por actividades antrópicas o naturales que producen efectos nocivos modificando su valor para el ser humano y la biota. En general, la contaminación del agua puede definirse como la alteración adversa que sufre, incorporando una serie de cambios que alteran sus condiciones naturales de calidad, redundando en la salud y el bienestar de los Particularmente peligrosa es la contaminación causada por la fuerza de ciertos metales pesados y sus efectos aumentados causados por la persistencia y el fenómeno de biomagnificación. Naturalmente, los metales se introducen en los sistemas acuáticos como resultado de la lixiviación del suelo y las erupciones volcánicas. También pueden provenir de actividades antropogénicas como la agricultura, la industria y la minería. La actividad minero-metalúrgica mediante el procesamiento de minerales y su fundición, podría ocasionar la dispersión y depósito de cantidades de metales en el ambiente, si la explotación es inadecuada. A diferencia de muchos contaminantes orgánicos, las personas naturales generalmente no eliminan los metales pesados de los ecosistemas acuáticos porque no son biodegradables. Por el contrario, son muy contaminantes y sufren una exobiológica global, donde las aguas naturales son el camino En la actualidad, los metales pesados tienen un gran valor como indicadores de la calidad ecológica de todos los caudales de agua debido a su toxicidad y, sobre todo, su comportamiento bio-acumulativo. Asimismo, los metales pesados tienden a asociarse con sustancias minerales y en mayor medida con sustancias orgánicas, por fenómenos de intercambio iónico, adsorción, combinaciones químicas, etc., de manera que se acumulan en principalmente en los sedimentos de los ríos, lagos y mares



Las altas concentraciones de metales pesados en el agua de los ríos asociados a sulfuros como arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc pueden atribuirse a la minería, que está en el origen del fuerte impacto sobre el entorno. Por el contrario, otros metales distintos del azufre, como el níquel y el mercurio, pueden indicar una contaminación por metales pesados, que está estrechamente asociada con los productos industriales. (Branco-Murgel, 1984).

2.2.1.3. Metales pesados

Los metales como el hierro, cobre y manganeso son metales esenciales porque juegan un papel importante en la biología de sistemas. De manera similar, los metales esenciales también pueden producir toxinas cuando su ingesta es demasiado alta. La presencia en recursos hídricos de metales y sustancias orgánicas complejas, entre otras, ha producido innumerables situaciones de impacto sobre el ecosistema acuático y la salud en general. (Grisales y escobar, 2012)

2.2.1.4. Descripción general del hierro

El elemento químico, de símbolo Fe, número atómico 26 y masa atómica 55.847. El hierro es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre (5%). Es un metal flexible, duradero, plateado y magnético. Los cuatro isótopos estables que se encuentran en la naturaleza tienen masas 54, 56, 57 y 58. Los dos minerales principales son la hematita, Fe_2O_3 , y la limonita, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. La pirita, FeS_2 y la cromita, $\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2$, se extraen como minerales de azufre y cromo, respectivamente. El hierro se encuentra en muchos otros minerales, en el agua subterránea y en la hemoglobina roja de la sangre. La presencia del hierro en el agua provoca precipitación y coloración no deseada. Existen técnicas de separación del hierro del agua.



Hay varias formas de hierro anisotrópico. La ferrita es estable hasta 760°C (1400°F). El cambio de hierro B está relacionado principalmente con la pérdida de permeabilidad porque la estructura de la red (centrada en un cubo) permanece sin cambios. La forma anisotrópica tiene sus átomos en disposiciones cúbicas estrechas y estables de 910 a 1400 °C (1670 a 2600 °F). Este metal es un buen agente reductor y, dependiendo de las condiciones. En la mayoría de los compuestos de hierro, ya sea férrico, hierro (II) o ion hierro, el hierro (III) está presente como una unidad separada. Los compuestos de hierro suelen ser de color amarillo claro a marrón verdoso oscuro; El ion hidratado $(\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6)_2$, que está presente en muchos compuestos y en solución, es de color verde claro. Este ion tiene poca tendencia a formar complejos de coordinación a excepción de los reactivos fuertes como el ion cianuro, la poliamina y la porfirina. Los iones de hierro, debido a su alta carga (3) y pequeño tamaño, tienden a capturar aniones fuertes. El ion hidratado $(\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6)_3$, presente en la solución, se combina con OH^- , F^- , Cl^- , CN^- , SCN^- , N_3^- , $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ y otros aniones para formar complejos de factores de coordinación. Uno de los aspectos interesantes de la química del hierro es la disposición de los compuestos con enlaces de carbono. El cemento, Fe_3C , es un componente del acero. Los compuestos de cianuro de hierro y los iones de hierro son muy estables y no fuertemente magnéticos, a diferencia de la mayoría de los complejos de coordinación de hierro. Los complejos que contienen cianuro forman sales coloreadas.

2.2.1.5. Toxicidad del hierro

El hierro se encuentra en la carne, los productos integrales, las papas y las verduras. El cuerpo humano absorbe el hierro de los animales más rápido que el hierro de las plantas. El hierro es un componente esencial de la hemoglobina: el color rojo de la sangre que transporta el oxígeno por todo el cuerpo. Puede causar conjuntivitis, coriorretinitis y retinitis si entra en contacto y persiste en los tejidos. La inhalación



prolongada de concentraciones muy altas de vapores o polvo de óxido de hierro puede causar un neumotórax leve, conocido como fibrosis lateral, que se puede observar como un cambio en las radiografías. asociado a fibrosis lateral. Respirar concentraciones extremadamente altas de óxido de hierro puede aumentar el riesgo de cáncer de pulmón en trabajadores expuestos a carcinógenos pulmonares. LD50, 50 (oral, rata) = 30 g/kg. (LD50: LD50. Una sola dosis de una sustancia causa la muerte del 50% de los animales debido a la exposición a la sustancia por cualquier método que no sea la inhalación. Suele expresarse en miligramos o gramos por kilogramo de peso animal.)

2.3. TRATAMIENTOS CONVENCIONALES DE ELIMINACIÓN DE METALES PESADOS

2.3.1. Efluentes acuosos industriales

Los métodos de tratamiento químico comúnmente utilizados son: sedimentación, coagulación - floculación, oxidación química, esterilización, adsorción.

- a) **Precipitación:** Es un proceso que consiste en agregar reactivos para reaccionar con ciertos compuestos solubles para formar compuestos en estado sólido que precipitan. Durante la eliminación de contaminantes, la formación de carbonatos, fosfatos, sulfuros, hidróxidos y óxidos es de particular importancia. La precipitación ocurre de acuerdo con las leyes químicas de combinaciones de reactivos y sus productos disueltos. (Banfield y Morgan, 1999)

La capacidad de eliminar minerales por precipitación química depende de dos factores (Landford, 1990).



La solubilidad de los minerales más solubles que se pueden formar es función del producto de solubilidad, el pH del medio y la concentración del sedimento. Separación de sólidos de soluciones acuosas.

- b) **Intercambio iónico:** Es un mecanismo de interacción electrostática, debido a la atracción de Coulomb que ocurre cuando un ion en solución se intercambia por otro ion del mismo signo unido a una partícula sólida estacionaria. (Vigneswaran et al., 2004). Por lo tanto, para eliminar los metales pesados, se utilizaron varios tipos de intercambiadores de iones; Por lo tanto, se ha confirmado la eficacia de la clomptillotida para la recuperación de cadmio y plomo (Maliou et al., 1992).
- c) **Tecnología de membranas:** La membrana es una barrera física semipermeable que separa dos fases, impidiendo su contacto íntimo y restringiendo selectivamente el movimiento de moléculas a través de ella. Este hecho permite separar los contaminantes del agua, dando como resultado aguas residuales puras (Ho y Sirkar, 1992).
- d) **Procesos electroquímicos:** Se basan en el uso de técnicas electroquímicas, que hacen pasar una corriente eléctrica a través del agua (que debe contener un electrolito) y provocan reacciones redox tanto en el cátodo como en el ánodo (Chen, 2004; Sonune).
- e) **Electrodialisis:** Este método aprovecha la propiedad de que los iones en solución tienen movilidad, aplicando potenciales iones positivos moviéndose hacia el cátodo (cátodo) y iones negativos moviéndose hacia el electrodo positivo (ánodo) y se redirige el agua pura. en el contenedor (Landford, 1990).
- f) **Coagulación-floculación:** La coagulación es el proceso en el que se agregan productos químicos al agua residual para reducir la fuerza de arrastre que



arrastra los sólidos en suspensión. Este es un tratamiento necesario para eliminar los sólidos en suspensión. Durante la coagulación, la inestabilidad incluye presión eléctrica de doble capa, gravedad electrostática, puentes entre partículas y atrapamiento de algodón.

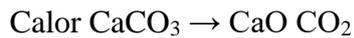
La coagulación y la floculación ocurren en dos etapas; Primero, la fuerza intergranular responsable de la estabilidad del coloide se reduce o elimina agregando el reactivo apropiado; En el segundo caso, las colisiones de partículas promueven la formación de grumos más grandes, que se eliminan del agua por medios físicos como la sedimentación, la flotación o la filtración. Sin embargo, algunos floculantes tienen inconvenientes como el alumbre (sulfato de aluminio) que aumenta el sulfato en el agua y forma grumos que son más difíciles de sedimentar, y el hierro que aumenta la concentración de cloruro en el agua y provoca problemas de pH ácido.

g) Oxido de calcio.

La cal es un término para todas las formas de una sustancia en la que puede ocurrir óxido de calcio (CaO). Se obtiene tras la calcinación de rocas calizas o dolomitas. La cal se ha utilizado desde la antigüedad como aglutinante en la construcción, así como para revestir las paredes y fachadas de edificios construidos con piedra o terracota característica de las antiguas casas mediterráneas o en el fogón griego.

La cal es una sustancia alcalina formada por óxido de calcio (CaO), que es de color blanco o blanco grisáceo, que al contacto con agua o refrigerante desprende calor, otro compuesto llamado cal, que es óxido de calcio y magnesio. o dolomita calcinada. (CaMgO₂). La cal apagada es un polvo o pasta blanca, constituida principalmente por hidróxido de calcio, que se

obtiene añadiendo agua a la cal viva. Añadiendo agua a la cal viva y dolomita calcinada se obtienen productos acuosos, conocidos como cal apagada o hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). La cal viva se obtiene calentando piedra caliza, 10 que tiene un alto contenido en carbonato de calcio (CaCO_3), a una temperatura de unos $900\text{ }^\circ\text{C}$ según la siguiente reacción:



El proceso de quemado se realizaba, industrialmente, en hornos rotativos verticales u horizontales, manualmente posiblemente en hornos tradicionales, romanos o árabes. La densidad del óxido de calcio es de 1000 kg/m^3 .

Siderurgia: Se utiliza como fundente y escorificante.

Metalurgia: Se utiliza en el proceso de flotación; en fundiciones de cobre, plomo y zinc; en la producción de magnesio (se pueden utilizar dos tipos de procesos de producción: procesos de electrólisis o de reducción térmica, en este último caso con cal viva); En la producción de aluminio y como agente de escoria de sílice, previene la formación de compuestos de aluminio y sílice.

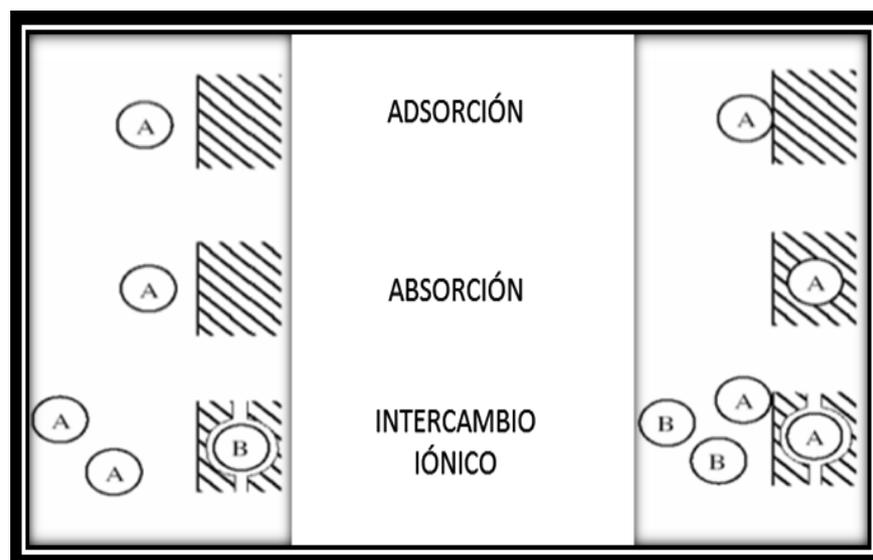


Figura 1. Representación esquemática de los procesos de adsorción, absorción e intercambio iónico.

Fuente: Appelo y Postma (1993).

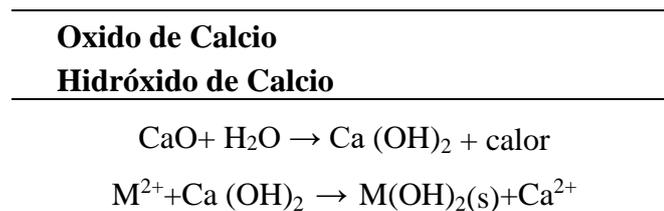
2.3.2. Precipitación alcalina

La precipitación alcalina es un proceso automatizado controlado por una solución de pH básico. Al aumentar el valor de pH usando una solución alcalina común como óxido de calcio (CaO) o hidróxido de calcio (Ca (OH) 2), los hidróxidos de los metales respectivos se vuelven insolubles y se filtran de la solución.

La solubilidad obtenida en teoría es a menudo tan diferente como en la práctica. La solubilidad teórica se puede definir como el número de moles o miligramos de soluto que se pueden disolver en un litro de solución. (Bru, Lou May, Borsten & Murphy, 2009).

La Tabla 1 a continuación muestra las reacciones que ocurren cuando los metales se exponen al hidróxido.

Tabla 1. Reacción de precipitación alcalina.



Nota: M simboliza el metal a precipitar

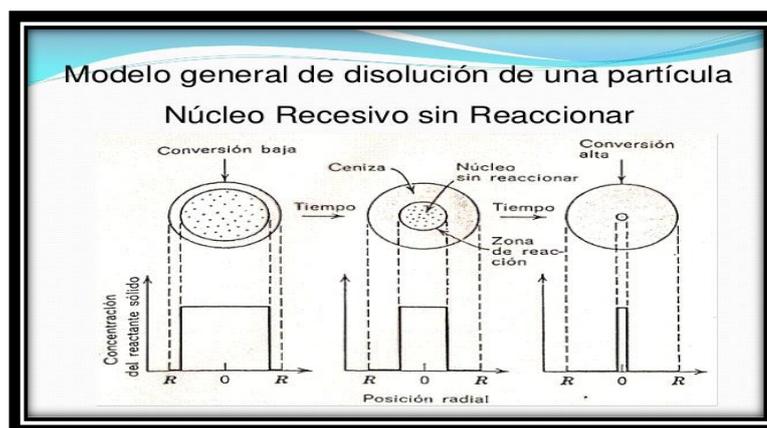


Figura 2. Modelo general de disolución de una partícula.

Fuente: Javier Navarrete, 2017

Los agentes precipitantes alcalinos más utilizados en la industria son:

- Hidróxido de sodio (NaOH)
- óxido de calcio CaO

Al exponer estos sedimentos a una solución que contiene metales solubles, se llevan a cabo las reacciones que se muestran en la Tabla 2 dando algunas características del sedimento.

Tabla 2. Comparación de las propiedades de los agentes precipitantes.

PROPIEDAD	Ca (OH) ₂
Peso molecular (g/mol)	74.1
Densidad (g/cm ³)	2.21
Solubilidad en agua a 20°C (g/mL H ₂ O)	1.85*10 ⁻³
pH máximo reactivo	12.5

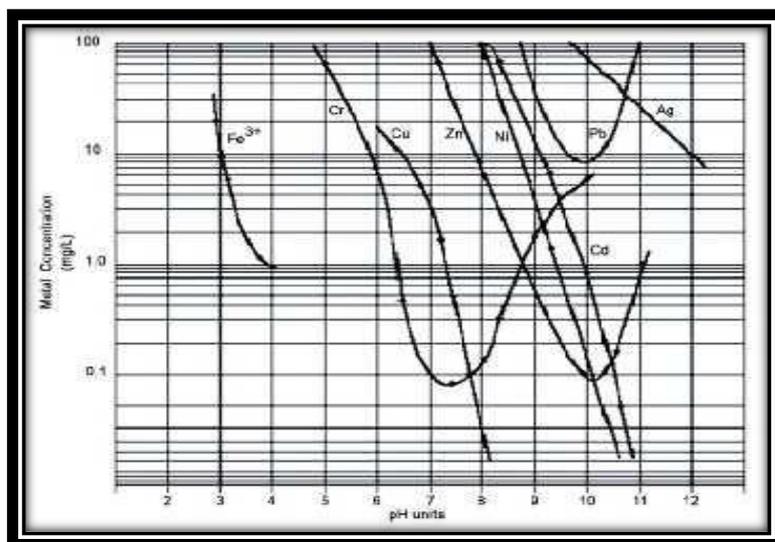


Figura 3. Solubilidades de hidróxidos metálicos en función del pH

Fuente: Hoffland Environmental (2015)

La figura 3 muestra las curvas de solubilidad de los metales pesados comunes y su solubilidad en función del pH de la solución. Las líneas que se muestran son las curvas de solubilidad teórica de varios minerales, y la forma característica de estas líneas es su forma de "U", que representa la solubilidad más baja a un valor de pH dado. El proceso de separación de los minerales de las aguas residuales depende de su diferente grado de



solubilidad dependiendo del pH de la solución, ya que la mayoría de los metales pesados son solubles en medio ácido, precipitan en medio alcalino, lo que permite obtener el agua residual final con una baja concentración de contaminantes. La literatura sobre este tema confirma que este método es efectivo para depositar metales como cobre, cadmio, plata, zinc, cromo, hierro, níquel y aluminio. Entre las ventajas del proceso se encuentran su sencillez, la necesidad de equipos económicos y la seguridad de su operación, sin embargo, entre sus inconvenientes se encuentran la gran cantidad de químicos necesarios para reducir los minerales a niveles bajos y generar una gran cantidad de lodos, lo que requiere mayor procesamiento.

En algunos casos, la precipitación química también es débil, ya que el propósito es ajustar el pH para convertir un metal soluble en un insoluble, pero la presencia de un pH diferente para la precipitación de cierta especie de elemento metálico, lo que limita su uso cuando diferentes cantidades de minerales coexisten en una misma solución o residuo. (Cornewan, Chan, Way y Babel, 2006)

La coagulación y la floculación también se utilizan para eliminar minerales y otras partículas de las aguas residuales. El enfoque general de esta técnica consiste en ajustar el pH e incluye la adición de sales de hierro o aluminio como coagulantes para superar la repulsión entre partículas. (Santos y de Oliveira, 2003).

2.3.4. Diagrama pourbaix

Se utilizan para ayudar a predecir los estados más estables de un metal, sus productos de corrosión y sus iones ligados en solución acuosa. Se presentan como gráficos de energía potencial versus actividad de iones de hidrógeno. Incluso cuando se agregan iones a un sistema de equilibrio que pueden alterar el sistema, como los iones orgánicos, sirve como criterio para determinar cómo se comportan ciertos compuestos en

problemas de corrosión relevantes. Este trabajo reúne estudios que involucran cálculos termodinámicos involucrados en la creación de diagramas de Pourbaix para estados en los que se agregan compuestos o iones para modificar un diagrama Metal-H₂O simple, lo que permite compararlos y demostrar su efecto en áreas del gráfico donde el material es inmunogénico, pasiva o corrosiva. Esta revisión nos permite concluir que el comportamiento de polarización anódica de los metales en medios acuosos es comparable al esquema de Pourbaix para establecer la especie termodinámicamente más estable que cataliza la pasivación; Asimismo, se ha demostrado que los diagramas de pH potencial pueden proporcionar una guía para la evaluación empírica de los inhibidores y los inhibidores de la corrosión y, en última instancia, la determinación de que la presencia de un compuesto material en el diagrama puede indicar una interacción que afecta la corrosión.

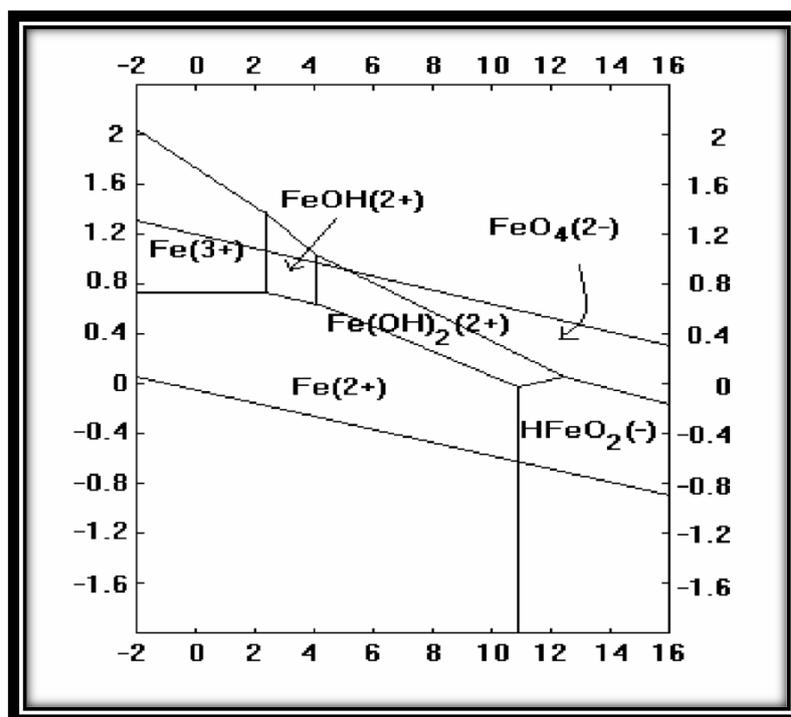


Figura 4. Se muestra diagramas de Pourbaix también llamados diagramas de Potencial-pH del hierro.



2.3.5. Proceso de Coagulación-Floculación

Coagulación: la floculación es el proceso por el cual las moléculas se unen en pequeños grumos que tienen una cierta gravedad mayor que la del agua, se denomina floculación y, por lo tanto, pueden separarse del agua mediante procesos físicos de floculación. Proceso de deposición (Arboleda, 2000).

2.3.5.1. Coagulación

La coagulación es el proceso de desestabilización de partículas en suspensión mediante la adición de un agente químico, que neutraliza la carga coloidal del agua, reduciendo así la fuerza que hace que las partículas se separen. (McCabe, Smith, & Harriot, 2005) Este fenómeno es causado por una serie de reacciones físicas y químicas entre el coagulante, la superficie de la partícula, la alcalinidad del agua y el agua misma. Este proceso solo toma una fracción de segundo. (Bruto, 2000)

No existe una regla general sobre qué coagulante es más efectivo en cada caso, y se suele realizar la prueba correspondiente para un tipo particular de agua residual (prueba del tanque). (Kurniawan, Chan, Wai et Babel, 2006).

2.3.5.2. Factores que influyen en la coagulación

Los siguientes factores deben ser considerados para mejorar la coagulación:

- pH.
- Turbiedad.
- Sales disueltas.
- Temperatura del agua.
- Tipo de coagulante utilizado.



- Condiciones de Mezcla.
- Sistemas de aplicación de los coagulantes.
- Tipos de mezcla y el color.

La correlación entre cada uno ayuda a predecir la cantidad de coagulante que se agrega al agua. (Andy, 2000)

2.3.5.3. Floculación

La coagulación es el mecanismo por el cual las partículas inestables chocan entre sí para formar grumos más grandes llamados grumos; En este proceso, los terrones aumentan su peso hasta superar el peso del líquido que contienen, permitiendo que el terrón sea precipitado (Arboleda, 2000).

.2.3.6. Características de las aguas

La calidad del agua depende de la disposición de los relaves mineros, el grado de su contaminación, la estación climática del año y las condiciones climáticas diarias. Por lo general, requiere un procesamiento extenso y una operación más flexible que cualquier otra fuente. (Russell, 2012).

2.3.6.1. Contaminación del agua y relaves mineros

El agua es un compuesto esencial para la vida, ya que forma parte de un gran número de procesos y reacciones químicas, físicas y biológicas que facilitan la existencia. Décadas atrás, se encontraba en cantidades abundantes en la naturaleza, pero hoy en día uno de los problemas más importantes es la escasez y el abuso de este líquido, con un continuo crecimiento y desarrollo de la población. Cada vez más orientada a mejorar el nivel de vida, se necesitaba más agua para satisfacer a una población creciente, ya que los



recursos naturales se volvieron totalmente inadecuados, tanto para abastecer a la población como para recibir los desechos que genera. (Jiménez, 2005).

Una de las preocupaciones que dominan actualmente al mundo es el creciente desarrollo tecnológico y la consiguiente degradación ambiental. El agua no solo es esencial en varias formas de vida; El 59% del consumo total de agua en los países desarrollados es para uso industrial, el 30% para consumo agrícola y el 11% para consumo doméstico, según el primer informe de desarrollo de recursos de Naciones Unidas.

El agua en el mundo en marzo de 2003. Así, desde su origen el agua después de su uso (aguas residuales) puede definirse como una mezcla de efluentes de viviendas, instituciones, instalaciones comerciales e industriales, así como aguas subterráneas, superficiales y pluviales que pueden ser añadido a los residuos anteriores. (Romero y Jairo, 2005).

2.3.6.2. Tratamiento fisicoquímico de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales es esencial para prevenir la contaminación del medio ambiente y el agua, así como para proteger la salud pública. Una amplia gama de opciones de tratamiento puede ayudar a reducir los efectos nocivos de los desechos contaminados, como los procesos químicos, físicos y/o biológicos o una combinación de estos; Sin embargo, la efectividad y el costo del tratamiento deben sopesarse frente a la practicidad de los métodos elegidos para su implementación.

Cabe señalar que el grado requerido de tratamiento de aguas residuales y la selección de la alternativa más adecuada para el manejo de efluentes de la industria, está determinado por las normas ambientales, así como la disponibilidad de la tecnología adecuada. El tipo y naturaleza del contaminante. La gestión eficaz de esta agua producirá



aguas residuales que se pueden reciclar, reutilizar o liberar de manera segura al medio ambiente. (Weber, 2000).

2.3.6.3. Espectrofotometría de absorción atómica

- Kirchoff dio la base para la espectroscopia de absorción atómica (AAS) al formular su ley general, cualquier sustancia que pueda emitir luz a una longitud de onda determinada también absorberá luz a esa longitud de onda. El significado práctico de esto no fue desarrollado hasta 1955 por Australian Walsh, y las primeras herramientas comerciales aparecieron a principios de la década de 1960.

- **Instrumentación**

Los componentes básicos de un equipo de absorción atómica son:

La fuente de radiación más común para medir la absorción atómica es una lámpara de cátodo hueco, que consta de un cilindro lleno de gas inerte con un electrodo de cátodo (compuesto por el metal que se analiza) y un ánodo. Al aplicar un cierto voltaje a las terminales del electrodo, la fuente emite el espectro atómico del metal del que está hecho el cátodo. Como detector, se utiliza un fotomultiplicador para generar una corriente proporcional a la intensidad de la corriente dieléctrica del monocromador. Un amplificador selectivo amplifica la señal y luego la transmite a un dispositivo de lectura que puede ser un potenciómetro digital, una grabadora u otros dispositivos.

EAA es una de las técnicas más utilizadas para la determinación de más de 60 elementos, principalmente en el rango de $\mu\text{g/ml}$ - ng/ml en una variedad de tipos de muestras. Entre algunas de sus diversas aplicaciones analizamos: agua, muestras geológicas, muestras orgánicas, metales y aleaciones, petróleo y sus derivados; y una amplia gama de muestras de la industria química y farmacéutica. La espectroscopia de absorción atómica de llama es el método más utilizado para identificar metales en una



variedad de sustratos. Su popularidad se debe a su especificidad, sensibilidad y facilidad de uso. En este método, la solución de muestra se succiona directamente a la llama laminar. La función de la llama es producir los átomos en su estado básico y los elementos en la solución de muestra. Temperaturas cercanas a los 1500 a 3000 grados centígrados son suficientes para inducir la disolución de un gran número de elementos que absorberán parte de la radiación proveniente de la fuente de luz.

2.4. MARCO LEGAL

2.4.1. Legislación aplicable a los metales pesados

❖ Reglamentos a nivel nacional

- Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM que modifica normas nacionales.
- Decreto N°010-2010-MINAM por el que se aprueban los límites máximos para el vertimiento de líquidos provenientes de las actividades mineras y mineras, y se publicó el 21 de agosto de 2010 suplemento.
- Decreto Supremo N°021-2009 - Valor Domiciliario Máximo Permitido (VMA) de aguas residuales no domésticas vertidas a la red de alcantarillado.
- Acuerdo de Directorio N°009-2015-SUNASS-CD que modifica la directiva sobre el valor máximo permisible de descarga de aguas residuales no domésticas a la red de alcantarillado, emitido y anunciado el 26 de marzo de 2015.
- Decreto Supremo N°002 - 2008 - MINAM aprueba las Normas Nacionales de Calidad Ambiental para Aguas Clase 1: Población y Recreación (Parámetros Inorgánicos), anunciadas al público el 31 de julio de 2008 Suplemento. Reglamento para la calidad del agua utilizada en las actividades humanas sobre normas inorgánicas. Aprobado por



Decreto N° 031-2010-SA del 24 de septiembre de 2010 / Ministerio Superior de Salud.
Suplemento de la Rama de Salud Ambiental.

2.4.2. Diseño experimental estadístico

El diseño experimental es una técnica estadística que identifica e identifica las causas de un efecto en un estudio experimental. En un diseño experimental, una o más variables, relacionadas con la causa, se manipulan intencionalmente para medir su efecto sobre otra variable de interés. Un diseño experimental describe una serie de instrucciones respecto a qué variables se deben procesar, es decir, con qué frecuencia se debe repetir la prueba y en qué orden se establece un nivel de confianza predeterminado, y la necesidad de una relación causal con la suposición de efectos.

2.4.2.1. Regresión lineal múltiple

En estadística, la regresión lineal múltiple o concordancia lineal es un modelo matemático utilizado para aproximar la relación de dependencia entre una variable dependiente Y y 'm' variables independientes X_1, X_2, \dots, X_m y un término aleatorio ϵ . Este modelo puede ser representado por:

- Y es la variable dependiente o variable de respuesta.
- X_1, X_2, \dots, X_m son las variables explicativas, independientes o regresoras.
- $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$ son los parámetros del modelo, miden la influencia que las variables explicativas tienen sobre el regrediendo.
- el término β_0 es la intersección o término "constante", las β_i ($i \geq 1$) son los parámetros respectivos a cada variable independiente, y m es el número de parámetros independientes a tener en cuenta en la regresión. La regresión lineal puede ser contrastada con la regresión no lineal.

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODO

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

El presente estudio se realizó en el Laboratorio de Química de la UM San Rafael, ubicado en el Distrito de Antauta, Municipio de Melgar, Provincia de Puno - Perú, se tomaron muestras de la tubería de extracción de la planta de condensados. Las pruebas experimentales se realizaron en el laboratorio de la unidad minera donde se realizaron las pruebas, en condiciones ambientales con temperatura de 15 grados Celsius, presión atmosférica 486 mmHg, altitud 4360 m, latitud - 14.2672177 S, longitud -70.3211309 O.



Figura 5. Localización del ámbito de estudio Coordenadas (2020).

3.2. MATERIALES, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

Materia prima

- Oxido de Calcio (gruesa malla N°10 abertura 2.00 milímetros y fina malla N°140 abertura 106 micrómetros) %de pureza de 82.63%

Insumos y reactivos

- Muestra (relave)



- Ácido nítrico (HNO_3) de 1 N
- Estándares de Fe (para realizar las curvas de Fe)

Materiales de laboratorio

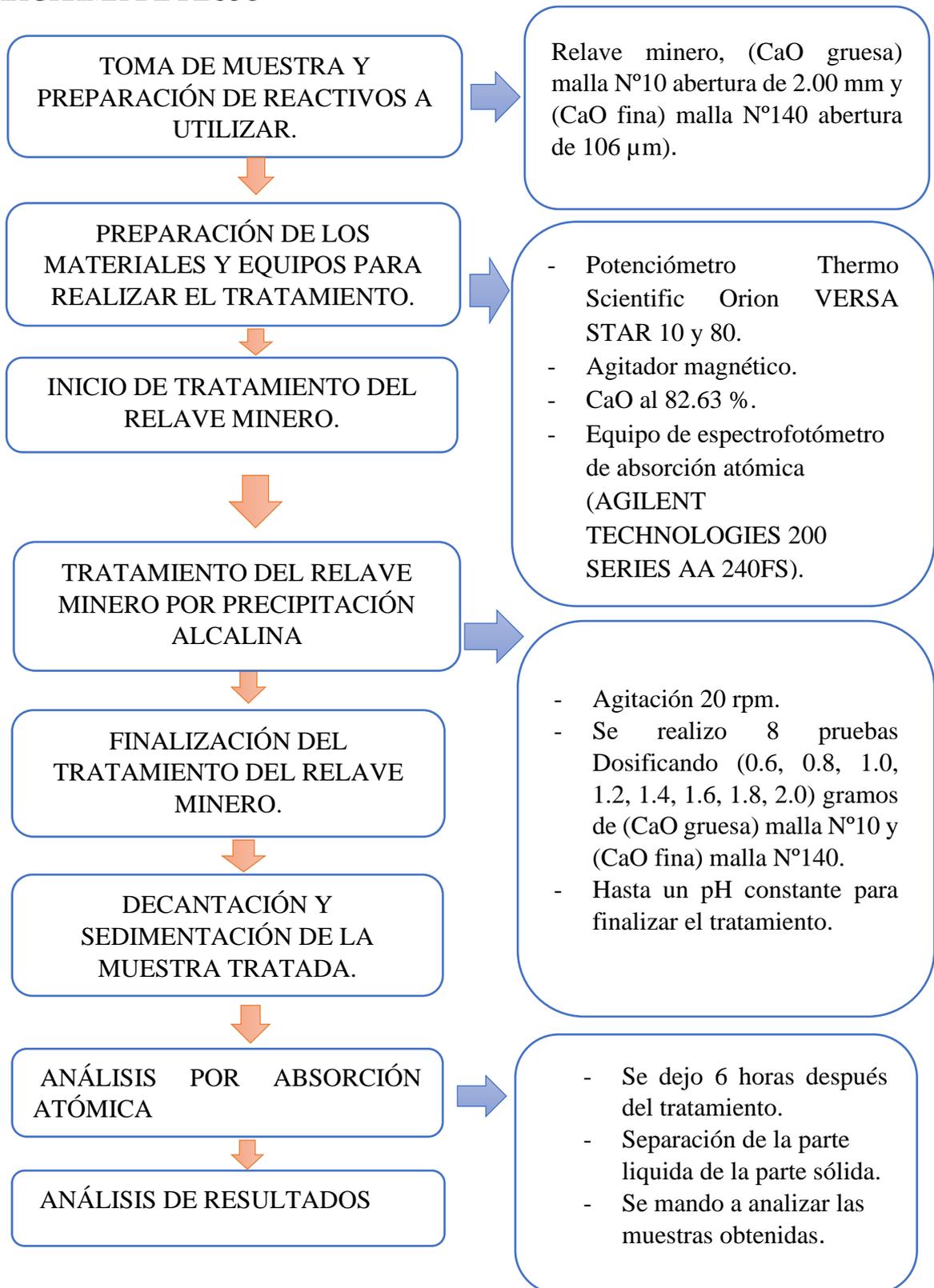
- Vasos de precipitación
- Buretas
- Bara de agitación
- Fiolas
- Tubos de centrifuga
- Embudo
- Papel toalla
- Malla N°10 abertura 2.00 milímetros
- Malla N°140 abertura 106 micrómetros
- Probeta
- Matraz Erlenmeyer

Instrumentos y equipos

- Equipo de espectrofotómetro de absorción atómica (AGILENT TECHNOLOGIES 200 SERIES AA 240FS).
- Potenciómetro Thermo Scientific Orion VERSA STAR 10 y 80
- Agitador magnético.
- Balanza analítica.
- Plancha eléctrica.
- Equipo pulverizador de olla.

3.3. DISEÑO DE ESTUDIO DE LA INVESTIGACIÓN

DIAGRAMA DE FLUJO





3.4. METODOLOGÍA

3.4.1. Método de precipitación alcalina

La precipitación alcalina es un método utilizado para la remoción de los metales pesados en esta investigación nos enfocamos en la remoción del Fe, luego de preparar todo el material y reactivos se procedió a realizar el tratamiento del relave minero.

Variables		
Independientes	Dependientes	Intervinientes
pH		Temperatura
Tiempo	Concentración	Concentración
Dosificación	de Fe	del CaO
de CaO		

a. Muestra de estudio.

La muestra en estudio se tomó de la tubería del relave minero de la salida de la planta concentradora, se hizo un muestreo puntual tomando un volumen requerido para investigación, la muestra se llevó en baldes hacia el laboratorio químico para su respectivo tratamiento con (CaO gruesa) malla N°10 y (CaO fina) malla N°140.

b. Homogenización de la muestra.

Ya obtenida la muestra y trasladada hacia el laboratorio químico de la UM minera se hizo el homogenizado y separación en baldes de 4 litros para su tratamiento.

c. Preparación de reactivos y equipos para el tratamiento del relave minero.

Ya la muestra en laboratorio químico se inició con la preparación del reactivo de (CaO gruesa) malla N°10 tamizado que tiene un porcentaje de pureza de



82.63% y (CaO fina) malla N°140 que se obtuvo pulverizando la CaO gruesa en una pulverizadora de anillos luego se realizó el pesaje en una balanza calibrada para los dos reactivos los pesos fueron (0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0) gramos.

Inmediatamente después de obtener ya los pesos del (CaO gruesa) malla N°10 y (CaO fina) malla N°140 se tomó 4 litros de muestra en un balde donde se puso un agitador magnético para su agitación a 20 rpm y también se puso el potenciómetro Thermo Scientific Orion VERSA STAR 10 para controlar el pH ya calibrado respectivamente y un cronometro para tomar el tiempo.

d. Tratamiento del relave minero por precipitación alcalina.

Ya iniciado la preparación de los reactivos y equipos se inició el tratamiento en donde se tomó los datos de pH, tiempo para cada peso de (CaO gruesa) malla N°10 y (CaO fina) malla N°140 se tomó el pH inicial y el peso del (CaO gruesa) malla N°10 y (CaO fina) malla N°140 para llegar a un pH óptimo de 10-11 que se tomó como referencia los diagramas de Pour Baix ya culminado el tratamiento del relave minero y obtenido los pH finales y tiempos de cada dosificación.

e. Separación liquido solido de muestras tratadas.

Ya culminado el tratamiento se inicia con la separación liquido-solido por el método de sedimentación de solido en donde se separó el líquido del solido para el respectivo análisis por absorción atómica esto se hizo para cada muestra tratada por (CaO gruesa) malla N°10 y (CaO fina) malla N°140 donde se sacó un litro de muestra tratada para su respectivo análisis.

f. Preparación de reactivos para el análisis por espectrofotometría de absorción atómica.

Solución madre multicomponente: Solución que contiene 1.000 mg-L de hierro al 5% de HNO₃. Soluciones estándar multicomponente. En un matraz aforado de 10 mL, diluir 1 mL de la solución madre multicomponente con agua ultrapura y agregar 200 µL de ácido nítrico concentrado. Control de muestra. En un matraz aforado de 500 mL, diluir 5,0 mL de la muestra de control con agua ultrapura y agregar 1 mL de ácido nítrico concentrado. Objetivos: Debe haber tres tipos de objetivos para este método. Un blanco para la curva de calibración, un blanco para controlar la contaminación durante el pretratamiento de la muestra y un blanco entre muestras para reducir el ruido del efecto de memoria del dispositivo.

g. Calibración del equipo de espectrofotometría de absorción atómica

Tabla 3. Niveles de calibración y rango apropiados para la calibración de las muestras para la determinación por espectrometría de masas con plasma.

Nivel de Calibración	1	2	3	4	5	6
Concentración de elementos trazas (µg/L)	0	2	10	50	100	500
Concentración de elementos mayoritarios (µg/L)	0	20	100	500	100	500
Vol. ácido nítrico concentrado (mL)	1	1	1	1	1	1
Vol. solución estándar interno (µL)	25	250	250	250	250	250
Vol. final (mL)	50	50	50	50	50	50

Los estándares de calibración se prepararon en un tubo de centrífuga de polipropileno y se llevaron a un volumen de 50 ml con ácido nítrico al 2% en agua ultrapura. La calibración es independiente del método. Varios métodos pueden



usar la misma calibración. El vínculo entre la titulación y el método se establece cuando se guarda el método.

h. Análisis de Muestra – Análisis de Aguas

- Luego de separar las muestras tratadas se pasó a homogenizar las muestras de 1000mL contenida en un frasco de plástico rotulados.
- Se tomo 100 mL de muestras tratadas, con probeta graduada de 100mL se colocó a unos vasos precipitados de 250 mL, y adiciono 10 mL de ácido nítrico (HNO_3) y se tapó con lunas de reloj.
- Se llevo los vasos precipitados a plancha eléctrica a una temperatura moderada de 150 a 200 °C aproximadamente, para digerir y dejar reducir a un volumen de 10 a 20 mL.
- Ya digerida las muestras se traspasó a unas fioles de 50 mL, posteriormente se trasladó las fioles con tapas a la sala instrumental del equipo de absorción atómica para su respectiva lectura esta acción se realizó para cada muestra.
- Luego se colocó la lampara de Fe para su respectiva calibración con los estándares de Fe para formar la curva de calibración para la realizar el análisis.

i. Determinación de la concentración de Fe en los relaves mineros por absorción atómica.

Se utilizó el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica: Es una técnica para determinar la concentración de Fe con estos resultados obtendremos el porcentaje de rendimiento y su eficiencia.

Tabla 4. Datos de los estándares para realizar la curva de calibración para el equipo de absorción atómica.

	Concentración hierro (Fe)ppm	Absorbancia de hierro (Fe)
Estándar 1	0	0
Estándar 2	0.5	0.040
Estándar 3	1	0.080
Estándar 4	2.5	0.190
Estándar 5	5	0.400

- Se inicio con los análisis y se obtuvo las concentraciones de cada muestra.

Los análisis se hicieron por duplicado tanto para el tratamiento con (CaO gruesa) malla N°10 abertura 2.00 milímetros y (CaO fina) malla N°140 abertura 106 micrómetros para ver su eficiencia en el tratamiento.

3.4.2. Rendimiento de remoción de metales

La variable respuesta del diseño estadístico se cuantifica en el porcentaje de rendimiento del hierro recuperado, el cual se determinó de la siguiente manera:

$$\%R = \frac{(W_1 - W_2)}{W_2} \times 100$$

Donde:

%R = Rendimiento de recuperación de hierro

W1 = Concentración inicial de hierro

W2 = Concentración final de hierro (Perry & Green, 1992)



3.4.3. Diseño experimental de la investigación

El estudio se realizó observando la interacción de tres variables de estudio simultáneamente, ya que se utilizó regresión múltiple en el programa MINITAB, y se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

Para la adición de óxido de calcio al 82.63%, se considera como referencia el **pH de los diagramas de pourbaix**, que están entre 10-11 respectivamente. Los diagramas de pourbaix y pH de soluciones en la Figura 4 se muestra los diagramas de Pourbaix también llamados diagramas de Potencial-pH del hierro.

1. Para la velocidad de mezclado, consideramos el volumen de la muestra a procesar de 4 litros, y utilizamos un agitador magnético con las siguientes características: de 20 rpm, una frecuencia de 50 Hz, un voltaje de 220 V.
2. Para el tiempo de agitación se considera de acuerdo al pH de cada dosis de (CaO gruesa) malla N°10 abertura 2.00mm y (Cao fina) malla N°140 106 μm .



CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Concentración inicial de Fe presentes en los relaves mineros.

Tabla 5. Concentración inicial de Fe en el relave minero.

Cantidad de pruebas	Concentración inicial de hierro (Fe) en la relavera antes de ser tratado en ppm	D.S. 010-2010-MINAM (*) - Minero - Cualquier momento ppm
Prueba (1)	5.47ppm	.
Prueba (2)	5.51ppm	
Prueba (3)	5.49ppm	
Prueba (4)	5.87ppm	2.00 ppm
Prueba (5)	5.98ppm	
Prueba (6)	4.63ppm	
Prueba (7)	5.84ppm	
Prueba (8)	5.97ppm	

En la tabla 5, se hizo el análisis inicial de las muestras tomadas para saber la concentración inicial de Fe, en donde podemos observar que todas las muestras sobre pasan los LMP.

Tabla 6. Datos de la concentración del Fe mínimo y máximo.

Concentración de hierro (Fe) en la relavera	
Mínimo	4.63 ppm
Máximo	5.97 ppm

En la tabla 6, se muestra la concentración del hierro (Fe) en ppm del relave minero con un mínimo y máximo de la muestra inicial.

Discusión



Según Barreto (2016) el agua de la propiedad tiene un pH ácido con un valor promedio de 3.51 y una concentración promedio de hierro de 61,935 ppm cuando este resultado excede la descarga máxima permisible de aguas residuales líquidas de minería y operaciones mineras. (Alto Decreto N° 010-2010-MINAM). De igual forma se puede observar que el pH es un parámetro muy importante en el proceso de neutralización, con un resultado final promedio de 0.927 ppm y un pH promedio de 8.97. Procesando 80 gramos de cal en un litro de agua ácida por un período de 90 minutos de agitación, es posible obtener resultados que no excedan el LMP actual, ya que solo se tiene en cuenta el coeficiente de hierro y la concentración no debe exceder las 2 ppm.

4.2. pH con respecto a la dosificación de CaO.

Tabla 7. Datos de pH con respecto a su dosificación con (CaO gruesa) malla N°10

Datos de pH con respecto a su dosificación con (CaO gruesa) malla N°10	
gramos de óxido de calcio	pH
0.6	8.30
0.8	8.34
1.0	8.39
1.2	9.51
1.4	10.35
1.6	11.31
1.8	11.45
2.0	11.55

En la tabla 7, tenemos datos de la dosificación de (CaO gruesa) malla N°10 en gramos y cuanto de pH llega con cada peso.

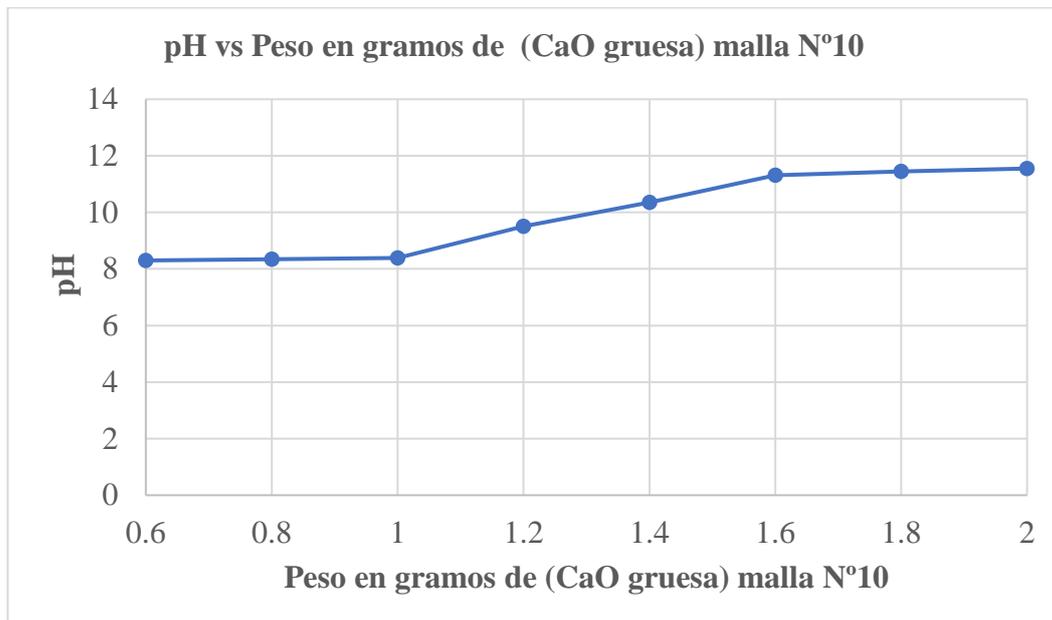


Figura 6. pH vs Peso en gramos de (CaO gruesa) malla N°10.

Figura 6. Se muestra de cómo a mayor dosificación de (CaO gruesa) malla N°10 mayor el pH.

Tabla 8. Datos de pH con respecto a su dosificación con (CaO fina) malla N°140.

Datos de pH con respecto a su dosificación con (CaO fina) malla N°140	
gramos de óxido de calcio	pH
0.6	8.32
0.8	8.38
1.0	8.45
1.2	9.64
1.4	10.50
1.6	11.59
1.8	11.72
2.0	11.80

En la tabla 8, tenemos datos del consumo de (CaO fina) malla N°140 en gramos y cuanto de pH llega con cada peso.

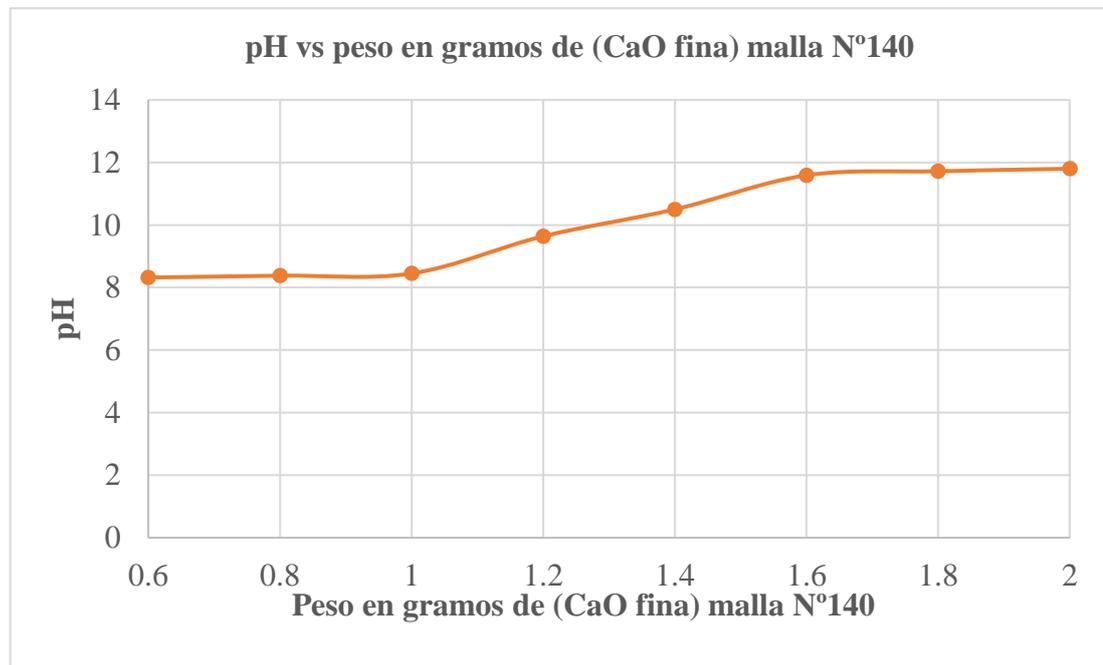


Figura 7. pH vs (CaO fina) malla N°140

En la figura 7, se muestra de cómo a mayor dosificación de (CaO fina) malla N°140 mayor el pH.

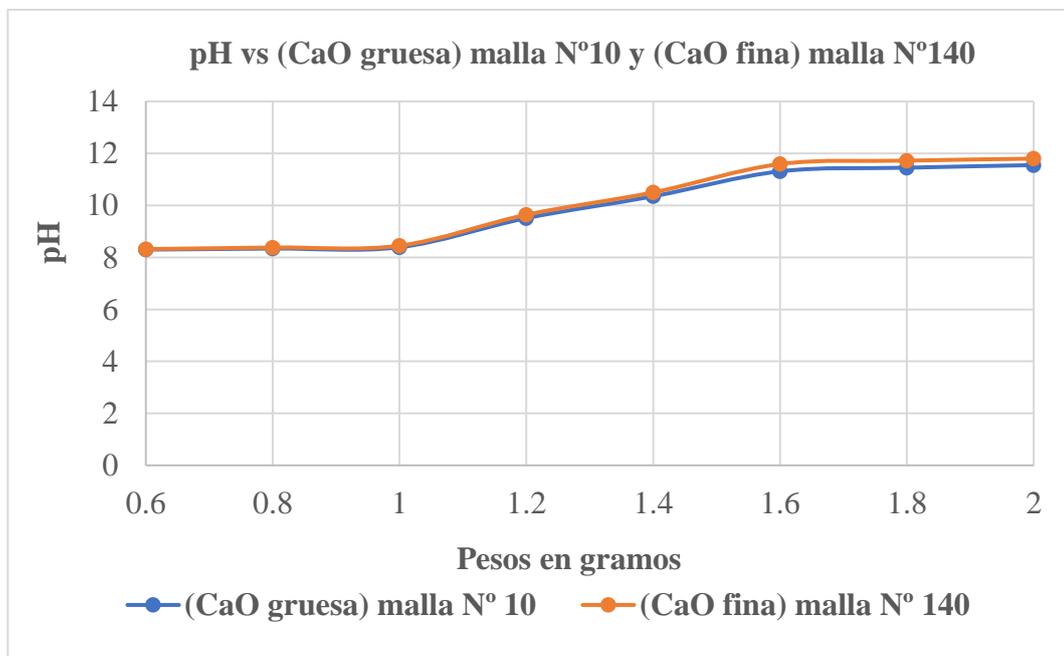


Figura 8. Curva de comparación de eficiencia en función al pH vs Peso de (CaO gruesa) malla N°10 y (CaO fina) malla N°140.



En la figura 8, se muestra la comparación de pH de acuerdo a la cantidad de dosificaciones que agrega tanto con (CaO gruesa) malla N°10 y (CaO fina) malla N°140. Como se aprecia a mayor cantidad de dosificación mayor es el pH que se tiene también se muestra que cuando menor es el tamaño de CaO se tiene un mayor pH.

Discusión:

Según Barreto (2016) hizo pruebas con distintos pesos de dosificación de cal en donde inicio con un peso de 40 g/L, 80 g/L y 120 g/L y su pH inicial es de 3.51 con una concentración de Fe 61.935 ppm que sobre pasan los límites máximos permisibles en donde con 40 g/L se alcanzó un pH de 7.52, con 80 g/L un pH de 8.97 y con 120 g/L un pH de 12.87.

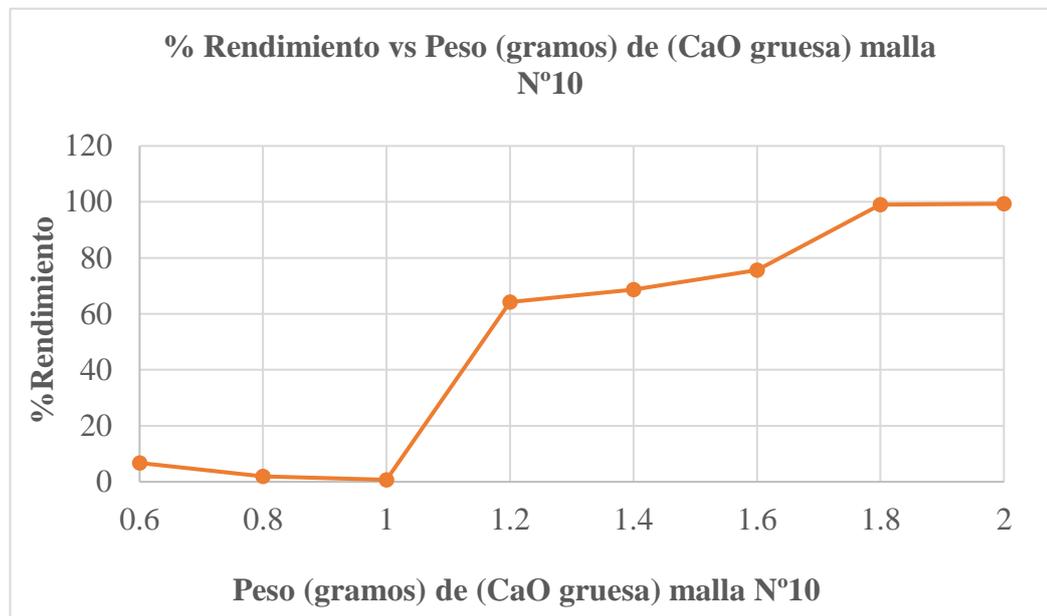
Según López (2016) la recuperación de metales pesado por el método de precipitación alcalina al añadir más dosificación de Ca (OH)₂ alcanza una recuperación de casi el 100%

4.2.1. Rendimiento de recuperación de metales.

Tabla 9. El % rendimiento de recuperación de Fe con (CaO gruesa) malla N°10.

% DE RENDIMIENTO DE RECUPERACIÓN DE Fe CON (CaO GRUESA) MALLA N°10				
gramos de CaO	W1	W2	%R	Tiempo (min)
0.6	5.47	5.1	6.76	30
0.8	5.51	5.4	2.00	30
1.0	5.49	5.45	0.73	40
1.2	5.87	2.10	64.22	55
1.4	5.98	1.87	68.73	70
1.6	4.63	1.13	75.59	75
1.8	5.84	0.06	98.97	60
2.0	5.97	0.04	99.33	50

En esta tabla 9, podemos observar el % rendimiento de recuperación de Fe con (CaO gruesa) malla N°10 y en cuanto tiempo llega de acuerdo a los pesos que indican en la tabla y cómo podemos observar que a mayor dosificación de (CaO gruesa) malla



N°10 aumenta el rendimiento desde un peso inicial de 0.6 gramos de (CaO gruesa) malla N°10 hasta 2.0 gramos de (CaO gruesa) malla N°10 y donde el más óptimo es 2.0 gramos de acuerdo a las tablas y datos obtenidos con un rendimiento de 99.33 % en un tiempo de 50 minutos

Figura 9. El % de rendimiento de acuerdo a los pesos de (CaO gruesa) malla N°10 abertura 2.00 mm).

En esta figura 9, Se muestra que el rendimiento aumenta con respecto al aumento de la dosificación del (CaO gruesa) malla N°10.

% DE RENDIMIENTO DE RECUPERACIÓN DE Fe CON (CaO FINA) MALLA N°140				
gramos de CaO	W1	W2	%R	Tiempo (min)
0.6	5.47	5.00	8.59	20
0.8	5.51	5.39	2.18	25
1.0	5.49	5.35	2.55	30
1.2	5.87	1.90	67.63	45
1.4	5.98	1.64	72.58	60
1.6	4.63	0.94	79.70	60
1.8	5.84	0.05	99.14	45

2.0	5.97	0.04	99.33	30	Tabla
-----	------	------	-------	----	--------------

10. El % Rendimiento de recuperación de Fe con (CaO fina) malla N°140.

En esta tabla 10, podemos observar el % rendimiento de recuperación de Fe con (CaO fina) malla N°140 y en cuanto tiempo llega de acuerdo a los pesos que indican en la tabla y cómo podemos observar cuando se tiene más dosificación de (CaO fina) malla N°140 aumenta el rendimiento y la eficiencia desde un peso inicial de 0.6 gramos de (CaO fina) malla N°140 hasta 2.0 gramos de (CaO fina) malla N°140 y donde el más óptimo es 2.0 gramos de acuerdo a las tablas y datos obtenidos con un rendimiento de 99.33%, en un tiempo de 30 minutos.

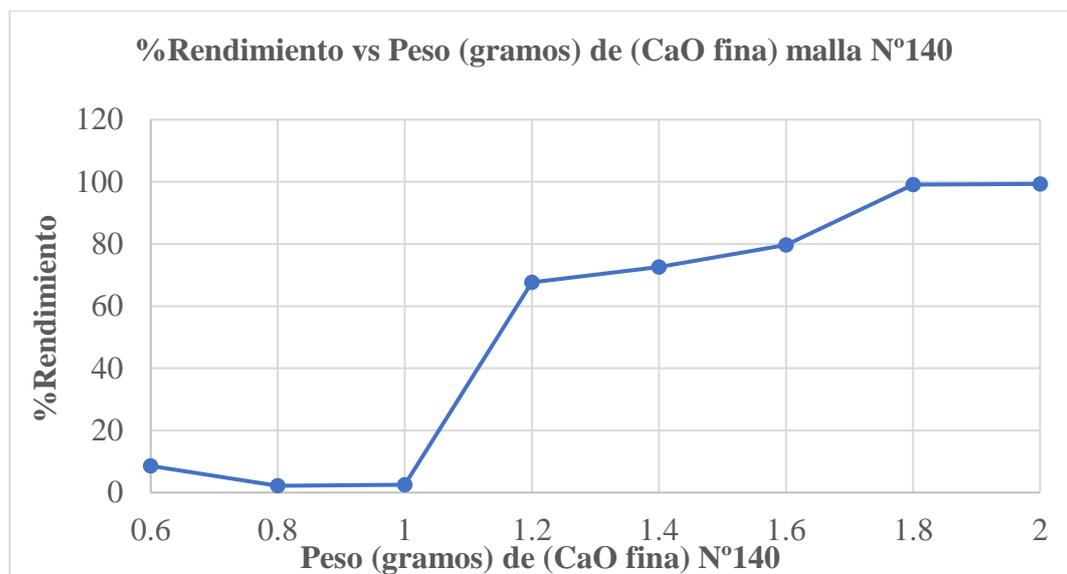


Figura 10. El % de rendimiento de acuerdo a los pesos de (CaO fina) malla N°140 abertura 106µm).

En esta figura 10, Se muestra que el rendimiento aumenta con respecto a la dosificación del (CaO fina) malla N°140.

Tabla 10. Comparación de % de Rendimiento del (CaO gruesa) malla N°10 y % de Rendimiento de (CaO fina) malla N°140.

Peso de CaO	% Rendimiento de (CaO gruesa) malla N°10	Tiempo (min)	%Rendimiento de (CaO fina) malla N°140	Tiempo (min)
-------------	--	--------------	--	--------------

0.6	6.76	30	8.59	20
0.8	2.00	30	2.18	25
1.0	0.73	40	2.55	30
1.2	64.22	55	67.63	45
1.4	68.73	70	72.58	60
1.6	75.59	75	79.70	60
1.8	98.97	60	99.14	45
2.0	99.33	50	99.33	30

En esta tabla 11, compararemos las 8 pruebas que se hicieron para el % de rendimiento y su tiempo, (CaO gruesa) malla N°10 y (CaO fina) malla N°140 en donde podemos observar el rendimiento de los dos reactivos (CaO gruesa) malla N°10 y (CaO fina) malla N°140, en donde se observa que en el peso de 2.0 gramos de CaO el % de rendimiento (CaO gruesa) malla N°10 es de 99.33% y un tiempo de 50 minutos y para (CaO fina) malla N°140 es de 99.33 % con un tiempo de 30 minutos.

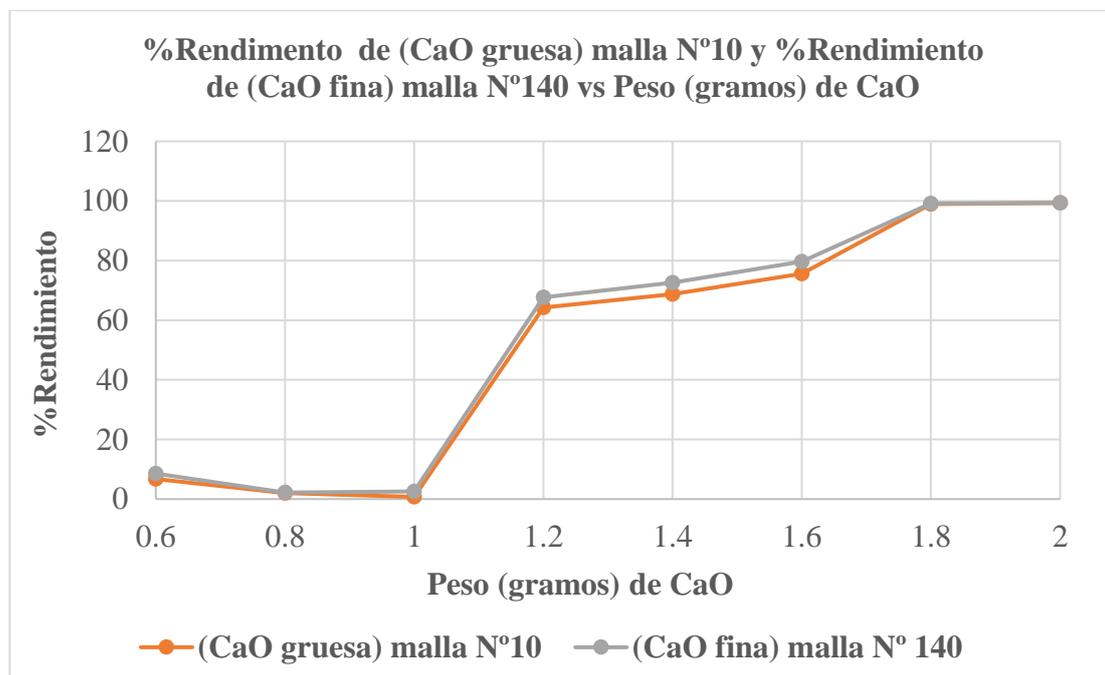


Figura 11. El % de rendimiento de (CaO gruesa) malla N°10 (apertura 2.00 mm) y el % de rendimiento de (CaO fina) malla N°140 (apertura 106 µm) vs Peso (gramos) de CaO



En la figura 11, se muestra la comparación de % de rendimiento del (CaO gruesa) malla N°10 y (CaO fina) malla N°140 en donde se visualiza que la (CaO fina) malla N°140 que el % rendimiento es de 99.33 % un tiempo de 30 minutos y el % rendimiento del (CaO gruesa) malla N°10 es de 99.33 % un tiempo de 50 minutos en donde a partir de 2.0 gramos de CaO el rendimiento ya es constante con tiempos diferentes.

Discusión:

Según Barreto (2016) el agua de la propiedad tiene un pH ácido con un valor promedio de 3.51 y una concentración promedio de hierro de 61,935 ppm cuando este resultado excede la descarga máxima permisible de aguas residuales líquidas de minería y operaciones mineras. (Alto Decreto N° 010-2010-MINAM). De igual forma se puede observar que el pH es un parámetro muy importante en el proceso de neutralización, con un resultado final promedio de 0.927 ppm y un pH promedio de 8.97. Procesando 80 gramos de cal en un litro de agua ácida por un período de 90 minutos de agitación, es posible obtener resultados que no excedan el LMP actual, ya que solo se tiene en cuenta el coeficiente de hierro y la concentración no debe exceder las 2 ppm por lo que, la máxima eficiencia de remoción promedio que se obtuvo fue de 99.97%.

Según López (2016) Las variables de operación fueron pH (de 3.5 a 11), lo que resultó en una recuperación de 98.10% Mn con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y 94.09% con NaOH. Durante la alcalinización del exceso de agua del río Inambari (Cuenca del río Ramis).

Según Rocha (2006) En la revisión titulada "Deposición de hierro (III) usando óxido de magnesio en un lecho fluidizado". Llegó a la siguiente conclusión, que el hierro se elimina efectivamente de una solución acuosa sintética ácida (pH = 1), por precipitación con óxido de magnesio, en un reactor de lecho fluidizado, utilizando soda cáustica de magnesio de alta pureza como agente precipitante. Se estudiaron dos concentraciones



diferentes de hierro en solución (100 a 200 ppm) y dos velocidades de alimentación diferentes, 0,023 y 0,046 L/min. Se logró una remoción de hierro superior al 99%, en comparación con los valores de pH observados, que oscilan entre 6 y 9.

4.2.2. Diseño experimental estadístico por el software Minitab.

Tabla 11. Regresión lineal por Minitab para el reactivo de CaO gruesa malla N°10 abertura de 2.00 milímetros.

Análisis de regresión: Variable de respuesta vs. Dosificación; Tiempo; pH

Ecuación de regresión

$$Y = -81 - 56.5 \text{ Dosificación} + 2.39 \text{ Tiempo} + 6.4 \text{ pH}$$

Coefficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	-81	167	-0.49	0.675	
Dosificación	-56.5	93.3	-0.61	0.606	19.83
Tiempo	2.39	2.45	0.97	0.432	38.22
pH	6.4	26.1	0.24	0.830	17.58

Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
17.5310	90.81%	77.03%	22.15%

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	3	6074.58	2024.86	6.59	0.135
Dosificación	1	112.68	112.68	0.37	0.606
Tiempo	1	292.13	292.13	0.95	0.432
pH	1	18.40	18.40	0.06	0.830

Error	2	614.67	307.33
Total	5	6689.25	

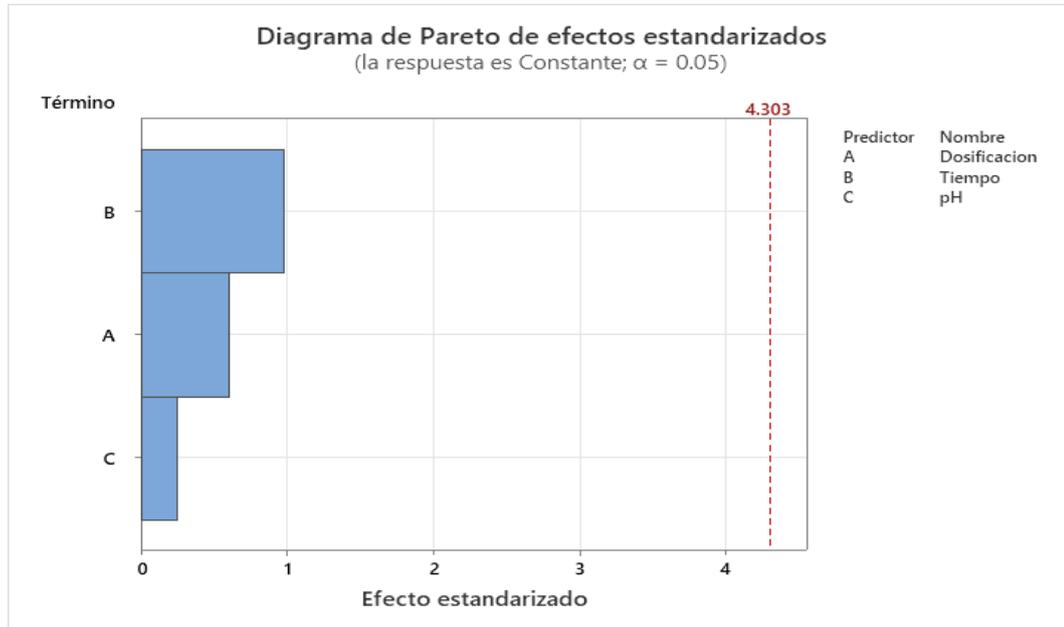


Figura 12. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados

En la figura 12. Ha sido elaborado en base a los datos de la tabla 19 la cual muestra los datos finales entre las variables tenemos, dosificación, pH y tiempo, la más significativa para las variables de respuesta es el Tiempo (B), luego en importancia esta la dosificación (A) y por último está el pH (C).

Tabla 12. Regresión lineal múltiple Minitab para el reactivo de CaO fina malla N°140 abertura 106 micrómetros.

Análisis de regresión: constante vs. dos; tiempo; pH

Ecuación de regresión

$$Y = -107 - 64.4 \text{ Dosificación} + 2.45 \text{ tiempo} + 12.5 \text{ pH}$$

Coefficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	-107	124	-0.86	0.480	

dos	-64.4	89.2	-0.72	0.545	19.17
tiempo	2.45	2.04	1.20	0.353	22.29
pH	12.5	19.3	0.64	0.585	11.75

Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
17.0417	91.95%	79.87%	0.00%

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	3	6631.9	2210.6	7.61	0.118
dos	1	151.5	151.5	0.52	0.545
tiempo	1	418.4	418.4	1.44	0.353
pH	1	120.7	120.7	0.42	0.585
Error	2	580.8	290.4		
Total	5	7212.8			

Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

Obs	constante	Ajuste	Resid	Resid est.	X
6	79.7	82.0	-2.3	-1.41	X

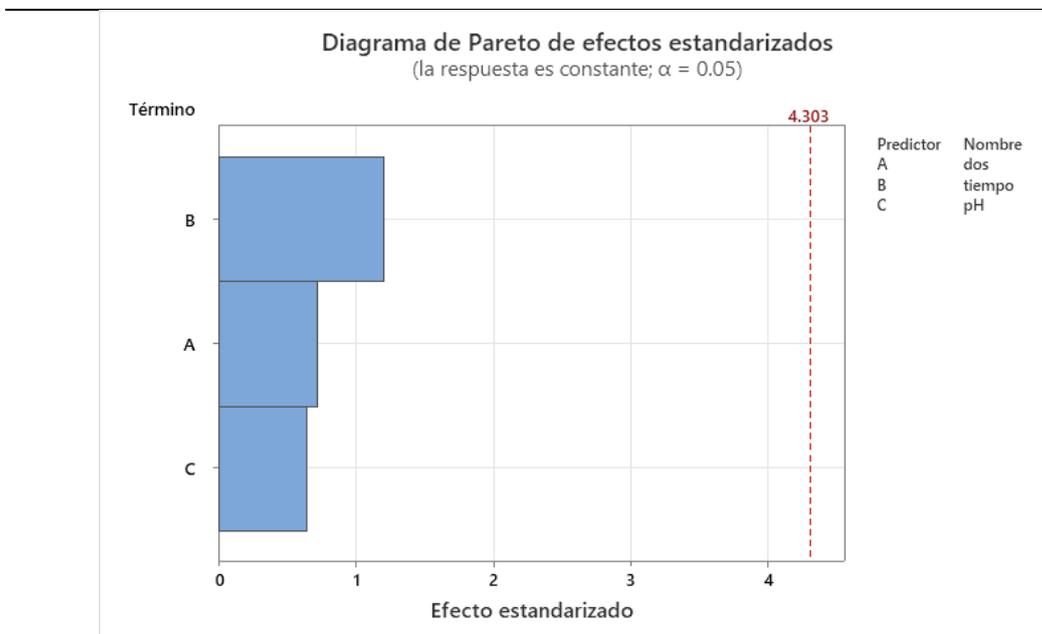


Figura 13. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados

En la figura 13. Ha sido elaborado en base a los datos de la tabla 20 la cual muestra los datos finales entre las variables tenemos, dosificación, pH y tiempo, la más



significativa para las variables de respuesta es el Tiempo (B), luego en importancia esta la dosificación (A) y por último está el pH (C).



V. CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos en esta investigación, se puede concluir que:

- La concentración inicial de hierro (Fe) que se encuentra en el relave minero de la UM Minsur (San Rafael) que tiene una concentración mínima de 4.63 ppm y una máxima de 5.97 ppm cuando se hizo el muestreo.
- Las condiciones óptimas de dosificación, pH y tiempo para una mejor remoción del Fe con (CaO gruesa) malla N°10 y (CaO fina) malla N°140 se obtuvo los resultados siguientes de acuerdo al rendimiento:
 - Para el (CaO gruesa) malla N°10 una dosificación de 2.0 gramos, llegando a un pH óptimo para su remoción del Fe en el relave minero.
 - Para el CaO fina malla N°140 una dosificación de 2.0 gramos, llegando a un pH óptimo para su remoción del Fe en el relave minero.
- La eficiencia y su rendimiento para los dos reactivos depende mucho del tamaño de partícula ya que a menor tamaño de partícula la rapidez de reacción es mayor y para una partícula de mayor tamaño nuestra rapidez de reacción es menor, para lo cual la dosis óptima para el tratamiento en esta investigación es de 2.0 gramos de (CaO gruesa) malla N°10 y (CaO fina) malla N°140, para lo cual con este peso de muestra obtenemos un porcentajes de rendimiento para el (CaO gruesa) malla N°10 de 99.33% con un tiempo de 50 minutos y para el (CaO fina) malla N°140 un porcentaje de rendimiento de 99.33% y un tiempo de 30 minutos, con estos resultados obtenemos cuál de los dos es más eficiente para realizar un tratamiento.



VI. RECOMENDACIONES

Es necesario promover la utilización del método de precipitación alcalina para la remoción del Fe y otros metales pesados y su utilización en la industria minera.

Es necesario seguir haciendo pruebas con dosis mayores para tener un rendimiento mayor.

La Facultad de Ingeniería Química y la Universidad como instituciones científicas y técnicas deben continuar impulsando el desarrollo de tesis y trabajos de investigación sobre el tratamiento de aguas residuales de las minas, así como realizar campañas de propagación de enfermedades que puedan ser ocasionadas por contaminantes que contengan metales pesados, una cultura ambiental

Recomendar a las mineras a invertir en el tratamiento de sus relaves minero y aguas ya que es un recurso muy importante para la vida y también para sus procesos también dar capacitación, charlas sobre el tema de tratamiento de aguas y relaves mineros y remoción de los metales pesados y también nuevas tecnologías.

Recomendar nuevas investigaciones con respecto a nuevos parámetros que se pueden utilizar para un mejor tratamiento de aguas y relaves mineros como la utilización de los diagramas de Pour Baix.

Se recomienda hacer estudios de los otros metales pesados que no han sido evaluado en el presente trabajo de investigación.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andia, Y. (2000). tratamiento de agua: Coagualcion-Floculacion.
- Apaza Asequi, D. W. (2015). Remocion de metales plomo (Pb) y zinc (Zn) de las aguas del rio Toro Qocha por precipitacion alcalina en la ciudad de Juliaca-Puno Universida Nacional del Altiplano.
- Arboleda, J. (2000). teoria y practica de la purificacion del agua-tomo I (3ra) Ed ed .
- Barreto. (2016). Efecto de la dosificación de cal en la remoción de hierro y cobre del efluente de la empresa minera San Simón- La Libertad (tesis pregrado) Universidad Cesar Vallejo la Trujillo-Perú.
- Brow, T. L. (2009). Química la Ciencia Central (11ava ed.). México: Pearson.
- Cuchimaque, C. V. (s.f.). Remoción de Fe y Mn en aguas naturales por adsorción-oxidación sobre clinoptilolita.
- Diaz Alvarez, J. (2013). Tratamiento biológico como alternativa para disminuir el impacto ambiental ocasionado por el drenaje ácido, generado por la actividad Minera en el Municipio de Marmato- Caldas. Tesis (Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente). Manizales: Univers.
- Izquierdo, S. M. (2010). Eliminación de metales pesados en aguas mediante bioadsorción, Evaluación de materiales y modelación de proceso (Tesis doctoral). Universidad de Valencia. Departamento de Ingeniería Química. Valencia-España.
- Kumar A., R. N. (2000). Alkali-treated straw and insoluble straw xanthate aslow cost adsorbents for heavy metal removal - preparation, characterization and application. En: Bioresource Tecnology. .



- Lazo, C. L. (2012). Remoción del Manganese para mejorar la calidad de las aguas de consumo humano en la laguna Azulcocha (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica, Lima-Perú.
- Loarte, V. A. (2015). Efecto del pH y tipo de adsorbente en la remoción de Manganese de aguas superficiales contaminadas por relaves mineros (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de Ingeniería Química, Huancayo-Perú.
- Nina Chambe, M. (2008). Evaluación de los métodos químicos y biogénico para el tratamiento de drenaje ácido de mina a escala de laboratorio. Tesis (Magíster en Ciencias Ambientales). Lima: UNMSM, Facultad de ingeniería geológica, minera, metalúrgica y geográfica.
- oelofse., s. (2008). "Emerging Issues Paper: Mine Water Pollution". EN: Mine Water Pollution - Acid Mine Decant, Effluent and Treatment: A Consideration Of Key Emerging Issues That May Impact The State Of The Environment. 6p. ISBN NO: 978-0-9814178-5-1.
- Rehman, H. S. (2006). Eliminación de Ni de medios acuosos mediante aser ín de Sissoo Dalbergia trabado con hidróxido sodio. J. Chin. Chem. Soc., 1045-1052.
- Romero, A. F. (2010). Tratamiento de efluentes de la industria minera con dolomita. Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial. 13(1): 85-90. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 89p. ISSN: 1560-9146 (Impreso) / ISSN: 1810-9993.
- Soto Regalado, E. e. (2016). Remoción de metales pesados en aguas residuales mediante agentes químicos. Abril-junio 2004. Vol VII. No.23. .



Verdugo Gallegos, L. A. (2013). Remoción de iones sulfato y metales pesados desde soluciones acuosas que simulan aguas de mina usando mezcla de cal, silicatos nano-estructurados y policloruro de aluminio en una celda DAF”. Tesis (químico). Santiago-Chile: Universidad De Chile, Facultad .



ANEXOS

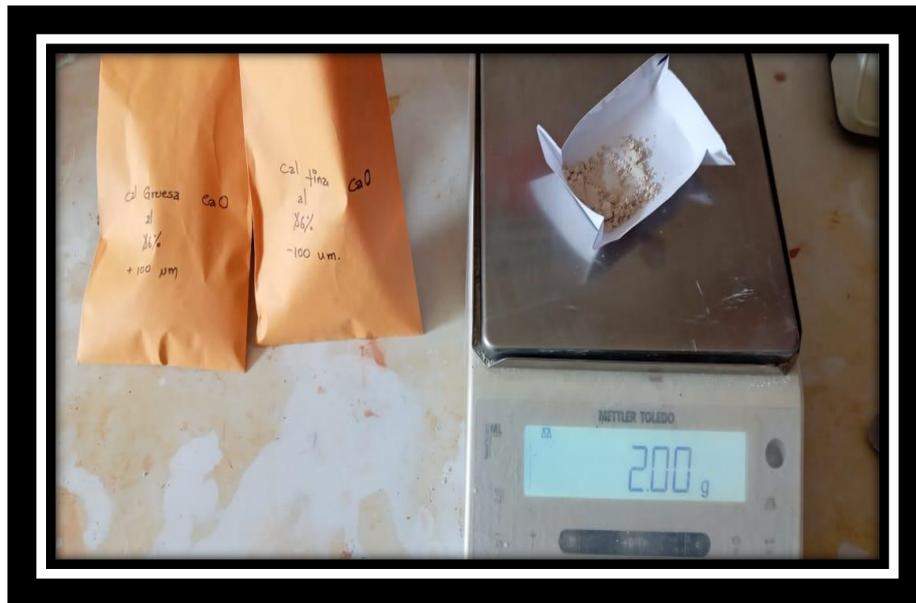
ANEXO A



Multiparámetro y bombas centrífugas para el análisis de las aguas



Equipo de absorción atómica.



Pesaje de las muestras de cal fina y cal gruesa



Muestras ya filtradas para analizar



Dilución de muestras en fiola 25 ml



Medida en pipeta de muestra

Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicas

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el Promedio anual
pH		6 - 9	6 - 9
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50	25
Aceites y Grasas	mg/L	20	16
Cianuro Total	mg/L	1	0,8
Arsénico Total	mg/L	0,1	0,08
Cadmio Total	mg/L	0,05	0,04
Cromo Hexavalente(*)	mg/L	0,1	0,08
Cobre Total	mg/L	0,5	0,4
Hierro (Disuelto)	mg/L	2	1,6
Plomo Total	mg/L	0,2	0,16
Mercurio Total	mg/L	0,002	0,0016
Zinc Total	mg/L	1,5	1,2

ANEXO II
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS DE CALIDAD ORGANOLÉPTICA

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Olor	---	Aceptable
2. Sabor	---	Aceptable
3. Color	UCV escala Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
6. Conductividad (25°C)	µmho/cm	1 500
7. Sólidos totales disueltos	mgL ⁻¹	1 000
8. Cloruros	mg Cl ⁻ L ⁻¹	250
9. Sulfatos	mg SO ₄ ²⁻ L ⁻¹	250
10. Dureza total	mg CaCO ₃ L ⁻¹	500
11. Amoníaco	mg N L ⁻¹	1,5
12. Hierro	mg Fe L ⁻¹	0,3
13. Manganeseo	mg Mn L ⁻¹	0,4
14. Aluminio	mg Al L ⁻¹	0,2
15. Cobre	mg Cu L ⁻¹	2,0
16. Zinc	mg Zn L ⁻¹	3,0
17. Sodio	mg Na L ⁻¹	200

UCV = Unidad de color verdadero
UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad



INFORME DE ENSAYO
SR2006471 Rev. 0

Página 1 de 2

A solicitud de:	MINSUR S.A. Bernini 149, Of. 501A San Borja, Lima 41, Perú	Cantidad Muestras:	3
Por cuenta de:	MINSUR S.A. Bernini 149, Of. 501A San Borja, Lima 41, Perú	Fecha de Recepción:	01/08/2020
Producto descrito como:	EFLUENTE PLANTA	Fecha de Reporte:	01/08/2020
Tipo de Muestra:	Medio Ambiente		
Localidad de preparación:	SGS - Unidad Minera San Rafael		
Referencia Cliente:	2020-08-01 NIWTON ESNIDER PARRA VASQUEZ		
Notas:	D.N.I. 70073980		

Esquema	Método
ISE06V	ANA-MET-LABMIN.74 R01 DETERMINACION DE PARÁMETROS FÍSICOS
AAS31V	ANA-MET-LABMIN.73 DETERMINACION DE METALES DISUELTOS POR ABSORCIÓN ATÓMICA
AAS31W	ANA-MET-LABMIN.72 DETERMINACION DE METALES TOTALES POR ABSORCIÓN ATÓMICA/ANA-MET-LABMIN.73 R00 DETERMINACION DE METALES DISUELTOS POR ABSORCIÓN ATÓMICA

Elemento	T	pH	Con	Con	Fe	Fe	Mn	Cu
Esquema	ISE06V	ISE06V	ISE06V	ISE06V	AAS31V	AAS31W	AAS31W	AAS31W
Unidad	°C		us/cm	us/cm	ppm	ppm	ppm	ppm
Límite de Cuantificación			0.01	0.01	0.03	0.03	0.01	0.01
MUESTRA RELAVE MINERO SIN CAL	--	6.01	--	--	0.55	5.47	9.77	0.08
MUESTRA RELAVE MINERO CON CaO (GRUESO)	--	8.30	--	--	<0.03	5.10	9.70	0.08
MUESTRA RELAVE MINERO CON CaO (FINO)	--	8.32	--	--	<0.03	5.00	9.65	0.08

Elemento	Pb	Zn	Cd
Esquema	AAS31W	AAS31W	AAS31W
Unidad	ppm	ppm	ppm
Límite de Cuantificación	0.02	0.01	0.01
MUESTRA RELAVE MINERO SIN CAL	0.08	1.00	<0.01
MUESTRA RELAVE MINERO CON CaO (GRUESO)	0.08	0.09	<0.01
MUESTRA RELAVE MINERO CON CaO (FINO)	0.08	0.09	<0.01

		Temperatura (°C)	pH	TSS	Fe	Cu	Pb	Zn	Cd
LMP	DS 003-2010-MINAM - Domésticas	<35	6.5-8.5	150	-	-	-	-	-
LMP	DS 010-2010-MINAM (*) - Minero - Cualquier momento	-	6-9	50	2	0.5	0.2	1.5	0.05
LMP	DS 010-2010-MINAM (**) - Minero - Promedio Anual	-	6-9	25	1.6	0.4	0.16	1.2	0.04

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio; su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regirá por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensajada(s) y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C. | Car. Desvío C. Juliaca - Macusani km. 102 Asiento Minero San Rafael Antauta, Melgar, Puno. | www.pe.sgs.com

Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)



**INFORME DE ENSAYO
SR2006471 Rev. 0**

Página 2 de 2

**Analizado y Emitido en Car. Desvío C. Juliaca - Macusani km. 102 Asiento Minero San Rafael
Antauta, Melgar, Puno-Perú el , 01/08/2020**

**Luis Rondan
Residente
CIP 188479**

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/termino-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s) y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C. | Car. Desvío C. Juliaca - Macusani km. 102 Asiento Minero San Rafael Antauta, Melgar, Puno... www.pe.sgs.com

Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)



INFORME DE ENSAYO
SR2006472 Rev. 0

Página 1 de 2

A solicitud de:	MINSUR S.A. Bernini 149, Of. 501A San Borja, Lima 41, Perú	Cantidad Muestras:	3
Por cuenta de:	MINSUR S.A. Bernini 149, Of. 501A San Borja, Lima 41, Perú	Fecha de Recepción:	01/08/2020
Producto descrito como:	EFLUENTE PLANTA	Fecha de Reporte:	01/08/2020
Tipo de Muestra:	Medio Ambiente		
Localidad de preparación:	SGS - Unidad Minera San Rafael		
Referencia Cliente:	2020-08-01 NIWTON ESNIDER PARRA VASQUEZ		
Notas:	D.N.I. 70073980		

Esquema	Método
ISE06V	ANA-MET-LABMIN.74 R01 DETERMINACION DE PARÁMETROS FÍSICOS
AAS31V	ANA-MET-LABMIN.73 DETERMINACIÓN DE METALES DISUELTOS POR ABSORCIÓN ATÓMICA
AAS31W	ANA-MET-LABMIN.72 DETERMINACION DE METALES TOTALES POR ABSORCIÓN ATÓMICA/ANA-MET-LABMIN.73 R00 DETERMINACION DE METALES DISUELTOS POR ABSORCIÓN ATÓMICA

Elemento Esquema Unidad Limite de Cuantificación	T ISE06V °C	pH ISE06V	Con ISE06V us/cm 0.01	Con ISE06V us/cm 0.01	Fe AAS31V ppm 0.03	Fe AAS31W ppm 0.03	Mn AAS31W ppm 0.01	Cu AAS31W ppm 0.01
MUESTRA RELAVE MINERO SIN CAL	--	6.04	--	--	0.55	5.51	9.87	0.07
MUESTRA RELAVE MINERO CON CaO (GRUESO)	--	8.34	--	--	<0.03	5.40	9.80	0.07
MUESTRA RELAVE MINERO CON CaO (FINO)	--	8.38	--	--	<0.03	5.39	9.80	0.07

Elemento Esquema Unidad Limite de Cuantificación	Pb AAS31W ppm 0.02	Zn AAS31W ppm 0.01	Cd AAS31W ppm 0.01
MUESTRA RELAVE MINERO SIN CAL	0.09	1.10	<0.01
MUESTRA RELAVE MINERO CON CaO (GRUESO)	0.09	0.09	<0.01
MUESTRA RELAVE MINERO CON CaO (FINO)	0.09	0.09	<0.01

		Temperatura (°C)	pH	TSS	Fe	Cu	Pb	Zn	Cd
LMP	DS 003-2010-MINAM - Domésticas	<35	6.5-8.5	150	-	-	-	-	-
LMP	DS 010-2010-MINAM (*) - Minero - Cualquier momento	-	6-9	50	2	0.5	0.2	1.5	0.05
LMP	DS 010-2010-MINAM (**) - Minero - Promedio Anual	-	6-9	25	1.6	0.4	0.16	1.2	0.04

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s) y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C. | Car. Desvío C. Juliaca - Macusani km. 102 Asiento Minero San Rafael Antauta, Melgar, Puno. | www.pe.sgs.com

Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)



**INFORME DE ENSAYO
SR2006472 Rev. 0**

Página 2 de 2

**Analizado y Emitido en Car. Desvío C. Juliaca - Macusani km. 102 Asiento Minero San Rafael
Antauta, Melgar, Puno-Perú el , 01/08/2020**

**Luis Rondan
Residente
CIP 188479**

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s) y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C. | Car. Desvío C. Juliaca - Macusani km. 102 Asiento Minero San Rafael Antauta, Melgar, Puno. | www.pe.sgs.com

Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)



INFORME DE ENSAYO
SR2006473 Rev. 0

Página 1 de 2

A solicitud de:	MINSUR S.A. Bernini 149, Of. 501A San Borja, Lima 41, Perú	Cantidad Muestras:	3
Por cuenta de:	MINSUR S.A. Bernini 149, Of. 501A San Borja, Lima 41, Perú	Fecha de Recepción:	01/08/2020
Producto descrito como:	EFLUENTE PLANTA	Fecha de Reporte:	01/08/2020
Tipo de Muestra:	Medio Ambiente		
Localidad de preparación:	SGS - Unidad Minera San Rafael		
Referencia Cliente:	2020-08-01 NIWTON ESNIDER PARRA VASQUEZ D.N.I. 70073980		
Notas:			

Esquema	Método
ISE06V	ANA-MET-LABMIN.74 R01 DETERMINACION DE PARÁMETROS FÍSICOS
AAS31V	ANA-MET-LABMIN.73 DETERMINACIÓN DE METALES DISUELTOS POR ABSORCIÓN ATÓMICA
AAS31W	ANA-MET-LABMIN.72 DETERMINACION DE METALES TOTALES POR ABSORCIÓN ATÓMICA/ANA-MET-LABMIN.73 R00 DETERMINACION DE METALES DISUELTOS POR ABSORCIÓN ATÓMICA

Elemento	T	pH	Con	Con	Fe	Fe	Mn	Cu
Esquema	ISE06V	ISE06V	ISE06V	ISE06V	AAS31V	AAS31W	AAS31W	AAS31W
Unidad	°C		us/cm	us/cm	ppm	ppm	ppm	ppm
Limite de Cuantificación			0.01	0.01	0.03	0.03	0.01	0.01
MUESTRA RELAVE MINERO SIN CAL	--	6.24	--	--	0.55	5.49	9.86	0.07
MUESTRA RELAVE MINERO CON CaO (GRUESO)	--	8.39	--	--	<0.03	5.45	9.80	0.07
MUESTRA RELAVE MINERO CON CaO (FINO)	--	8.45	--	--	<0.03	5.35	9.76	0.07

Elemento	Pb	Zn	Cd
Esquema	AAS31W	AAS31W	AAS31W
Unidad	ppm	ppm	ppm
Limite de Cuantificación	0.02	0.01	0.01
MUESTRA RELAVE MINERO SIN CAL	0.09	1.10	<0.01
MUESTRA RELAVE MINERO CON CaO (GRUESO)	0.09	0.07	<0.01
MUESTRA RELAVE MINERO CON CaO (FINO)	0.09	0.07	<0.01

		Temperatura (°C)	pH	TSS	Fe	Cu	Pb	Zn	Cd
LMP	DS 003-2010-MINAM - Domésticas	<35	6.5-8.5	150	-	-	-	-	-
LMP	DS 010-2010-MINAM (*) - Minero - Cualquier momento	-	6-9	50	2	0.5	0.2	1.5	0.05
LMP	DS 010-2010-MINAM (**) - Minero - Promedio Anual	-	6-9	25	1.6	0.4	0.16	1.2	0.04

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s) y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C. | Car. Desvío C. Juliaca - Macusani km. 102 Asiento Minero San Rafael Antauta, Melgar, Puno. | www.pe.sgs.com

Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)



**INFORME DE ENSAYO
SR2006473 Rev. 0**

Página 2 de 2

**Analizado y Emitido en Car. Desvío C. Juliaca - Macusani km. 102 Asiento Minero San Rafael
Antauta, Melgar, Puno-Perú el , 01/08/2020**

**Luis Rondan
Residente
CIP 188479**

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s) y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C. | Car. Desvío C. Juliaca - Macusani km. 102 Asiento Minero San Rafael Antauta, Melgar, Puno. | www.pe.sgs.com

Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)



INFORME DE ENSAYO
SR2006474 Rev. 0

Página 1 de 2

A solicitud de:	MINSUR S.A. Bernini 149, Of. 501A San Borja, Lima 41, Perú	Cantidad Muestras:	3
Por cuenta de:	MINSUR S.A. Bernini 149, Of. 501A San Borja, Lima 41, Perú	Fecha de Recepción:	01/08/2020
Producto descrito como:	EFLUENTE PLANTA	Fecha de Reporte:	01/08/2020
Tipo de Muestra:	Medio Ambiente		
Localidad de preparación:	SGS - Unidad Minera San Rafael		
Referencia Cliente:	2020-08-01 NIWTON ESNIDER PARRA VASQUEZ		
Notas:	D.N.I. 70073980		

Esquema	Método
ISE06V	ANA-MET-LABMIN.74 R01 DETERMINACION DE PARÁMETROS FÍSICOS
AAS31V	ANA-MET-LABMIN.73 DETERMINACIÓN DE METALES DISUELTOS POR ABSORCIÓN ATÓMICA
AAS31W	ANA-MET-LABMIN.72 DETERMINACION DE METALES TOTALES POR ABSORCIÓN ATÓMICA/ANA-MET-LABMIN.73 R00 DETERMINACION DE METALES DISUELTOS POR ABSORCIÓN ATÓMICA

Elemento	T	pH	Con	Con	Fe	Fe	Mn	Cu
Esquema	ISE06V	ISE06V	ISE06V	ISE06V	AAS31V	AAS31W	AAS31W	AAS31W
Unidad	°C		us/cm	us/cm	ppm	ppm	ppm	ppm
Limite de Cuantificación			0.01	0.01	0.03	0.03	0.01	0.01
MUESTRA RELAVE MINERO SIN CAL	--	6.24	--	--	0.55	5.87	10.00	0.07
MUESTRA RELAVE MINERO CON CaO (GRUESO)	--	9.51	--	--	<0.03	2.10	6.10	0.07
MUESTRA RELAVE MINERO CON CaO (FINO)	--	9.64	--	--	<0.03	1.90	5.88	0.07

Elemento	Pb	Zn	Cd
Esquema	AAS31W	AAS31W	AAS31W
Unidad	ppm	ppm	ppm
Limite de Cuantificación	0.02	0.01	0.01
MUESTRA RELAVE MINERO SIN CAL	0.09	1.11	<0.01
MUESTRA RELAVE MINERO CON CaO (GRUESO)	0.09	0.06	<0.01
MUESTRA RELAVE MINERO CON CaO (FINO)	0.08	0.06	<0.01

		Temperatura (°C)	pH	TSS	Fe	Cu	Pb	Zn	Cd
LMP	DS 003-2010-MINAM - Domésticas	<35	6.5-8.5	150	-	-	-	-	-
LMP	DS 010-2010-MINAM (*) - Minero - Cualquier momento	-	6-9	50	2	0.5	0.2	1.5	0.05
LMP	DS 010-2010-MINAM (**) - Minero - Promedio Anual	-	6-9	25	1.6	0.4	0.16	1.2	0.04

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s) y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C. | Car. Desvío C. Juliaca - Macusani km. 102 Asiento Minero San Rafael Antauta, Melgar, Puno. www.pe.sgs.com

Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)



**INFORME DE ENSAYO
SR2006474 Rev. 0**

Página 2 de 2

**Analizado y Emitido en Car. Desvío C. Juliaca - Macusani km. 102 Asiento Minero San Rafael
Antauta, Melgar, Puno-Perú el , 01/08/2020**

**Luis Rondan
Residente
CIP 188479**

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/s-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s) y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C. | Car. Desvío C. Juliaca - Macusani km. 102 Asiento Minero San Rafael Antauta, Melgar, Puno... | www.pe.sgs.com

Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)



INFORME DE ENSAYO
SR2006475 Rev. 0

Página 1 de 2

A solicitud de:	MINSUR S.A. Bernini 149, Of. 501A San Borja, Lima 41, Perú	Cantidad Muestras:	3
Por cuenta de:	MINSUR S.A. Bernini 149, Of. 501A San Borja, Lima 41, Perú	Fecha de Recepción:	01/08/2020
Producto descrito como:	EFLUENTE PLANTA	Fecha de Reporte:	01/08/2020
Tipo de Muestra:	Medio Ambiente		
Localidad de preparación:	SGS - Unidad Minera San Rafael		
Referencia Cliente:	2020-08-01 NIWTON ESNIDER PARRA		
Notas:	VASQUEZD.N.I. 70073980		

Esquema	Método
ISE06V	ANA-MET-LABMIN.74 R01 DETERMINACION DE PARÁMETROS FÍSICOS
AAS31V	ANA-MET-LABMIN.73 DETERMINACIÓN DE METALES DISUELTOS POR ABSORCIÓN ATÓMICA
AAS31W	ANA-MET-LABMIN.72 DETERMINACION DE METALES TOTALES POR ABSORCIÓN ATÓMICA/ANA-MET-LABMIN.73 R00 DETERMINACION DE METALES DISUELTOS POR ABSORCIÓN ATÓMICA

Elemento	T	pH	Con	Con	Fe	Fe	Mn	Cu
Esquema	ISE06V	ISE06V	ISE06V	ISE06V	AAS31V	AAS31W	AAS31W	AAS31W
Unidad	°C		us/cm	us/cm	ppm	ppm	ppm	ppm
Limite de Cuantificación			0.01	0.01	0.03	0.03	0.01	0.01
MUESTRA RELAVE MINERO SIN CAL	--	6.51	--	--	0.55	5.98	10.11	0.07
MUESTRA RELAVE MINERO CON CaO (GRUESO)	--	10.35	--	--	<0.03	1.87	5.10	0.07
MUESTRA RELAVE MINERO CON CaO (FINO)	--	10.50	--	--	<0.03	1.64	4.90	0.07

Elemento	Pb	Zn	Cd
Esquema	AAS31W	AAS31W	AAS31W
Unidad	ppm	ppm	ppm
Limite de Cuantificación	0.02	0.01	0.01
MUESTRA RELAVE MINERO SIN CAL	0.09	1.11	<0.01
MUESTRA RELAVE MINERO CON CaO (GRUESO)	0.09	0.05	<0.01
MUESTRA RELAVE MINERO CON CaO (FINO)	0.08	0.05	<0.01

		Temperatura (°C)	pH	TSS	Fe	Cu	Pb	Zn	Cd
LMP	DS 003-2010-MINAM - Domésticas	<35	6.5-8.5	150	-	-	-	-	-
LMP	DS 010-2010-MINAM (*) - Minero - Cualquier momento	-	6-9	50	2	0.5	0.2	1.5	0.05
LMP	DS 010-2010-MINAM (**) - Minero - Promedio Anual	-	6-9	25	1.6	0.4	0.16	1.2	0.04

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s) y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C. | Car. Desvío C. Juliaca - Macusani km. 102 Asiento Minero San Rafael Antauta, Melgar, Puno. www.pe.sgs.com

Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)



**INFORME DE ENSAYO
SR2006475 Rev. 0**

Página 2 de 2

**Analizado y Emitido en Car. Desvío C. Juliaca - Macusani km. 102 Asiento Minero San Rafael
Antauta, Melgar, Puno-Perú el , 01/08/2020**

**Luis Rondan
Residente
CIP 188479**

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s) y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C. | Car. Desvío C. Juliaca - Macusani km. 102 Asiento Minero San Rafael Antauta, Melgar, Puno. | www.pe.sgs.com

Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)



INFORME DE ENSAYO
SR2006485 Rev. 0

Página 1 de 2

A solicitud de:	MINSUR S.A. Bernini 149, Of. 501A San Borja, Lima 41, Perú		
Por cuenta de:	MINSUR S.A. Bernini 149, Of. 501A San Borja, Lima 41, Perú		
Producto descrito como:	EFLUENTE PLANTA	Cantidad Muestras:	3
Tipo de Muestra:	Medio Ambiente	Fecha de Recepción:	02/08/2020
Localidad de preparación:	SGS - Unidad Minera San Rafael	Fecha de Reporte:	02/08/2020
Referencia Cliente:	2020-08-02 NIWTON ESNIDER PARRA VASQUEZ		
Notas:	D.N.I. 70073980		

Esquema	Método
ISE06V	ANA-MET-LABMIN.74 R01 DETERMINACION DE PARÁMETROS FÍSICOS
AAS31V	ANA-MET-LABMIN.73 DETERMINACIÓN DE METALES DISUELTOS POR ABSORCIÓN ATÓMICA
AAS31W	ANA-MET-LABMIN.72 DETERMINACION DE METALES TOTALES POR ABSORCIÓN ATÓMICA/ANA-MET-LABMIN.73 R00 DETERMINACION DE METALES DISUELTOS POR ABSORCIÓN ATÓMICA

Elemento	T	pH	Con	Con	Fe	Fe	Mn	Cu
Esquema	ISE06V	ISE06V	ISE06V	ISE06V	AAS31V	AAS31W	AAS31W	AAS31W
Unidad	°C		us/cm	us/cm	ppm	ppm	ppm	ppm
Limite de Cuantificación			0.01	0.01	0.03	0.03	0.01	0.01
MUESTRA RELAVE MINERO SIN CAL	--	7.65	--	--	0.55	4.63	9.80	0.02
MUESTRA RELAVE MINERO CON CaO (GRUESO)	--	11.31	--	--	<0.03	1.13	0.10	0.02
MUESTRA RELAVE MINERO CON CaO (FINO)	--	11.59	--	--	<0.03	0.94	0.10	0.01

Elemento	Pb	Zn	Cd
Esquema	AAS31W	AAS31W	AAS31W
Unidad	ppm	ppm	ppm
Limite de Cuantificación	0.02	0.01	0.01
MUESTRA RELAVE MINERO SIN CAL	0.07	0.08	<0.01
MUESTRA RELAVE MINERO CON CaO (GRUESO)	0.08	0.03	<0.01
MUESTRA RELAVE MINERO CON CaO (FINO)	0.07	0.02	<0.01

		Temperatura (°C)	pH	TSS	Fe	Cu	Pb	Zn	Cd
LMP	DS 003-2010-MINAM - Domésticas	<35	6.5-8.5	150	-	-	-	-	-
LMP	DS 010-2010-MINAM (*) - Minero - Cualquier momento	-	6-9	50	2	0.5	0.2	1.5	0.05
LMP	DS 010-2010-MINAM (**) - Minero - Promedio Anual	-	6-9	25	1.6	0.4	0.16	1.2	0.04

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s) y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C. | Car. Desvío C. Juliaca - Macusani km. 102 Asiento Minero San Rafael Antauta, Melgar, Puno. | www.pe.sgs.com

Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)



**INFORME DE ENSAYO
SR2006485 Rev. 0**

Página 2 de 2

**Analizado y Emitido en Car. Desvío C. Juliaca - Macusani km. 102 Asiento Minero San Rafael
Antauta, Melgar, Puno-Perú el , 02/08/2020**

**Luis Rondan
Residente
CIP 188479**

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s) y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C. | Car. Desvío C. Juliaca - Macusani km. 102 Asiento Minero San Rafael Antauta, Melgar, Puno. | www.pe.sgs.com

Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)



**INFORME DE ENSAYO
SR2006488 Rev. 0**

Página 1 de 2

A solicitud de:	MINSUR S.A. Bernini 149, Of. 501A San Borja, Lima 41, Perú	Cantidad Muestras:	3
Por cuenta de:	MINSUR S.A. Bernini 149, Of. 501A San Borja, Lima 41, Perú	Fecha de Recepción:	03/08/2020
Producto descrito como:	EFLUENTE PLANTA	Fecha de Reporte:	03/08/2020
Tipo de Muestra:	Medio Ambiente		
Localidad de preparación:	SGS - Unidad Minera San Rafael		
Referencia Cliente:	2020-08-03 NIWTON ESNIDER PARRA VASQUEZ		
Notas:	D.N.I. 70073980		

Esquema	Método
ISE06V	ANA-MET-LABMIN.74 R01 DETERMINACION DE PARÁMETROS FÍSICOS
AAS31V	ANA-MET-LABMIN.73 DETERMINACIÓN DE METALES DISUELTOS POR ABSORCIÓN ATÓMICA
AAS31W	ANA-MET-LABMIN.72 DETERMINACION DE METALES TOTALES POR ABSORCIÓN ATÓMICA/ANA-MET-LABMIN.73 R00 DETERMINACION DE METALES DISUELTOS POR ABSORCIÓN ATÓMICA

Elemento Esquema Unidad Limite de Cuantificación	T ISE06V °C	pH ISE06V	Con ISE06V us/cm 0.01	Con ISE06V us/cm 0.01	Fe AAS31V ppm 0.03	Fe AAS31W ppm 0.03	Mn AAS31W ppm 0.01	Cu AAS31W ppm 0.01
MUESTRA RELAVE MINERO SIN CAL	--	7.04	--	--	0.55	5.84	10.12	0.07
MUESTRA RELAVE MINERO CON CaO (GRUESO)	--	11.45	--	--	<0.03	0.06	0.07	0.02
MUESTRA RELAVE MINERO CON CaO (FINO)	--	11.72	--	--	<0.03	0.05	0.07	0.01

Elemento Esquema Unidad Limite de Cuantificación	Pb AAS31W ppm 0.02	Zn AAS31W ppm 0.01	Cd AAS31W ppm 0.01
MUESTRA RELAVE MINERO SIN CAL	0.11	1.22	<0.01
MUESTRA RELAVE MINERO CON CaO (GRUESO)	0.08	0.04	<0.01
MUESTRA RELAVE MINERO CON CaO (FINO)	0.07	0.02	<0.01

		Temperatura (°C)	pH	TSS	Fe	Cu	Pb	Zn	Cd
LMP	DS 003-2010-MINAM - Domésticas	<35	6.5-8.5	150	-	-	-	-	-
LMP	DS 010-2010-MINAM (*) - Minero - Cualquier momento	-	6-9	50	2	0.5	0.2	1.5	0.05
LMP	DS 010-2010-MINAM (**) - Minero - Promedio Anual	-	6-9	25	1.6	0.4	0.16	1.2	0.04

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s) y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C. | Car. Desvío C. Juliaca - Macusani km. 102 Asiento Minero San Rafael Antauta, Melgar, Puno. www.pe.sgs.com

Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)



INFORME DE ENSAYO
SR2006488 Rev. 0

Página 2 de 2

**Analizado y Emitido en Car. Desvío C. Juliaca - Macusani km. 102 Asiento Minero San Rafael
Antauta, Melgar, Puno-Perú el , 03/08/2020**

Luis Rondan
Residente
CIP 188479

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C. | Car. Desvío C. Juliaca - Macusani km. 102 Asiento Minero San Rafael Antauta, Melgar, Puno. | www.pe.sgs.com

Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)



**INFORME DE ENSAYO
SR2006489 Rev. 0**

Página 1 de 2

A solicitud de:	MINSUR S.A. Bernini 149, Of. 501A San Borja, Lima 41, Perú	Cantidad Muestras:	3
Por cuenta de:	MINSUR S.A. Bernini 149, Of. 501A San Borja, Lima 41, Perú	Fecha de Recepción:	03/08/2020
Producto descrito como:	EFLUENTE PLANTA	Fecha de Reporte:	03/08/2020
Tipo de Muestra:	Medio Ambiente		
Localidad de preparación:	SGS - Unidad Minera San Rafael		
Referencia Cliente:	2020-08-02 NIWTON ESNIDER PARRA VASQUEZ		
Notas:	D.N.I. 70073980		

Esquema	Método
ISE06V	ANA-MET-LABMIN.74 R01 DETERMINACION DE PARÁMETROS FÍSICOS
AAS31V	ANA-MET-LABMIN.73 DETERMINACIÓN DE METALES DISUELTOS POR ABSORCIÓN ATÓMICA
AAS31W	ANA-MET-LABMIN.72 DETERMINACION DE METALES TOTALES POR ABSORCIÓN ATÓMICA/ANA-MET-LABMIN.73 R00 DETERMINACION DE METALES DISUELTOS POR ABSORCIÓN ATÓMICA

Elemento Esquema Unidad Limite de Cuantificación	T ISE06V °C	pH ISE06V	Con ISE06V us/cm 0.01	Con ISE06V us/cm 0.01	Fe AAS31V ppm 0.03	Fe AAS31W ppm 0.03	Mn AAS31W ppm 0.01	Cu AAS31W ppm 0.01
MUESTRA RELAVE MINERO SIN CAL	--	6.65	--	--	0.55	5.97	9.84	0.04
MUESTRA RELAVE MINERO CON CaO (GRUESO)	--	11.55	--	--	<0.03	0.04	0.05	0.02
MUESTRA RELAVE MINERO CON CaO (FINO)	--	11.80	--	--	<0.03	0.04	0.05	0.01

Elemento Esquema Unidad Limite de Cuantificación	Pb AAS31W ppm 0.02	Zn AAS31W ppm 0.01	Cd AAS31W ppm 0.01
MUESTRA RELAVE MINERO SIN CAL	0.09	1.15	<0.01
MUESTRA RELAVE MINERO CON CaO (GRUESO)	0.08	0.04	<0.01
MUESTRA RELAVE MINERO CON CaO (FINO)	0.07	0.02	<0.01

		Temperatura (°C)	pH	TSS	Fe	Cu	Pb	Zn	Cd
LMP	DS 003-2010-MINAM - Domésticas	<35	6.5-8.5	150	-	-	-	-	-
LMP	DS 010-2010-MINAM (*) - Minero - Cualquier momento	-	6-9	50	2	0.5	0.2	1.5	0.05
LMP	DS 010-2010-MINAM (**) - Minero - Promedio Anual	-	6-9	25	1.6	0.4	0.16	1.2	0.04

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s) y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C. | Car. Desvío C. Juliaca - Macusani km. 102 Asiento Minero San Rafael Antauta, Melgar, Puno. | www.pe.sgs.com

Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)



**INFORME DE ENSAYO
SR2006485 Rev. 0**

Página 2 de 2

**Analizado y Emitido en Car. Desvío C. Juliaca - Macusani km. 102 Asiento Minero San Rafael
Antauta, Melgar, Puno-Perú el , 03/08/2020**

**Luis Rondan
Residente
CIP 188479**

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s) y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C. | Car. Desvío C. Juliaca - Macusani km. 102 Asiento Minero San Rafael Antauta, Melgar, Puno. | www.pe.sgs.com

Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)



INFORME DE ENSAYO
SR2005920 Rev. 0

Página 1 de 1

A solicitud de:	MINSUR S.A. Bernini 149, Of. 501A San Borja, Lima 41, Perú		
Por cuenta de:	MINSUR S.A. Bernini 149, Of. 501A San Borja, Lima 41, Perú		
Producto descrito como:	Cal	Cantidad Muestras:	1
Tipo de Muestra:	Cal	Fecha de Recepción:	23/07/2020
Localidad de preparación:	SGS - Unidad Minera San Rafael	Fecha de Reporte:	27/07/2020
Referencia Cliente:	ÓXIDO DE CALCIO 20-07-2020		
Notas:			

Esquema	Método
CLAB0C	ASTM C 25-11. Standard Test Methods for Chemical Analysis of Limestone, Quicklime, and Hydrated Lime. Calcium Oxide by Volumetric Method. Section 17.

Elemento	CaO	Hump
Esquema	CLAB0C	CLAB0C
Unidad	%	%
Límite de Cuantificación		
011790	82.63	0

**Analizado y Emitido en Car. Desvío C. Juliaca - Macusani km. 102 Asiento Minero San Rafael
Antauta, Melgar, Puno-Perú el , 27/07/2020**

Luis Rondan
Residente
CIP 188479

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.peru-63/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s) y no deben ser utilizadas como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2015