



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**“ESTUDIO DE LA DIMETIL DITIOCARBAMATO DE SODIO
COMO AGENTE PRECIPITANTE DE COBRE EN EL
TRATAMIENTO DE AGUAS DE PLANTA KINGSMILL”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO INDUSTRIAL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER
LUIS ABERTO PAREDES MEDINA**

ASESOR

MG. ING. ROGELIO ALEXSANDER LOPEZ RODAS

LIMA – PERÚ, MAYO 2022



DEDICATORIA

Este Trabajo de Suficiencia Profesional, se lo dedico a mi adora hija Ángela Alondra Paredes García, por su cariño incondicional.





AGRADECIMIENTO

A mi familia en especial, que de manera excepcional han marcado su confianza en mis propósitos profesionales.

A mi asesor Mg. Ing. Rogelio Alexander Lopez Rodas por su dirección y apoyo constante, que han permitido lograr los objetivos que se trazaron para la realización del presente trabajo.





INTRODUCCIÓN

El estudio de la Dimetil Ditiocarbamato de sodio como agente precipitante de cobre en el tratamiento de aguas de planta Kingsmill es de suma importancia en el tratamiento de aguas del túnel Kingsmill, ya que por ciertos momentos se ha observado la subida de cobre sobre el LMP y esto posiblemente debido a la presencia de complejos de cobre de difícil tratamiento a un pH de 9.8. Si bien en el proceso de la planta se ha recurrido a elevar el pH a 10.5 con óxido de cal para poder disminuir los complejo de cobre por debajo del LMP, esas condiciones han ocasionado costos elevados de consumo de cal y transporte de lodos generados; incluso hay la posibilidad de que a mayor concentración de estos complejos de cobre, el mismo proceso en si no puedan bajar el analito por debajo del LMP aumentado el pH a valores mayores de 10.5, es por esta razón la importancia del estudio de la Dimetil Ditiocarbamato de sodio como agente precipitante de cobre.

Para alcanzar nuestro objetivo general: Estudiar la Dimetil Ditiocarbamato de sodio en la precipitación de cobre acomplejado en el tratamiento de aguas acidas de la plana Kingsmill, desarrollaremos: muestreo de agua del proceso de planta Kingsmill, pruebas de precipitación de cobre con óxido de calcio a pH 9.8 y 10.5, pruebas de precipitación con Dimetil Ditiocarbamato de sodio de complejos de cobre que no precipiten a pH 9.8 con cal, caracterización de las aguas por espectroscopia de absorción atómica y proyectar con los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio el costo de consumo de cal en el proceso de planta Kingsmill para 10 días de proceso.

Nuestro proyecto incluirá: el desarrollo de generalidades de la minera Chinalco, la realidad problemática de la planta de tratamiento de aguas Kingsmill y el desarrollo del proyecto. No se evaluará si hay una mejora en el costo del proceso al aplicar Dimetil Ditiocarbamato de sodio para bajar los complejos de cobre por debajo del LMP en vez de usar aumento de óxido de calcio para llevar el proceso de un pH de 9.8 a 10.5.





RESUMEN

En el presente trabajo se ha estudiado el comportamiento de la Dimetil Ditiocarbamato de sodio como agente precipitante de cobre en el tratamiento de aguas de planta Kingsmill a nivel de laboratorio. Las soluciones de Dimetil Ditiocarbamato de sodio fueron preparadas al 0.1 y 0.01% por dilución a partir del reactivo comercial KemMet al 40%.

El comportamiento del SDD y su efectividad en el tratamiento de aguas del KMT2 y solución del reactor 2 de planta Kingsmill, se ha realizado a nivel de laboratorio en vasos de 1 litro.

La caracterización de las muestras tratadas para cuantificar el contenido de cobre y manganeso se realizó por la técnica espectroscopia de absorción atómica. Se determinó que el SDD¹ disminuye el cobre por debajo del LMP en las soluciones tratadas; también se determinó que la solución del reactor 2 requiere entre 10 a 20 veces más KemMet que la solución de salida del clarificador para bajar cobre por debajo del LMP. Se recomienda probar su uso a la salida del clarificador por tema de costos.

También se ha realizado pruebas de precipitación de cobre sin usar Dimetil Ditiocarbamato de sodio para bajar el cobre acomplejado en las muestras de difícil tratamiento con óxido de calcio a pH 9.8; las pruebas consistieron en elevar el pH de 9.8 a 10.5 con óxido de calcio, donde se pudo observar que el cobre acomplejado disminuye a valores cercano al LMP, pero ocasionando un gasto adicional en consumo de cal valorizado en un 268 % con respecto a trabajar a pH 9.8. A eso habría que agregarle los gastos por transporte de lodos generados por trabajar a pH 10.5.

¹ Dimetil Ditiocarbamato de sodio





ABSTRACT

In the present work, the behavior of Sodium Dimethyl Dithiocarbamate as a copper precipitating agent in the Kingsmill plant water treatment at laboratory level has been studied. Sodium Dimethyl Dithiocarbamate solutions were prepared at 0.1 and 0.01% by dilution from the commercial reagent KemMet at 40%.

The behavior of SDD and its effectiveness in the treatment of water from KMT2 and solution from reactor 2 of the Kingsmill plant, has been carried out at the laboratory level in 1-liter vessels.

The characterization of the treated samples to quantify the content of copper and manganese was carried out using the atomic absorption spectroscopy technique. It was determined that the SDD decreases the copper below the LMP in the treated solutions; It was also determined that the reactor 2 solution requires between 10 to 20 times more KemMet than the clarifier outlet solution to lower copper below the LMP. It is recommended to test its use at the clarifier outlet due to costs.

Copper precipitation tests have also been carried out without using Sodium Dimethyl Dithiocarbamate to lower complexed copper in samples that are difficult to treat with calcium oxide at pH 9.8; the tests consisted of raising the pH from 9.8 to 10.5 with calcium oxide, where it was observed that the complexed copper decreases to values close to the LMP, but causing an additional expense in lime consumption valued at 268% with respect to working at pH 9.8. To this should be added the expenses for transportation of sludge generated by working at pH 10.5.



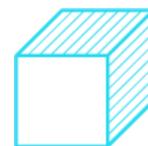
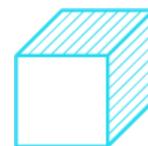


TABLA DE CONTENIDOS

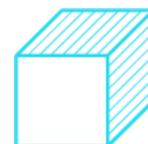
DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO	II
INTRODUCCIÓN	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
TABLA DE CONTENIDOS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
INDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XI
ÍNDICE DE ANEXOS	XII
CAPÍTULO I.....	1
GENERALIDADES DE LA EMPRESA.....	1
1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA	2
1.2. PERFIL DE LA EMPRESA.....	2
1.3. ACTIVIDADES DE LA EMPRESA	2
1.3.1. Misión	2
1.3.2. Visión	3
1.3.3. Objetivos de la organización	3
1.4. ORGANIZACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA.....	4
1.5. DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO DE LA EMPRESA.....	6
1.5.1. Análisis del entorno de una empresa	6





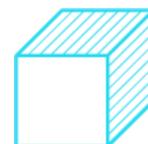
1.5.2.	Análisis de la matriz FODA	7
CAPÍTULO II	9
REALIDAD PROBLEMÁTICA	9
2.1.	DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	10
2.1.1.	Del proceso HDS	12
2.1.2.	Problemas de cobre alto por temporadas	17
2.2.	ANÁLISIS DEL PROBLEMA	23
2.3.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	23
2.4.	OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	23
2.4.1.	Objetivo general.....	23
2.4.2.	Objetivos específicos	23
CAPÍTULO III	25
DESARROLLO DEL PROYECTO	25
3.1.	DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO DEL PROCESO.....	26
3.1.1.	Antecedentes de la investigación.....	27
3.1.2.	Bases teóricas	30
3.1.3.	Bases normativas	30
3.2.	DESARROLLO DEL PROYECTO.....	31
3.2.1.	Realizar toma de muestras	31
3.2.2.	Reactivos y equipos.....	32
3.2.3.	Tratamiento de agua acida con cal a pH de 9.8 y 10.5.....	32
3.2.4.	Resultados de cobre disuelto y total de muestras.....	33





3.2.5. Resultados de cobre disuelto y tratadas a pH 10.5.....	36
3.2.6. Tratamiento de solución de reactor 2.....	38
3.2.7. Resultados de muestras tratadas con KemMet	42
3.2.8. Consumo de KemMet	45
3.3. COSTOS DEL PROYECTO.....	46
3.4. CRONOGRAMA DEL PROYECTO.....	48
3.5. CONCLUSIONES	49
3.6. RECOMENDACIONES.....	50
CAPÍTULO IV	52
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
BIBLIOGRAFÍA	53
CAPÍTULO V	54
GLOSARIO DE TÉRMINOS	54
CAPÍTULO VI	56
ANEXOS	56

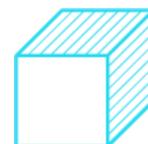




ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Organigrama de la Empresa Minera Chinalco Perú	4
Figura 2 Área de mejora del TSP	5
Figura 3 Ubicación Minera Chinalco.....	6
Figura 4 Análisis Matriz FODA de la Minera Chinalco Perú	8
Figura 5 Planta de Producción de Kingsmill	10
Figura 6 Proceso de tratamiento de aguas ácidas	11
Figura 7 Tanque de Reactor 1 y 2 de la Planta	12
Figura 8 Tanque de Lechada de Cal	13
Figura 9 Tanque de Reactor 2 en la Planta	14
Figura 10 Tanque Clarificador de la Planta	14
Figura 11 Tanque de Almacenamiento de Polímero	15
Figura 12 Poza Neutra de la Planta	16
Figura 13 Vertimiento de Agua Tratada al Río Yauli	17
Figura 14 Reactor del Sistema sin Espumas.....	18
Figura 15 Reactor 2 con Presencia de Espumas	19
Figura 16 Diagrama Causa - Efecto Para la Problemática	22
Figura 17 Tratamiento de Agua Ácida con Cal a pH 9.8 y 10.5.....	33
Figura 18 Preparación de KemMet al 0.1 y 0.01%	38
Figura 19 Muestras de Agua KMT2 y Solución de Reactor 2.....	40
Figura 20 Muestras de KMT2 y solución de R2 tratadas.....	41
Figura 21 Muestras de KMT2 y R2 Tratadas con KemMet al 0.1 y 0.01%	42
Figura 22 Diagrama de Gantt del Proyecto	48

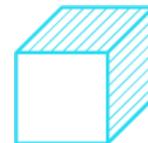




INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Concentración de Cobre Total y Disuelto	19
Tabla 2 Límites Máximos Permisibles de PT-TK	31
Tabla 3 Concentración de Cu Total y Disuelto de Agua Ácida	34
Tabla 4 Concentración de Cu Total Tratada en Laboratorio a pH 10.5	36
Tabla 5 KemMet a Diferentes Concentraciones	38
Tabla 6 Secuencia de Muestras de KemMet a Usar.....	40
Tabla 7 Concentración de Cu y Mn en Agua KMT2 Antes de Agregar KemMet.....	43
Tabla 8 Concentración de Cu y Mn de Muestras Tratadas con KemMet.....	44
Tabla 9 Consumo de Big Bag de KemMet por Día al Tratar 4000 m ³ /h de Agua	45
Tabla 10 Consumo de Cal a pH 9.8 y 10.5 por Período de 10 días.....	46
Tabla 11 Costos de Óxido de Cal a pH 9.8 y 10.5 por 10 días.....	47

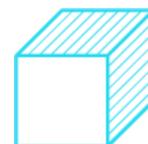




ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Cobre Total del Efluente de Descarga.....	20
Gráfico 2 Cobre Disuelto en Efluente de Descarga.....	20
Gráfico 3 Concentración de Cu Total Tratadas en Laboratorio a pH 9.8.....	35
Gráfico 4 Concentración de Cu Disuelto y Tratadas en Laboratorio a pH 9.8.....	35
Gráfico 5 Concentración de Cu Total Tratadas en Laboratorio a pH 10.5.....	37
Gráfico 6 Concentración de Cu Disuelto Tratadas en Laboratorio a pH 10.5.....	37





ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Planta de Tratamiento de Aguas Ácidas del Túnel Kingsmill	57
Anexo 2 Big bags de KemMet	58





CAPÍTULO I

GENERALIDADES DE LA EMPRESA





1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

En el año 2007 la compañía Chinalco, compro las acciones de Perú Copper Inc., quien en ese entonces era dueña de Minera Perú Copper, ahora llamada Minera Chinalco Perú S.A., y al año siguiente se firmó el Contrato de Transferencia de los activos del proyecto Toromocho.

La unidad minera ubicada en Junín ha sido la primera mina de cobre que la compañía ha desarrollado fuera de china y actualmente viene cumpliendo todos sus metas de producción en lo que se refiere a la producción de cobre fino. En la actualidad Minera Chinalco Perú, es propiedad absoluta de Chinalco. (Chinalco, 2022)

1.2. PERFIL DE LA EMPRESA

Chinalco Perú, es una empresa cuya unidad minera está ubicada en Junín y cuyo proceso de explotación es a tajo abierto, dedicada en su totalidad a la producción de concentrado de cobre.

La compañía china Chinalco, tiene como objetivo principal convertirse en una minera polimetálica con presencia en todo el mundo.

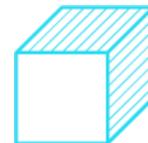
La compañía tiene altos estándares en lo que se refiere al liderazgo, la calidad, el cuidado del medio ambiente, el desarrollo sostenible, la seguridad y la innovación. Tiene el compromiso de desarrollar bueno vecinos con las comunidades para garantizar una operación libre de conflictos sociales. (Chinalco, 2022)

1.3. ACTIVIDADES DE LA EMPRESA

1.3.1. Misión

Con el firme compromiso de nuestros colaboradores transformamos eficiente y responsablemente los recursos naturales, contribuyendo con el desarrollo sostenible de nuestro entorno, así como del bienestar de nuestros grupos de interés.





1.3.2. Visión

Ser reconocidos como una empresa minera de primer nivel, que genera valor por su alta eficiencia, calidad en su gestión y liderazgo en tecnología e innovación.

1.3.3. Objetivos de la organización

- Convertirse en una compañía minera polimetálica con presencia mundial.
- Maximizar las ganancias anuales.
- Alcanzar las ganancias proyectadas.
- Aumentar el valor para los accionistas.
- mejorar la calidad de vida de las personas en situación de pobreza de las zonas intervenidas. (Chinalco, 2022)

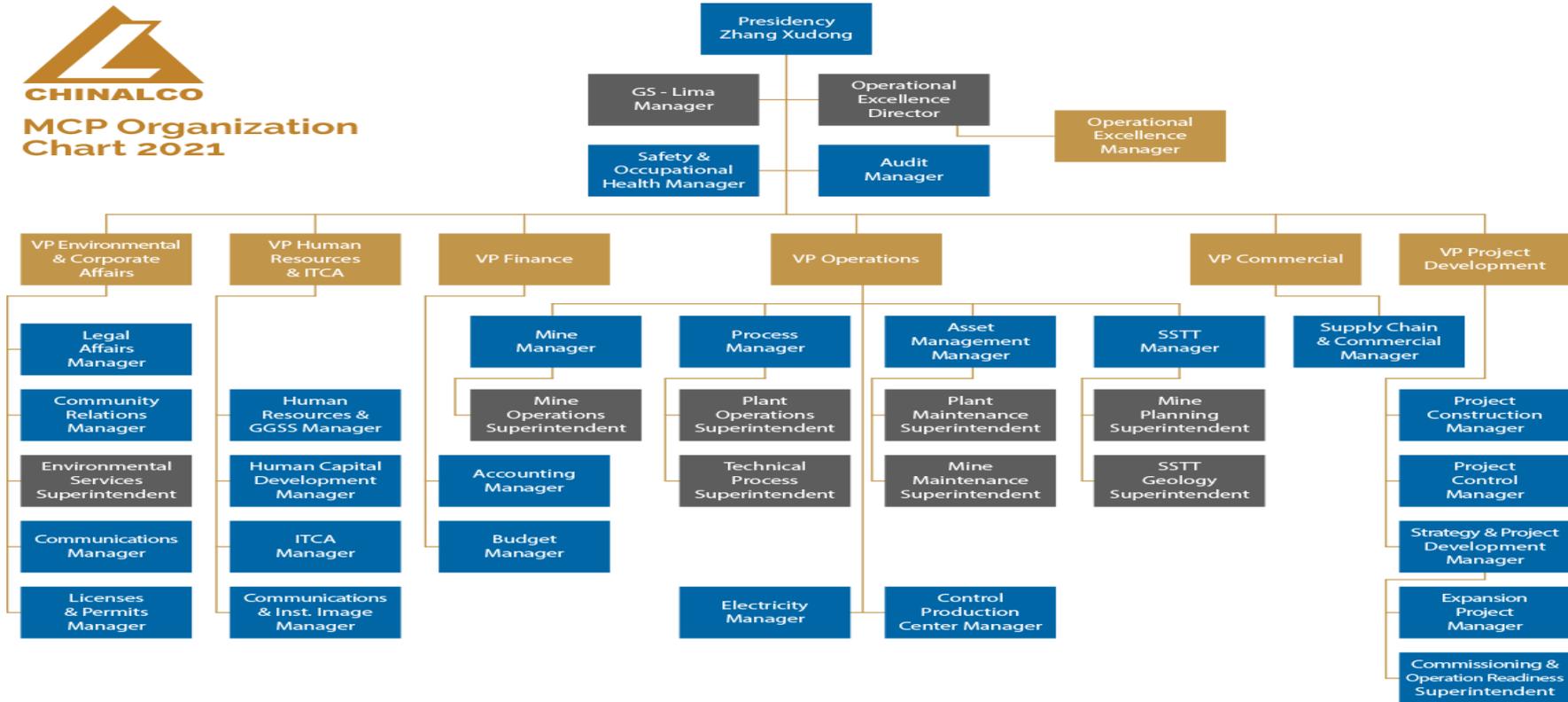




1.4. ORGANIZACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

Figura 1

Organigrama de la Empresa Minera Chinalco Perú



Fuente: (Chinalco, 2022)

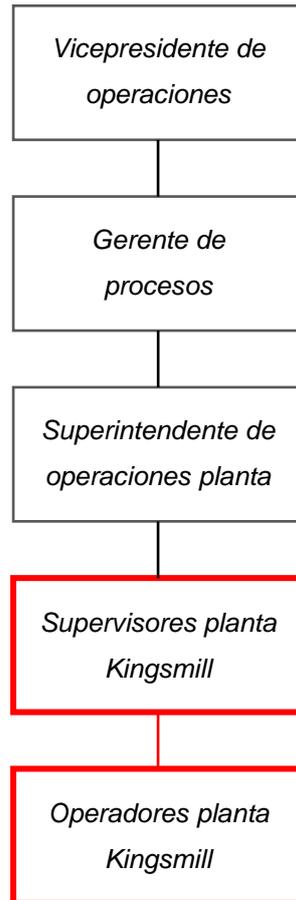




Área de mejora:

La aplicación del TSP, se desarrollará en la planta Kingsmill², en la cual se realiza el tratamiento de las aguas ácidas.

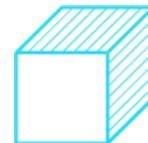
Figura 2
Área de mejora del TSP



Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)

² Planta de tratamiento de aguas ácidas del túnel Kingsmill





1.5. DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO DE LA EMPRESA

1.5.1. Análisis del entorno de una empresa

Ubicación de la operación

La unidad minera está ubicada en el distrito de Morococha, provincia de Yauli, región Junín, a 4500 metros sobre el nivel del mar y a unos 142 kilómetros de la ciudad de Lima.

La planta de tratamiento de aguas Kingsmill, que es el lugar donde se desarrollará el presente proyecto se encuentra también en la provincia de Yauli y a una hora y media de transporte en camioneta de la planta concentradora.

Figura 3

Ubicación Minera Chinalco



Fuente: (Desarrollo Peruano, 2013)

Responsabilidad social

La empresa minera Chinalco Perú, en todos estos años de operación se ha esforzado en desarrollar buenos vecinos con las comunidades alrededor de la operación minera, lo cual la hace una operación dedicada a la producción de concentrado de cobre socialmente aceptable y sostenible en el tiempo.





Minera Chinalco Perú trabaja con las comunidades aledañas a la operación en educación, salud y desarrollo productivo.

Educación

La empresa tiene un plan de desarrollo sostenible en lo referente a la educación con todas las comunidades aledañas a la operación. El plan se materializa apoyando a los escolares, estudiantes académicos de estudios de instituto y superiores. Además de brindar oportunidades de formación profesional dentro de la compañía.

Salud

Se realiza campañas integrales de salud en las comunidades para la prevención de problemas de salud relacionadas a la nutrición, odontología y oftalmología. Además, se apoya a los centros de salud proporcionando implementos médicos y facilitando mascarillas para la lucha contra el corona virus.

Desarrollo productivo

Como parte de su compromiso con las comunidades, la compañía pone empeño en realizar cursos de capacitación con el fin de formar trabajadores altamente calificados.

1.5.2. Análisis de la matriz FODA

Un análisis FODA es una herramienta diseñada para comprender la situación de un negocio a través de la realización de una lista completa de sus fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas. Resulta fundamental para la toma de decisiones actuales y futuras, por el cual a continuación se realiza la siguiente matriz:





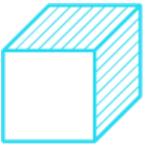
Figura 4

Análisis Matriz FODA de la Minera Chinalco Perú

<p align="center">MATRIZ FODA DE LA EMPRESA MINERA CHINALCO PERÚ</p>	<p align="center">FORTALEZAS</p>	<p align="center">DEBILIDADES</p>
	<p>F1: Se cuenta con insumos químicos para las pruebas. F2: Se cuenta con el apoyo de responsables de planta. F3: Planta de tratamiento de aguas construida. F4: Se cuenta con personal capacitado. F5: Se cuenta con equipos para la caracterización de las aguas. F6: La planta de tratamiento de aguas tiene una alta capacidad de tratamiento de volumen de agua.</p>	<p>D1: No se puede controlar altos contenidos de cobre por temporadas. D2: Falta de infraestructura para otros métodos de tratamiento de aguas acidas. D3: El riesgo de contaminación es alta por temporadas D4: No se cuenta con experiencia en el uso del nuevo insumo químico. D5: Mejorar la atención a emergencias operativas.</p>
<p align="center">OPORTUNIDADES</p>	<p align="center">ESTRATEGIAS - FO</p>	<p align="center">ESTRATEGIAS - DO</p>
<p>O1: Buenas relaciones con las comunidades aledañas. O2: Mejorar la calidad de agua que se vierte al rio. O3: Posibilidad de hacer equipos con otros profesionales. O4: Aporte de nuevos conocimientos O5: Cumplir con las auditorias de entidades fiscalizadoras O6: Información del producto en internet.</p>	<p>F1-02: Utilizar insumos de calidad para producir una buena calidad de agua. F5-05: Los equipos cuentan con programa de mantenimiento para garantizar resultados. F1-F2-F3-O2-05: Utilizar infraestructura de la empresa para tener buena calidad de agua</p>	<p>D1-D3-O2-04: El uso de nueva tecnología para mejorar la calidad del agua. D4-03: Consultar a profesionales de experiencia.</p>
<p align="center">AMENAZAS</p>	<p align="center">ESTRATEGIAS - FA</p>	<p align="center">ESTRATEGIAS - DA</p>
<p>A1: No cumplir con la normativa de calidad del agua. A2: Poza de emergencia no habilitada a tiempo. A3: Equipo de absorción atómica no habilitado. A4: Conflictos con la comunidad.</p>	<p>F4-A1: Capacitaciones de profesionales en campo de tratamiento de aguas F4-A3: Mantenimiento preventivo de equipo</p>	<p>D1-A1: Capacitaciones de profesional técnico</p>

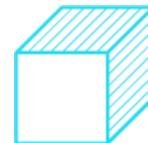
Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)





CAPÍTULO II
REALIDAD PROBLEMÁTICA





2.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

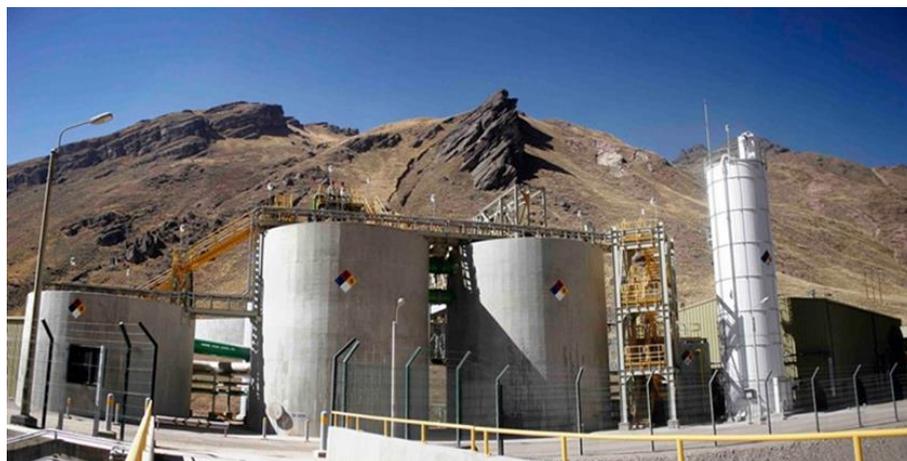
La planta de tratamiento de túnel Kingsmill construida por Chinalco Perú, se realizó con el fin de solucionar un problema histórico de contaminación al río Yauli.

El agua que ingresa a la planta de tratamiento proviene del túnel Kingsmill la cual se construyó en el año 1934 con el fin de drenar todas las operaciones mineras alrededor de Morococha y la cual descarga en promedio al río Yauli 5000 m³/h de aguas contaminadas con carga metálica superior al límite permisible.

En la figura 5 se puede observar la planta Kingsmill la cual usa el proceso HDS para el tratamiento de las aguas ácidas.

Figura 5

Planta de Producción de Kingsmill



Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)

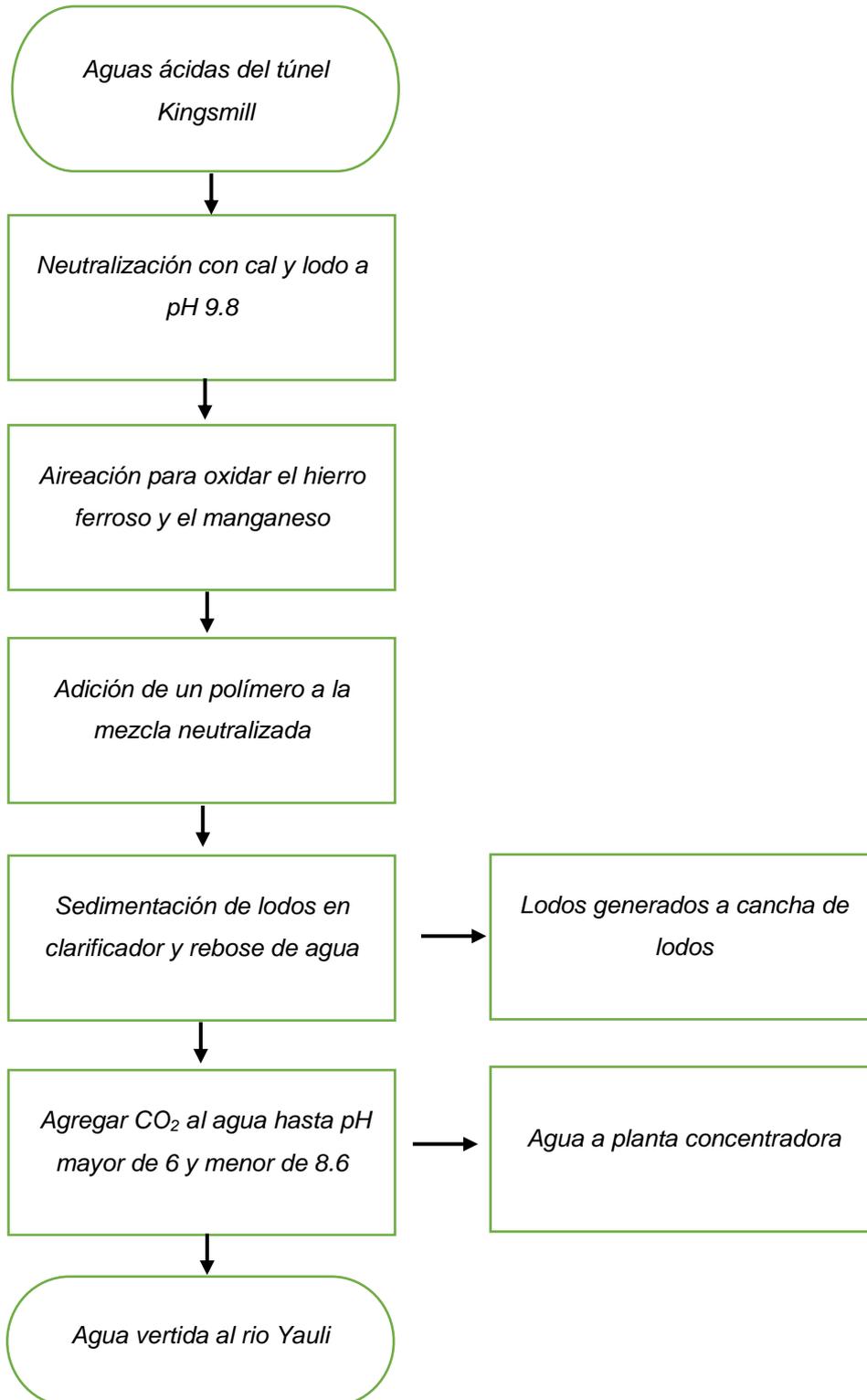




El tratamiento de la planta Kingsmill incluye:

Figura 6

Proceso de tratamiento de aguas ácidas



Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)





2.1.1. Del proceso HDS

El agua ácida es captada por gravedad desde el túnel Kingsmill el cual fluye a través de una malla de 1 pulgada de abertura para poder eliminar desechos mayores.

Desde la cámara de captación el agua ácida es transportada por una tubería hasta el tanque de alimentación del proceso desde donde se bombea al tanque reactor N.º 1. (Figura 7)

Figura 7

Tanque de Reactor 1 y 2 de la Planta



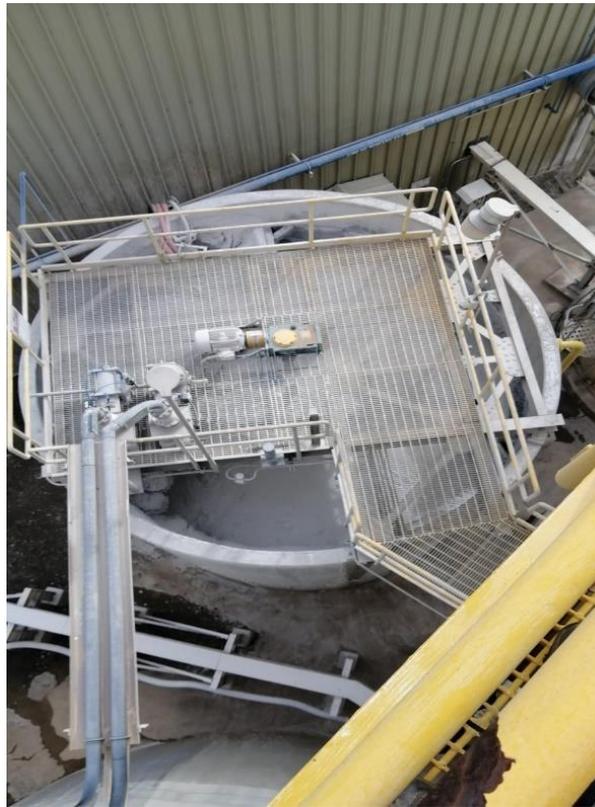
Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)

Al proceso se le adiciona cal en forma de lechada la cual previamente ha sido apagada, para ello se cuenta con un silo de cal desde donde se alimenta a los molinos apagadores quienes descargan la lechada de cal al tanque de almacenamiento (figura 8) con una concentración aproximada del 15% de cal.





Figura 8
Tanque de Lechada de Cal



Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)

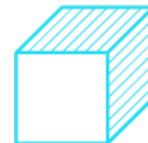
Esta lechada es bombeada normalmente al tanque de mezcla (lodo-cal); lodo proveniente del Under Flow del clarificador; la ratio de alimentación de lechada de cal es controlado automáticamente por un sensor de pH ubicado en el tanque reactor N.º 1 (pH proceso 9,4 - 9,8).

El rebose de la mezcla lodo-cal alimenta por gravedad al reactor 1.

Del tanque reactor N.º 1 rebosa por gravedad hacia el tanque reactor N.º 2 (figura 9), el cual también está provisto de agitación e inyección de aire el cual cumple la función de darle tiempo de residencia a la mezcla para completar las reacciones de precipitación de los metales disueltos.

El rebose del tanque reactor N.º 2 fluye por gravedad hacia el centro del clarificador (figura 10), al cual antes de su ingreso se le adiciona un





polímero para ayudar a la sedimentación de los sólidos y mejorar la clarificación del que será el efluente.

Figura 9

Tanque de Reactor 2 en la Planta



Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)

Figura 10

Tanque Clarificador de la Planta



Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)





En la planta se cuenta con un sistema de preparación de polímeros el cual prepara automáticamente a 0,3% de concentración, esta mezcla es bombeada al tanque de alimentación (figura 11) y desde donde se bombea al proceso realizando una dilución en línea, alimentándose finalmente el polímero a una concentración aproximada del 0,03%. La cantidad a alimentar está en función a la cantidad de sólidos presentes el cual puede variar dependiendo del contenido de sólidos presentes en el agua acida y de la recirculación de los lodos.

Figura 11

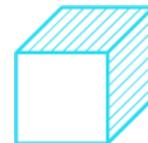
Tanque de Almacenamiento de Polímero



Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)

De la operación del clarificador (figura 10) se obtiene el Over Flow (rebose) el cual es el agua clarificada y que por gravedad llega a la poza de retención (emergencia); entre las finalidades de esta poza está la de terminar de sedimentar partículas sólidas que hubiesen flotado en el rebose del clarificador, así como también por el gran volumen que



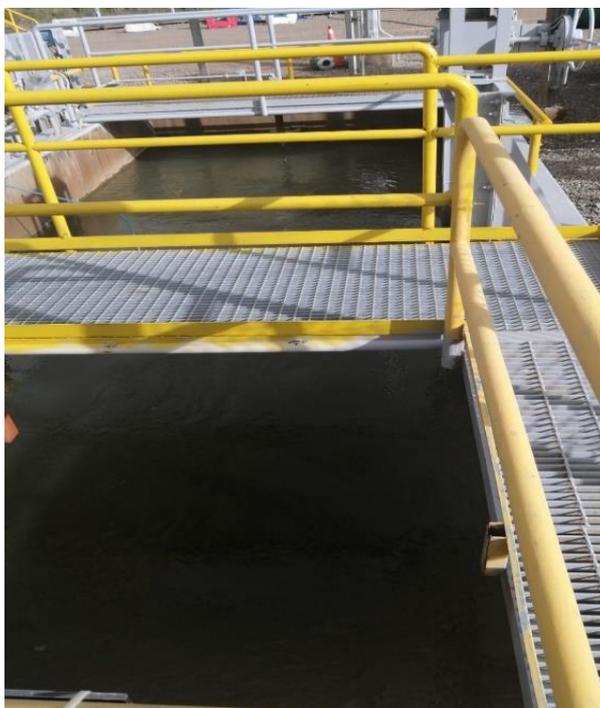


cuenta (30 000 m³) absorba el CO₂ del ambiente y regule el valor de pH a valores menores de 9.0.

El rebose de esta poza ingresa a la poza de neutralización (figura 12), donde se regulará el pH de proceso entre 6.0 a 8.6 con adición de CO₂ antes de ser vertidos al río Yauli (Figura 13); Es a la salida de este punto donde se detecta cobre alto en el vertimiento del efluente final por temporadas por breve periodo de tiempo el cual es corregido subiendo el pH de 9.8 a 10.5 o más.

Figura 12

Poza Neutra de la Planta



Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)



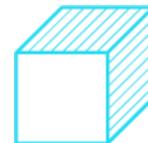


Figura 13

Vertimiento de Agua Tratada al Río Yauli



Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)

2.1.2. Problemas de cobre alto por temporadas

Análisis visual del problema en el reactor 2

Se observa en la figura 14 que en un día normal de tratamiento de aguas ácidas en el reactor 2, no se observa ningún tipo de espumas y esto tiene relación con los análisis de cobre en el efluente final la cual presenta un resultado por debajo del LMP.





Figura 14

Reactor del Sistema sin Espumas



Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)

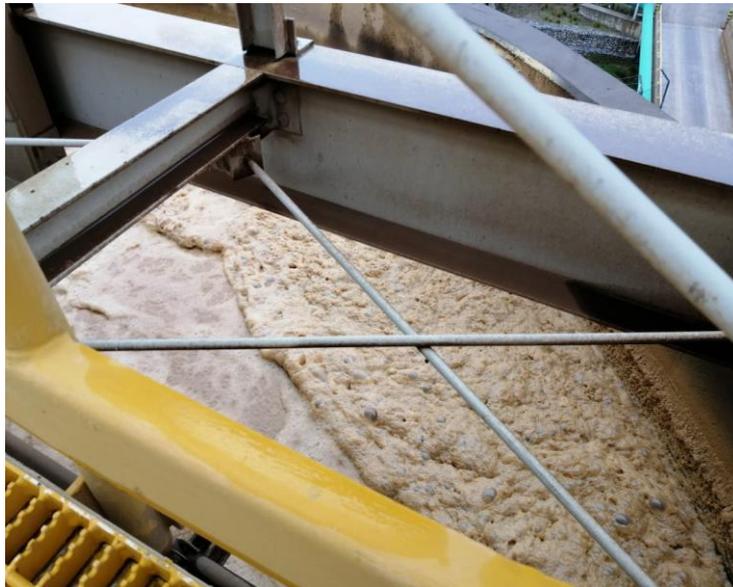
En un periodo no normal de tratamiento se observa presencia de espumas en el reactor 2 (figura15) la cual guarda relación con los resultados de análisis de cobre en el efluente de descarga de la planta la cual indica resultados por encima del LMP.





Figura 15

Reactor 2 con Presencia de Espumas



Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)

Análisis cuantitativo del problema en el reactor 2

Se identifico resultados de cobre por encima del LMP de 0.3 ppm, en el efluente final tal como se puede observar en la tabla 1 y gráficos 1 y 2.

Tabla 1

Concentración de Cobre Total y Disuelto³

Muestra Puntual Poza Neutra	21-Dic	21-Dic	21-Dic	22-Dic	23-Dic	23-Dic	24-Dic	28-Dic	29-Dic
Fecha	21-Dic	21-Dic	21-Dic	22-Dic	23-Dic	23-Dic	24-Dic	28-Dic	29-Dic
Hora	4:00 a. m.	8:00 a. m.	8:00 p. m.	8:00 a. m.	8:00 a. m.	2:00 p. m.	2:00 a. m.	8:00 p. m.	8:00 p. m.
Cu Total (ppm)	0.05	0.18	0.31	0.32	0.36	0.35	0.26	0.27	0.05
Cu Disuelto (ppm)	0.04	0.02	0.27	0.26	0.31	0.31	0.21	0.22	0.04
Set point R1/Mix Tank	9.80	9.80	9.80	9.80	9.80	9.80	9.80	9.80	9.80

Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)

La tabla 1 muestra de cobre total y disuelto en el efluente final de descarga del agua acida tratada a un pH de 9.8 en función del tiempo.

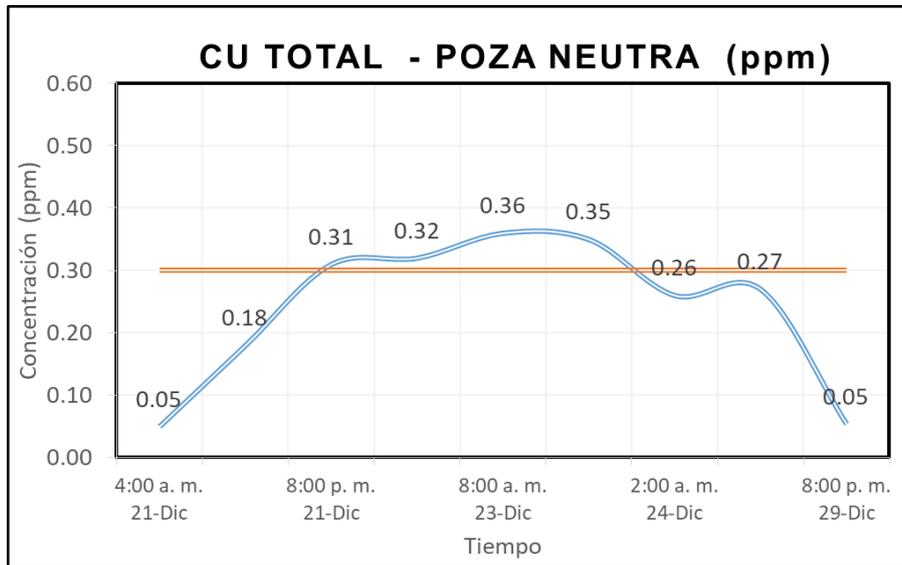
³ Se refiere que esta disuelto en el efluente de descarga.





Gráfico 1

Cobre Total del Efluente de Descarga

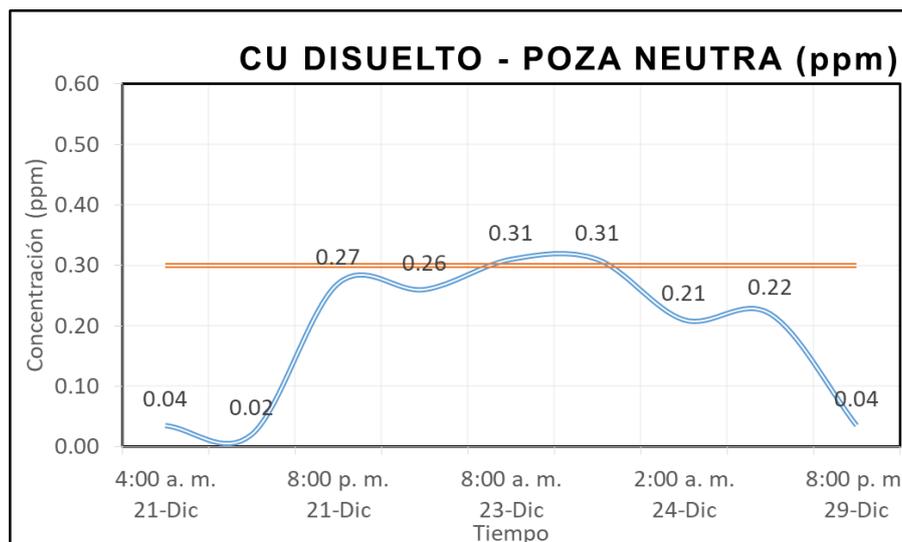


Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)

La gráfica 1 muestra los resultados de cobre total de la tabla 1 en función del tiempo, donde se observa valores de cobre por encima de la línea roja que representa el LMP de 0.3 ppm.

Gráfico 2

Cobre Disuelto en Efluente de Descarga



Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)





La gráfica 2 muestra los resultados de cobre disuelto de la tabla 1, donde se observa valores de cobre por encima de la línea roja que representa el LMP de 0.3 ppm.

Lluvia de ideas para identificar el cobre alto por temporadas:

- Drenaje de unidades mineras aledañas al túnel Kingsmill
- Presencia de cobre acomplejado en el túnel Kingsmill
- Presencia de iones cianuro en el túnel Kingsmill
- Falta de calibración de pH-metros de campo
- pH-metros de campo mal calibrados
- Personal con fatiga
- El personal tiene actividad rutinaria
- Mal control de pH-metros de campo en sala
- Mala calidad del polímero
- Cal con baja reactividad
- Bajo porcentaje de pureza de cal
- Falta de mantenimiento de molinos de cal
- Molino cal no trabaja eficientemente por falta de bolas
- Temperatura de apagado de cal deficiente en molinos
- Método de tratamiento de aguas no adecuado
- Indicadores de control que no se verifican constantemente

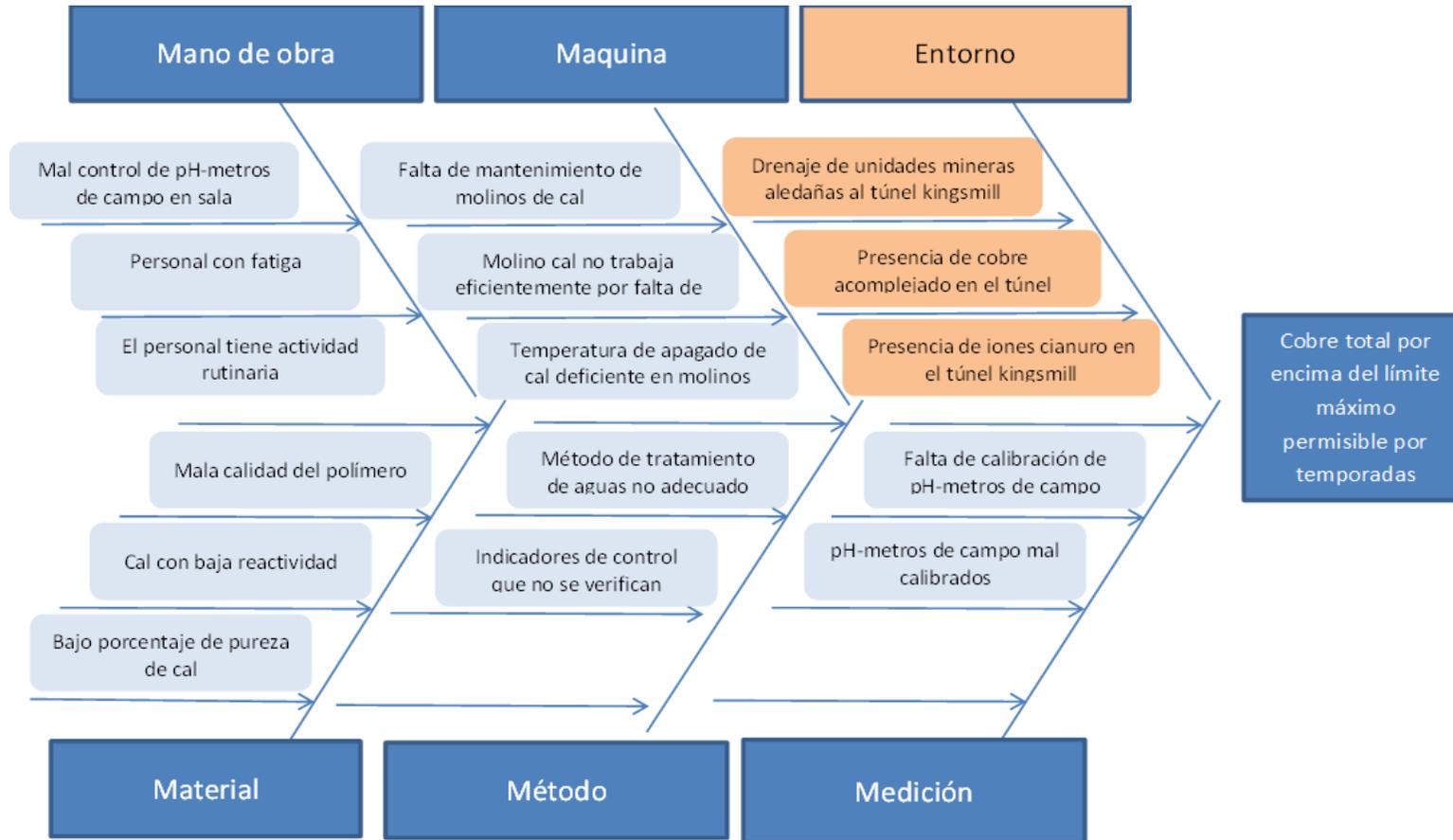
Del diagrama siguiente se idéntica que el entorno es el mayor causante de la subida del cobre total por encima del LMP.





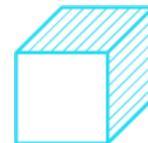
Figura 16

Diagrama Causa - Efecto Para la Problemática



Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)





2.2. ANÁLISIS DEL PROBLEMA

El tratamiento de las aguas acidas del túnel Kingsmill es un compromiso ambiental de minera Chinalco con el estado peruano. El tratamiento seleccionado para la planta Kingsmill es el proceso HDS, el cual ha demostrado ser eficiente para un volumen de tratamiento de hasta 5800 m³/h.

La planta tiene 11 años de antigüedad y en los primeros 7 años de operación no se detectó cobre alto por encima del límite, al tratar las aguas acidas con hidróxido de calcio como agente precipitante de metales pesados.

Se identifica en la realidad problemática al entorno como la causa principal del cobre alto por temporadas ya que hay varias minas que drenan aguas al túnel Kingsmill y podría ser la causa de la presencia cobre acomplejado difícil de precipitar con cal.

Por lo explicado en la descripción de la realidad problemática se plantea lo siguiente:

¿La aplicación de la Dimetil Ditiocarbamato de sodio mejoraría la precipitación de cobre en el tratamiento de las aguas acidas del túnel Kingsmill?

2.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La aplicación de la Dimetil Ditiocarbamato de sodio mejoraría la precipitación de cobre en el tratamiento de las aguas acidas del túnel Kingsmill.

2.4. OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.4.1. Objetivo general

Estudiar la Dimetil Ditiocarbamato de sodio en la precipitación de cobre acomplejado en el tratamiento de aguas ácidas de la planta Kingsmill.

2.4.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos en el presente trabajo, son:





- Realizar muestreo: agua ácida de entrada a planta, solución del reactor 2 y del efluente final de descarga al río Yauli cuando el cobre total este por debajo y por encima del LMP4 en el efluente final.
- Realizar pruebas de precipitación de cobre con cal a pH 9.8 y 10.5 en agua ácida de entrada a planta Kingsmill cuando el cobre este por encima y por debajo del LMP del efluente final de descarga al río Yauli.
- Preparar soluciones a diferentes concentraciones de SDD5.
- Realizar pruebas de precipitación de cobre con SDD en solución del reactor 2 y efluente final de descarga al río Yauli cuando el cobre este por encima del LMP.
- Determinar el contenido de cobre en las aguas tratadas por la técnica de absorción atómica.
- Determinar en costo en consumo de cal en el proceso de planta Kingsmill al trabajar con pH 9.8 y 10.5.

⁴ Límite Máximo Permissible.

⁵ Dimetil Ditiocarbamato de Sodio.





CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL PROYECTO





3.1. DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO DEL PROCESO

La planta de tratamiento de túnel Kingsmill construida por Chinalco Perú, se realizó con el fin de solucionar un problema histórico de contaminación al río Yauli, el cual se contamina por el drenaje de las aguas ácidas de minas a lo largo del túnel Kingsmill.

El tratamiento de las aguas acidas del túnel Kingsmill es un compromiso ambiental de minera Chinalco con el estado peruano. Con este fin se busca reducir la concentración de metales tóxicos por debajo de los límites establecidos antes de la descarga o reutilización del agua. La tecnología disponible HDS es adecuada para el tratamiento parcial de la mayoría de las aguas residuales; sin embargo, se necesita nueva tecnología para limpiar metales de compuestos complejos o quelados. El uso Dimetil Ditiocarbamato de sodio como ligante ante metales de difícil precipitación por medios ordinarios hace importante su investigación e implementación. Este TSP mostrará la efectividad de la remoción de metal con SDD en aguas difíciles de tratar con cal.

De acuerdo al autor (Jimenez Huallpa, 2017), en su tesis manifiesta lo siguiente:

La minera Aruntani a raíz de sus actividades diarias ha provocado que el drenaje ácido generado en el pie del Botadero Jessica sea desembocado a la quebrada principal, teniendo problemas con la comunidades por la mala calidad de agua que consumen sus animales y por la contaminación del medio ambiente; es por ello que el presente trabajo busca adecuar un sistema de tratamiento de aguas ácidas; el método que se propone es por neutralización con lechada de Cal ($Ca(OH)_2$), el agua tratada que se obtendrá del sistema de neutralización, cumplirá con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y con Límites Máximos Permisibles, y podrá ser reusada para la diversas actividades que se realizan dentro de la empresa minera (riego de pastos en la zona de cierre y





riego de las vías); además el sistema de tratamiento disminuirá la carga contaminante de metales presentes en el drenaje ácido, con la finalidad de no generar impacto ambiental en la quebrada Lluchusani. No solo la empresa minera se beneficiará con el agua tratada que se obtendrá por la neutralización con Lechada de Cal, sino también las comunidades del entorno de estudio, debido que mejorará la calidad del agua y disminuirá la mortandad de sus animales, por lo tanto, el índice de conflictos socio ambientales disminuirá

El tratamiento con cal para precipitar metales es el adecuado pero la presencia de cobre acomplejado de difícil tratamiento con el método ordinario de lechada de cal hace de suma importancia la investigación “Estudio de la Dimetil Ditiocarbamato de sodio como agente precipitante de cobre en el tratamiento de aguas de planta Kingsmill”

Por lo tanto, la contaminación del agua del río Yauli ponen en relevancia la urgencia de desarrollar un método más eficaz en el tratamiento de metales acomplejados para estar en concordancia con el marco normativo nacional ambiental.

3.1.1. Antecedentes de la investigación

Antecedente internacional

Como indica (Kirschbaum & Murray, 2011) en su artículo minería y aguas ácidas: contaminación y prevención; en la parte de generación de aguas ácidas describe:

Está directamente relacionada a los depósitos de sulfuros y de carbón, ya que ellos poseen minerales metalíferos que en contacto con las condiciones atmosféricas generan acidez en el agua natural, denominado drenaje ácido. Este proceso se da cuando los sulfuros toman contacto con el





agua y el oxígeno, alterándose y liberando los elementos que los componen; estos elementos interactúan con las moléculas de agua (H_2O) produciendo su ruptura y la liberación de protones (H^+), que una vez en el agua son los que producen la acidez.

Como bien refiere el texto citado la generación de aguas ácidas es un proceso natural en el área de explotación minera, pero en nuestro caso las aguas ácidas están acompañadas por ligandos que forman complejos con el cobre de difícil tratamiento con cal del cual se desconoce su origen.

Antecedente nacional

Como indica (López Goicochea & Mostacero, 2013) en su tesis de grado de doctorado “Tratamiento de aguas ácidas provenientes del PAD de lixiviación con NaOH-almidón; en Cia minera Sipán SAC, durante cierre ambiental. distrito de Llapa, Cajamarca, Perú, 2011-2012”; en la parte de tratamiento de aguas ácidas describe:

La presencia de sulfuros estériles en minería son problemas ambientales; consecuentes a ellos se tiene drenajes ácidos. Necesidad que deben atenderse, durante los procesos extractivos y de cierre minero. Actualmente se emplea cal en los tratamientos, generándose lodos, producto de reacción química incompleta, lodos sedimentables de alto valor en pH, generando problemas de almacenamiento y disposición final. Sin embargo, en el presente trabajo se buscó encontrar otra alternativa al empleo de cal. Donde se empleó NaOH – Almidón, en el tratamiento, sin generar lodos sedimentables.

Como bien refiere el texto citado, tratamiento por neutralización de aguas ácidas, en la que menciona al NaOH-almidón como una técnica que no genera lodo sedimentable y por lo tanto con ventaja económica





en lo que se refiere al transporte de lodos comparado al método con tratamiento de cal; aunque no menciona nada con respecto al tratamiento en presencia de ligandos que formen complejos con el cobre de difícil tratamiento por neutralización.

Antecedente local

Como indica (Loroña Calderón, 2017) su artículo: Propuesta de tratamiento para la eliminación del manganeso en la Planta de Neutralización de Aguas Ácidas, Victoria-Compañía Minera Volcan S. A., Perú; en la parte de generación de aguas ácidas describe:

La Planta de Neutralización de Aguas Ácidas (PNAA) de la Planta Concentradora Victoria – Yauli cuenta con una capacidad de tratamiento de 400 l/s que recibe los efluentes de aguas ácidas de las minas Carahuacra y San Cristóbal, el cual ha demostrado las ventajas técnicas y económicas durante su operación. En consecuencia, puede considerarse como tecnología probada y servir de referencia para otros proyectos de tratamiento de efluentes ácidos. Para su operación consta de equipos principales (tanques, bombas, motores, espesador, ciclones), equipos auxiliares (tanque para lechada cal, poza de emergencia, tanque para preparación de floculantes) y además cuentan con sistemas de instrumentación (potenciómetros, dosificación automática de cal y monitoreo computarizado de las dosificaciones). Está diseñada para alcanzar los Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero – Metalúrgicas regulados en el Decreto Supremo Peruano 010-2010-MINAM.

Como bien refiere el texto citado, tratamiento por neutralización de aguas ácidas, en la que menciona que la técnica resulta ser ventajosa





técnicamente y económica; además me permite alcanzar los límites máximos permisibles establecidos por ley, aunque no menciona nada con respecto al tratamiento en presencia de ligandos que formen complejos con el cobre de difícil tratamiento por neutralización. Por este motivo urge la urgencia de probar el Dimetil Ditiocarbamato como agente precipitante de complejos de cobre.

3.1.2. Bases teóricas

El presente proyecto uso metodologías de investigación cualitativas, cuantitativas, diagramas causa efecto, diagrama de flujo de proceso y matriz FODA.

Metodología de investigación cualitativa: Se realizó un análisis visual del posible problema, debido que se encontró espumas en los reactores, lo cual no es normal en el proceso diario.

Metodología de investigación cuantitativa: Se cuantifico el contenido de cobre en el efluente final por espectroscopia de absorción atómica dando valores por encima del LMP

Diagrama causa efecto de Ishikawa: Con esta herramienta se pudo determinar la causa mayoritaria que ocasiona el problema.

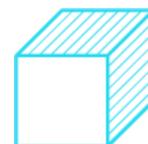
Diagrama de flujo: Se pudo describir en forma resumida mi proceso en planta Kingsmill.

Matriz FODA: Se pudo determinar las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas para poder ejecutar una adecuada estrategia.

3.1.3. Bases normativas

Los límites de los parámetros de la planta de tratamiento de aguas ácidas del túnel Kingsmill está basada en el decreto supremo peruano 010-2010-MINAN en la cual se encuentra regulada los límites máximos





permisibles (LMP), para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas.

La tabla 2 describe los LMP de la planta de tratamiento Kingsmill para efluentes:

Tabla 2

Límites Máximos Permisibles de PT-TK⁶

Cuadro 6-37 Concentraciones de Vertimiento en los Efluentes Industriales para Cumplimiento de ECA-Agua

Parámetros	Unidad	Puntos de Vertimiento	
		PT-TK	Comp-Rumi-1
pH	Unid. pH	6,0 - 8,6	6,0 - 9,0
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50	50
Aceites y Grasas	mg/L	7	20
Cianuro total	mg/L	0,14	0,8
Aluminio total	mg/L	2	2
Arsénico total	mg/L	0,1	0,1
Cadmio total	mg/L	0,01	0,05
Cromo hexavalente	mg/L	0,013	0,05
Cobre total	mg/L	0,3	0,5
Hierro total	mg/L	3,5	3,5
Hierro (disuelto)	mg/L	2	2
Piomo total	mg/L	0,05	0,2
Mercurio total	mg/L	0,002	0,002
Zinc total	mg/L	1,5	1,5
Manganeso total	mg/L	4,5	1,7

Elaboración: Walsh Perú S.A., 2021.

Fuente: (Walsh Perú S.A., 2021)

3.2. DESARROLLO DEL PROYECTO

3.2.1. Realizar toma de muestras

Agua ácida: Es el agua de entrada a tratar a planta Kingsmill. Se realiza muestreo de 135 litros en diferentes días en la casa de bombas centrifugando el cobre esté por encima del LMP en el efluente final.

⁶ Planta de tratamiento del túnel Kingsmill





Solución del reactor 2: Es la solución que está siendo tratada con: lodo, aire, cal, a un pH determinado antes del ingreso del floculante. Se realiza muestreo de 15 litros en el reactor 2.

Agua tratada: Producto después del tratamiento con el método HDS. Se realiza muestreo de 15 litros a la salida del clarificador.

3.2.2. Reactivos y equipos

En el presente trabajo se utilizaron los siguientes reactivos:

- Lechada de cal: 13 % de cal.
- KemMet 1140: Dimetil Ditiocarbamato de sodio al 40%.

Equipos utilizados:

- pH metro
- Espectroscopia de absorción atómica
- Balanza analítica
- Horno de secado
- Equipo que funciona como reactor a nivel de laboratorio

Materiales:

- Vasos: 250 ml y 1 L
- Pipetas de 10 y 20 ml

3.2.3. Tratamiento de agua acida con cal a pH de 9.8 y 10.5

En la figura 17 se observa el proceso de tratamiento del agua ácida del túnel Kingsmill a nivel de laboratorio a pH de 9.8 y 10.5 y su correspondiente caracterización por la técnica de absorción atómica para determinar el contenido de cobre disuelto y total en el agua final.

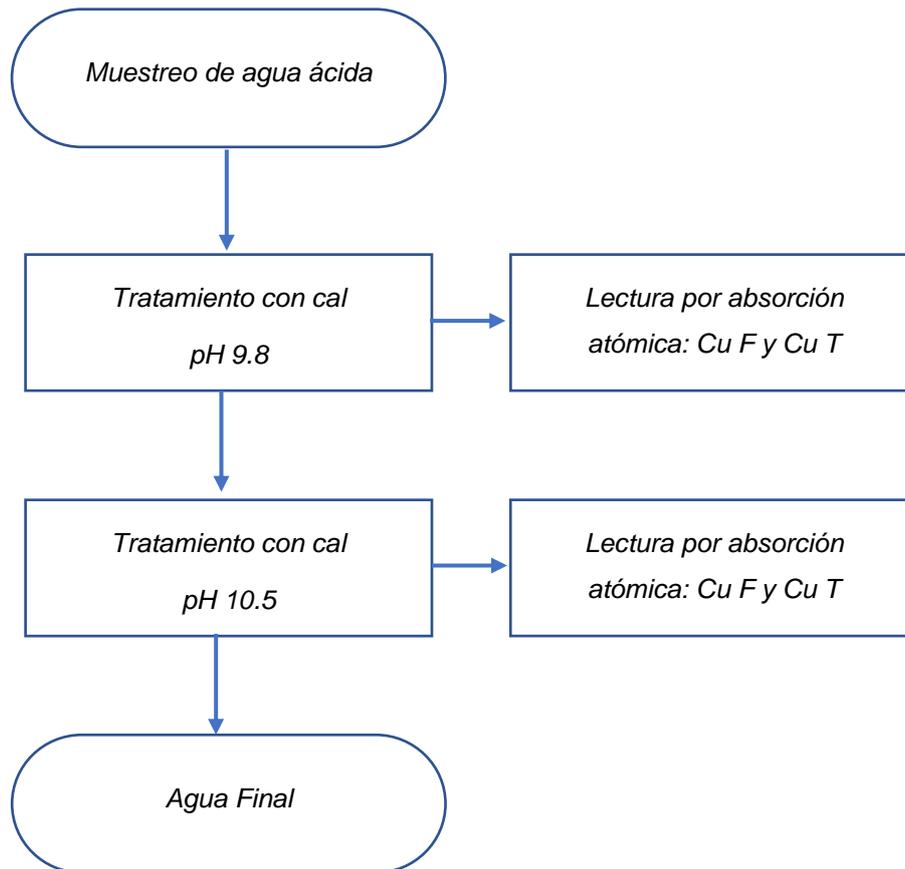




La prueba se realizó con agua ácida que se encuentra por encima del LMP de 0.3 ppm cuando fue tratada por el proceso de neutralización de planta Kingsmill.

Figura 17

Tratamiento de Agua Ácida con Cal a pH 9.8 y 10.5



Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)

3.2.4. Resultados de cobre disuelto y total de muestras⁷

En la tabla 3 se muestra los resultados de cobre total y disuelto, dados por la técnica de absorción atómica de muestras de agua ácida tratadas con cal a nivel de laboratorio; se puede observar que hay resultados de cobre por encima del LMP en algunos días.

⁷ Se refiere a total de muestras tratadas a pH 9.8.



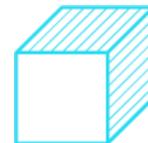


Tabla 3

Concentración de Cu Total y Disuelto de Agua Ácida⁸

Muestra	Días de monitoreo								
Fecha	21-Ene	24-Ene	28-Ene	29-Ene	30-Ene	1-Feb	2-Feb	3-Feb	4-Feb
Hora	2:00 p. m.	2:00 p. m.	2:00 p. m.	2:00 p. m.	2:00 p. m.	2:00 p. m.	2:00 p. m.	2:00 p. m.	2:00 p. m.
Cu Total (ppm)	0.030	0.010	0.300	0.330	0.500	0.360	0.250	0.070	0.030
Cu Disuelto (ppm)	0.010	0.020	0.160	0.250	0.300	0.330	0.151	0.015	0.005
pH laboratorio	9.80	9.80	9.80	9.80	9.80	9.80	9.80	9.80	9.80

Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)⁹

En la gráfica 3 se muestra los resultados de la tabla 3 correspondiente al cobre total, donde se observa valores de 0.3, 0.33, 0.50 y 0.36 ppm por encima del LMP imposible de tratar con el método ordinario de tratamiento con cal a pH 9.8.

En la gráfica 4 se muestra los resultados de la tabla 3 correspondiente al cobre disuelto, donde se observa valores de 0.3 y 0.33 ppm por encima del LMP imposible de tratar con el método ordinario de tratamiento con cal a pH 9.8.

Podríamos afirmar la presencia de complejos de cobre por los resultados observados en gráfica 3 y 4, la cual hace que el cobre este por encima del LMP en algunos días. Es por este complejo que se hace difícil su precipitación con el tratamiento con cal a pH 9.8.

⁸ Se refiere al Cu total disuelto de agua ácida tratada en laboratorio a pH 9.8

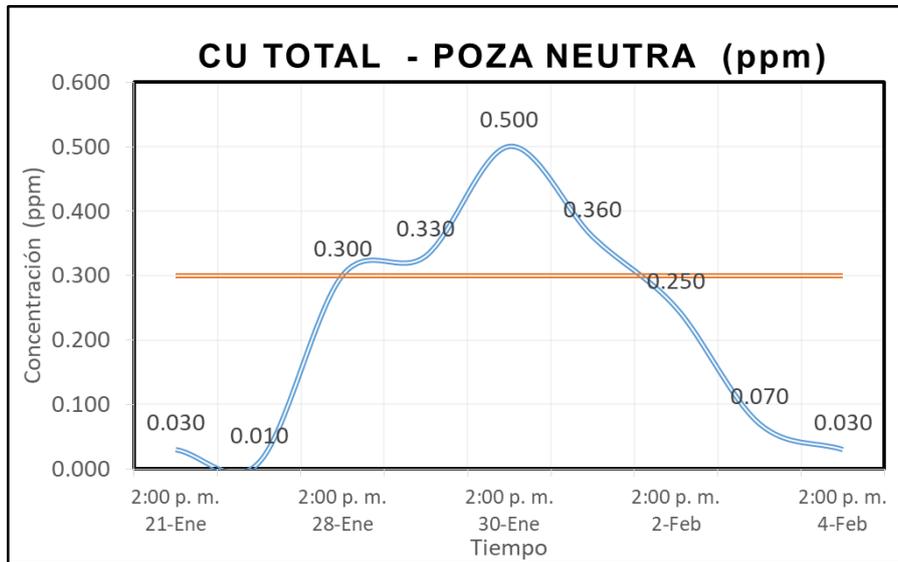
⁹ Las pruebas se realizaron en varios días de muestreo de agua ácida.





Gráfico 3

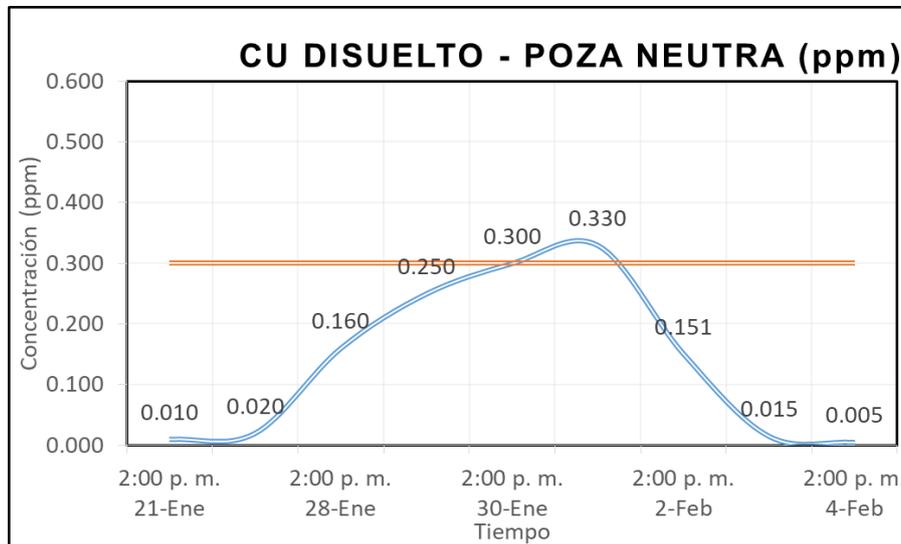
Concentración de Cu Total Tratadas en Laboratorio a pH 9.8



Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)

Gráfico 4

Concentración de Cu Disuelto y Tratadas en Laboratorio a pH 9.8



Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)





3.2.5. Resultados de cobre disuelto y tratadas a pH 10.5

Ante la dificultad de bajar los contenidos de cobre por debajo de LMP de la muestra ácidas con tratamiento a pH 9.8 se procedió a tratar las mismas muestras a pH 10.5 para observar su comportamiento.

En la tabla 4 se muestra los resultados de cobre total y disuelto, dados por la técnica de absorción atómica de muestras de agua ácida tratadas con cal a nivel de laboratorio a pH 10.5.

Tabla 4

Concentración de Cu Total Tratada en Laboratorio a pH 10.5

Muestra	Días de monitoreo								
	21-Ene	24-Ene	28-Ene	29-Ene	30-Ene	1-Feb	2-Feb	3-Feb	4-Feb
Fecha	21-Ene	24-Ene	28-Ene	29-Ene	30-Ene	1-Feb	2-Feb	3-Feb	4-Feb
Hora	2:00 p. m.	2:00 p. m.	2:00 p. m.	2:00 p. m.	2:00 p. m.	2:00 p. m.	2:00 p. m.	2:00 p. m.	2:00 p. m.
Cu Total (ppm)	0.015	0.008	0.180	0.210	0.310	0.230	0.160	0.030	0.014
Cu Disuelto (ppm)	0.008	0.004	0.070	0.100	0.240	0.140	0.090	0.004	0.005
pH laboratorio	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50

Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)

En la gráfica 5 se muestran los resultados de la tabla 4 correspondiente al cobre total, donde se observa un solo valor por encima del LMP. Se puede observar que elevando el pH de trabajo de 9.8 a 10.5 el contenido de cobre total en un punto, disminuye de 0.5 a 0.31 ppm, lo que demuestra una mejora en la precipitación del cobre acomplejado al aumentar el pH de trabajo.

En la gráfica 6 se muestra los resultados de la tabla 4 correspondiente al cobre disuelto, donde se observa que todos los valores de cobre disminuyen por debajo del LMP comparado al tratamiento a pH 9.8.

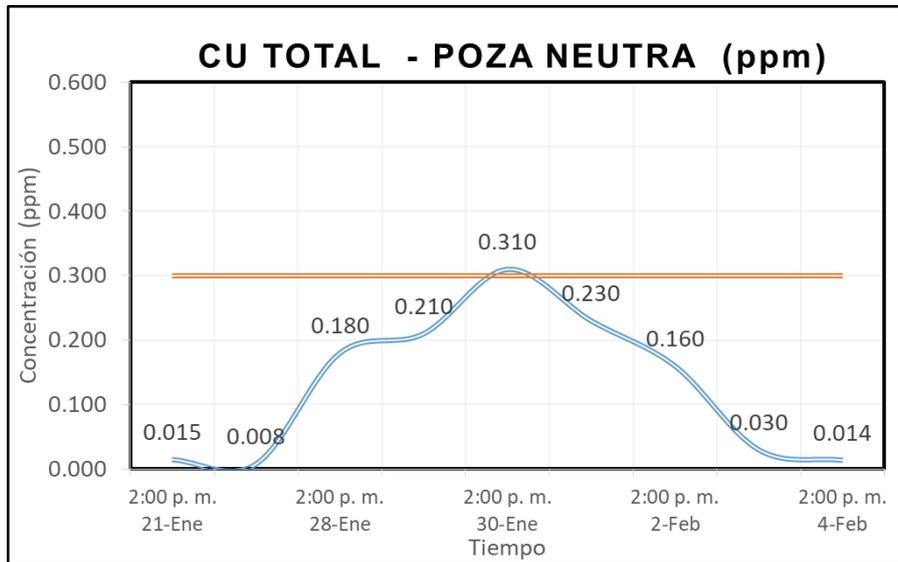
Podríamos afirmar por los resultados observados en la gráfica 5 y 6 que el tratamiento a pH 10.5 mejora la precipitación del cobre acomplejado, aunque no nos garantiza buenos resultados si es que viene un agua ácida de entrada con cobre acomplejado mayor a 0.8 ppm.





Gráfico 5

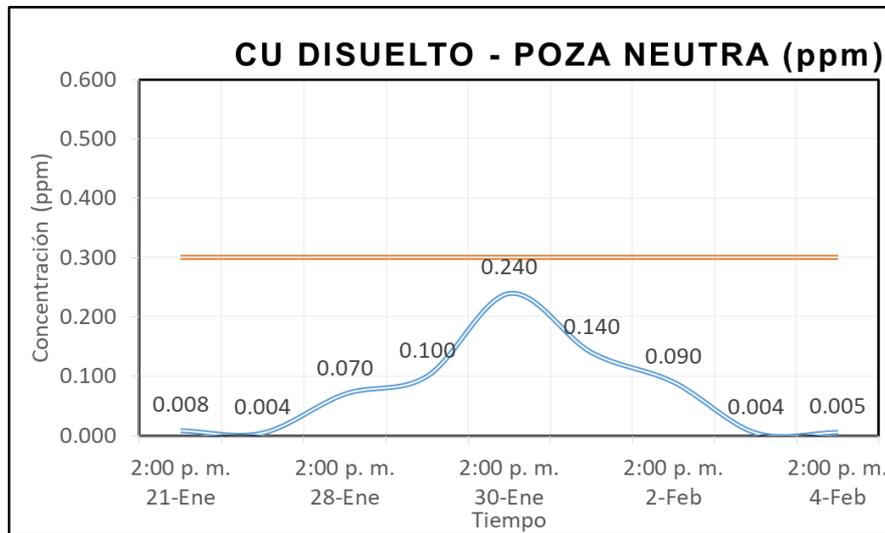
Concentración de Cu Total Tratadas en Laboratorio a pH 10.5



Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)

Gráfico 6

Concentración de Cu Disuelto Tratadas en Laboratorio a pH 10.5



Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)





3.2.6. Tratamiento de solución de reactor 2

Esto es en el efluente de descarga del clarificador (KMT2)¹⁰ con KemMet 1140 a diferentes concentraciones.

a) Preparación de KemMet 1140 a diferentes concentraciones

Se preparó KemMet al 0.1 y 0.01 % a partir del KemMet 1140 por dilución (Tabla 5 y figura 18).

Tabla 5

KemMet a Diferentes Concentraciones

Soluciones preparadas
Kemmet 0.1 %
Kemmet 0.01 %

Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)

Figura 18

Preparación de KemMet al 0.1 y 0.01%



Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)

¹⁰ KMT2: Producto final del tratamiento con cal antes de agregar CO₂





b) Procedimiento para tratar las muestras con KemMet 1140

Se utilizó 9 vasos conteniendo un litro de muestra (tabla 6 y figura 19):

- Del vaso 1 al 5 se utilizó agua de salida del clarificador (KMT2).
- Del vaso 6 al 9 se utilizó solución del reactor 2.
- Al vaso 1 se lo utilizó como blanco, cuyo contenido es agua de salida del clarificador (No se agregó reactivo en estudio).
- A los vasos del 2 al 5 se trató con reactivo en estudio a las cantidades y concentración según la tabla 6 y con un minuto de agitación.
- Al vaso 6 se lo utilizó como blanco, cuyo contenido es solución del reactor 2 (No se agregó reactivo en estudio).
- A los vasos del 7 al 9 se trató con reactivo en estudio a las cantidades y concentración según la tabla 6 y con un minuto de agitación.



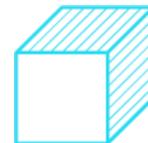


Tabla 6

Secuencia de Muestras de KemMet a Usar¹¹

V a s o	Tipo de solución	Volumen de muestra (L)	KemMet 1140	
			Concentración(%)	Volumen (ml)
1	Agua KMT2	1	-	-
2	Agua KMT2	1	0.1	10
3	Agua KMT2	1	0.01	10
4	Agua KMT2	1	0.01	10
5	Agua KMT2	1	0.01	20
6	Muestra reactor 2	1	-	-
7	Muestra reactor 2	1	0.1	10
8	Muestra reactor 2	1	0.1	20
9	Muestra reactor 2	1	0.1	40

Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)

Figura 19

Muestras de Agua KMT2 y Solución de Reactor 2¹²



Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)

¹¹ La secuencia es con la cantidad y concentración de muestras.

¹² Esto es antes de agregar KemMet.





En la figura 20 se observa las muestras de agua de KMT2 y soluciones del reactor 2 tratadas con KemMet al 0.1 y 0.01%. Se tomaron muestras para ser analizadas por técnica de absorción atómica a los 25, 90 y 120 minutos de reacción. Adicionalmente se tomó muestras de la serie de vasos a los 2 días de reacción para su análisis.

Se observa un cambio de coloración ligero a marrón en las muestras de salida del agua del clarificador (KMT2), lo cual indica la formación de partículas en suspensión de Dimetil Ditiocarbamato de cobre (figura 20).

Figura 20

Muestras de KMT2 y solución de R2 tratadas¹³



Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)

c) Muestras de KMT2 y R2 tratadas con KemMet para ser analizadas por absorción atómica

En la figura 21 se tiene las muestras filtradas a ser analizadas por la técnica de absorción atómica para determinar el contenido de cobre y manganeso disuelto y así poder analizar el efecto del

¹³ Se refiere que fueron tratadas con KemMet al 0.1 y 0.01% a los 25 minutos de reacción.





Dimetil Ditiocarbamato de sodio en la precipitación del cobre acomplejado.

Figura 21

Muestras de KMT2 y R2 Tratadas con KemMet al 0.1 y 0.01%¹⁴



Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)

3.2.7. Resultados de muestras tratadas con KemMet

a. Espectroscopia de absorción atómica

En la tabla 7 se presenta las concentraciones de Cu y Mn en el agua de salida del clarificador (KMT2) antes de iniciar el tratamiento con Dimetil Ditiocarbamato de sodio (KemMet) la cual la tomaremos como punto de partida en la concentración de los metales(ppm).

¹⁴ Se refiere que fueron filtradas y llevadas a fiolas para ser analizadas por absorción atómica



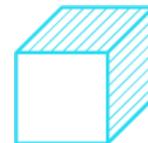


Tabla 7

Concentración de Cu y Mn en Agua KMT2 Antes de Agregar KemMet

Tipo de agua	Análisis			
	Cu F	Cu T	Mn F	Mn T
Agua KMT2 antes de empezar las Pruebas	0.188	0.444	2.2	3.02

Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)

En la tabla 8 observamos que los vasos 3, 5 y 8 muestran una disminución del cobre acomplejado de 0.188 (tabla 7) que es su concentración inicial antes de agregar KemMet a 0.052, 0.024 y 0.017 ppm al agregar el reactivo ligante a los 25 minutos de reacción.

También podemos notar que al aumentar la cantidad de miligramos de reactivo precipitante (Dimetil Ditiocarbamato de sodio) el cobre disuelto disminuye a niveles más bajos (tabla 9).





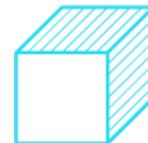
Tabla 8
Concentración¹⁵ de Cu y Mn de Muestras Tratadas con KemMet

V a s o	Tipo de solución	Volumen de muestra (L)	KemMet 1140		Polimero (ml)	pH	Análisis de Cu y Mn al tratar con kemMet 1140 a diferentes concentraciones y volúmenes en función del tiempo									
							25 min		90 min		120 min		2 días		2 días	
			Concentración(%)	Volumen (ml)			Cu F	Mn F	Cu F	Mn F	Sobranadante		Sobranadante		Cu F	Mn F
											Cu	Mn	Cu	Mn		
1	Agua KMT2	1	-	-	-	9.37	-	-	-	-	0.305	2.750	0.193	2.800	0.152	2.410
2	Agua KMT2	1	0.1	10	-	9.37	0.001	2.40	0.013	2.4	0.249	2.800	0.120	2.600	0.015	2.600
3	Agua KMT2	1	0.01	10	-	9.37	0.052	2.41	0.027	2.39	0.247	2.7	-	-	-	-
4	Agua KMT2	1	0.01	10	0.5	9.37	0.052	2.39	0.025	2.3	0.256	2.6	-	-	-	-
5	Agua KMT2	1	0.01	20	-	9.37	0.024	2.30	0.014	2.2	0.244	2.58	0.103	2.500	0.013	2.400
6	Muestra reactor 2	1	-	-	-	9.7	0.182	-	-	1.21	0.281	1.82	0.379	2.200	0.114	1.600
7	Muestra reactor 2	1	0.1	10	2	9.7	0.151	1.20	0.158	1.26	-	-	0.228	0.722	0.135	1.110
8	Muestra reactor 2	1	0.1	20	2	9.7	0.017	0.82	0.014	0.820	-	-	-	-	-	-
9	Muestra reactor 2	1	0.1	40	2	9.7	0.015	0.61	0.012	0.620	-	-	-	-	-	-

Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)

¹⁵ Las concentraciones de los metales están en ppm. Además, a diferentes tiempos de reacción.





3.2.8. Consumo de KemMet

En este caso si trataríamos 4000 m³/h de agua; en la tabla 9 se realizan cálculos para determinar el consumo de Big Bag de KemMet por día para un flujo de agua de 4000 m³/h:

- Vaso 3 (Agua de KMT2): Para bajar la concentración de cobre hasta 0.052 ppm se requiere un Big Bag por cada 12 días.
- Vaso 5 (Agua de KMT2): Para bajar la concentración de cobre hasta 0.024 ppm se requiere un Big Bag por cada 6 días.
- Vaso 8 (Agua reactor 2): Para bajar la concentración de cobre hasta 0.017 ppm se requiere un Big Bag por cada 0.6 días.

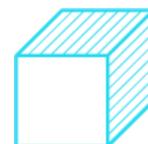
Tabla 9

Consumo de Big Bag de KemMet por Día al Tratar 4000 m³/h de Agua

Vaso	Tipo de solución	Volumen de muestra (L)	KemMet 1140		Polimero (ml)	pH	Cu F 25 min	dimetilditio carbamato de sodio (mg)	big bag/día	día/bigbag
			Concentración(%)	Volumen (ml)						
3	Agua KMT2	1	0.01	10	-	9.37	0.052	0.4	0.081	12.3
5	Agua KMT2	1	0.01	20	-	9.37	0.024	0.8	0.163	6.1
8	Muestra reactor 2	1	0.1	20	2	9.7	0.017	8	1.628	0.6

Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)





3.3. COSTOS DEL PROYECTO

Con los datos obtenidos a nivel de laboratorio se pudo proyectar los consumos de cal para los volúmenes de agua ácida tratada en planta Kingsmill a pH 9.8 y 10.5 para un periodo de 10 días (Tabla 10)

Se puede observar que por tratar de disminuir el cobre acomplejado por debajo del LMP se sube el pH a 10.5 lo que ocasiona un aumento del costo de cal en el proceso de neutralización en un porcentaje de 268 con respecto a su consumo a pH nominal de trabajo de 9.8(tabla 11)

Tabla 10

Consumo de Cal a pH 9.8 y 10.5 por Período de 10 días¹⁶

Fecha	Flujo agua ácida (m3/h)	Volumen agua ácida (m3)	Consumo de cal a pH 9.8 (Kg)	Consumo de cal a pH 10.5 (Kg)
21/01/2022	4,000.0	96,000.0	23,691.0	60,289.0
24/01/2022	4,010.0	96,240.0	23,628.0	55,132.0
28/01/2022	3,990.0	95,760.0	22,215.0	58,743.0
29/01/2022	4,000.0	96,000.0	21,230.0	58,966.0
30/01/2022	3,980.0	95,520.0	21,050.0	61,678.0
6/01/2022	4,020.0	96,480.0	22,946.0	62,678.0
1/02/2022	3,990.0	95,760.0	24,845.0	61,888.0
2/02/2022	4,150.0	99,600.0	23,022.0	59,778.0
3/02/2022	4,200.0	100,800.0	22,002.0	62,008.0
4/02/2022	4,002.0	96,048.0	20,022.0	61,222.0
Total	4,034.2	968,208.0	224,651.0	602,382.0

Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)

¹⁶ Se refiere al volumen de agua ácida trata y el consumo de cal.



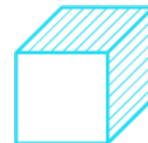


Tabla 11

Costos de Óxido de Cal a pH 9.8 y 10.5 por 10 días

Costo Unitario: óxido de calcio(\$/kg)	0.11
Costo cal por 10 días a pH 9.8	\$24,711.6
Costo cal por 10 días a pH 10.5	\$66,262.0
Aumento de costo de cal al pasar de pH 9.8 a 10.5	268.1%

Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)





3.5. CONCLUSIONES

Las proyecciones en planta se basan en datos obtenidos a nivel de laboratorio

Agua ácida

- La cal trabaja de manera satisfactoria a un pH de 9.8 en muestras donde no hay presencia de cobre acomplejado difícil de precipitar.
- La cal no puede disminuir el cobre total por debajo del LMP para muestras con contenido de cobre acomplejado, a un pH de trabajo de 9.8.
- El cobre acomplejado disminuye por debajo del LMP al neutralizar el agua ácida con cal a un pH de 10.5.
- Pasar de un pH de 9.8 a 10.5 ocasiona un aumento en el costo de cal de 268 % al realizar las estimaciones para el proceso en planta Kingsmill.

Agua del clarificador (KMT2)

- Tratar el agua de salida del clarificador con KemMet (Dimetil Ditiocarbamato de sodio) disminuye el cobre acomplejado por debajo del LMP.
- Con los datos obtenidos en laboratorio se estima que un Big Bag de KemMet dura 12.3 días para bajar el cobre de 0.188 a 0.052 ppm en el proceso de planta.
- También se estima que un Big Bag dure 6 días para bajar el cobre de 0.188 a 0.024 ppm en planta.

Solución del reactor 2





- Se estima que se requiere de 1 Big Bag de KemMet para bajar el cobre disuelto a 0.017 ppm por un periodo de 0.6 días en la solución del reactor 2.
- La solución del reactor 2 requiere entre 10 a 20 veces más KemMet que la solución de salida del clarificador para bajar el cobre por debajo del LMP.
- El KemMet reacciona con todos los metales presentes en las soluciones, formando complejos metálicos
- Con el presente trabajo se demuestra que el Dimetil Ditiocarbamato de sodio es un ligando más fuerte que el ligando que evita que el cobre pueda precipitar con cal en planta Kingsmill, ocasionado que este sea desplazado por el ligando en estudio y su posterior precipitación.

3.6. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones se proyectan para ser aplicadas en planta Kingsmill:

- Se recomienda usar KemMet para disminuir el cobre acomplejado por debajo del LMP a comparación de aumentar el consumo de cal para llegar a pH de 10.5, ya que este valor alto de pH, ocasiona un aumento de costos de cal de 268% además de los gastos que ocasionara por transporte de lodos.
- Se recomienda probar el KemMet 1140 en el agua de salida del clarificador (stand pipe), para que pueda haber un buen mezclado, y que la poza de emergencia actúe como un clarificador. Hipotéticamente se espera que los precipitados del Dimetil Ditiocarbamato de cobre puedan sedimentar, aunque hay la posibilidad de que no haya el tiempo suficiente. Sería cuestión de probarlo en campo.
- Se estima que el consumo del KemMet 1140 en la solución del reactor 2, es de 20 veces al consumido en el agua de salida del clarificador,





esto es debido a que el Dimetil Ditiocarbamato de sodio reacciona con una gran cantidad de metales presentes en el reactor 2, en cambio ya que el agua del clarificador tiene una cantidad mínima de estos iones su consumo es menor.

- También se puede usar el reactivo en el reactor 2 y su consumo sería de 1.6 Big Bag de KemMet por día, si es que la solución es de la misma característica a la solución usada en el presente trabajo de investigación.
- Se puede proyectar el consumo del KemMet si solo consideramos para los cálculos el cobre acomplejado, sin que haya demasiada presencia de otros metales como es el caso del agua del clarificador. La lógica para proyectar sería la estequiometría de la reacción, ya que dos moléculas de Dimetil Ditiocarbamato reaccionan con un átomo de cobre con estado de oxidación +2.





CAPÍTULO IV

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS





BIBLIOGRAFÍA

- Chinalco. (2022). *Chinalco*. Obtenido de www.chinalco.com:
<https://www.chinalco.com.pe/>
- Desarrollo Peruano. (Diciembre de 2013). *Desarrollo Peruano*. Obtenido de www.desarrolloperuano.blogspot.com
- Jimenez Huallpa, C. C. (2017). *Repositorio de tesis de la universidad Peruana Unión*. Obtenido de Eficiencia en la remoción del tratamiento de aguas ácidas de mina, mediante neutralización activo con lechada de cal de la Unidad Minera Arasi – Puno: <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/856>
- Kirschbaum, A., & Murray, J. (abril de 2011). *eprints.natura.unsa.edu.ar*. Obtenido de Minería y aguas ácidas: contaminación y prevención: http://eprints.natura.unsa.edu.ar/249/1/mineria_aguas_acidas.pdf
- López Goicochea, J. W., & Mostacero, L. J. (2013). *dspace de la Universidad Nacional de Trujillo*. Obtenido de Tratamiento de aguas ácidas provenientes del pad de lixiviación con NaOH-almidon; en cia minera sipan sac, durante cierre ambiental. distrito de Llapa, Cajamarca, Perú, 2011-2012: <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/5011>
- Loroña Calderón. (Febrero de 2017). *Revistas caedra de la Villareal- Lima*. Obtenido de Propuesta de tratamiento para la eliminación del manganeso en la Planta de Neutralización de Aguas Ácidas, Victoria-Compañía Minera Volcan S. A. A, Perú: <https://revistas.unfv.edu.pe/RCV/article/view/183/177>
- Paredes Medina, L. A. (2022). Trabajo de Suficiencia Profesional de la EPII/UAP - Para obtener el título de Ingeniero Industrial. “*Estudio de la Dimetil Ditiocarbamato de sodio como agente precipitante de cobre en el tratamiento de aguas de planta Kingsmill*”. Arequipa, Perú: Electrónico&Digital.
- Walsh Perú S.A. (2021). Límites máximos permisibles de planta de tratamiento kingsmill.





CAPÍTULO V
GLOSARIO DE TÉRMINOS





KemMet 1140: Es una solución acuosa al 40% de Dimetil Ditiocarbamato de sodio((CH₃)₂NCS₂Na), eficaz en precipitar bajas concentraciones de iones metálicos pesados, presentes en efluentes acuosos mineros.

Dimetil Ditiocarbamato de sodio: Es un ligando común en química inorgánica a base de azufre, los cuales al ser agregados estequiométricamente a los metales pesados forma compuestos coordinados insolubles.

Dimetil Ditiocarbamato de cobre: Es un complejo insoluble de cobre, de color marrón.

HDS: High Density Sludge (lodos de alta densidad).

SDD: Dimetil Ditiocarbamato de Sodio.

Cal: Óxido de Calcio.

Espectrofotómetro de absorción atómica: Equipo usado para cuantificar elementos metálicos.

KMT2: Solución tratada por el proceso HDS antes de agregar CO₂ a la salida del clarificador.

Solución del reactor 2: Agua ácida tratada con lodo, aire y cal a pH 9.8

Planta Kingsmill: Planta de tratamiento de aguas ácidas.





CAPÍTULO VI

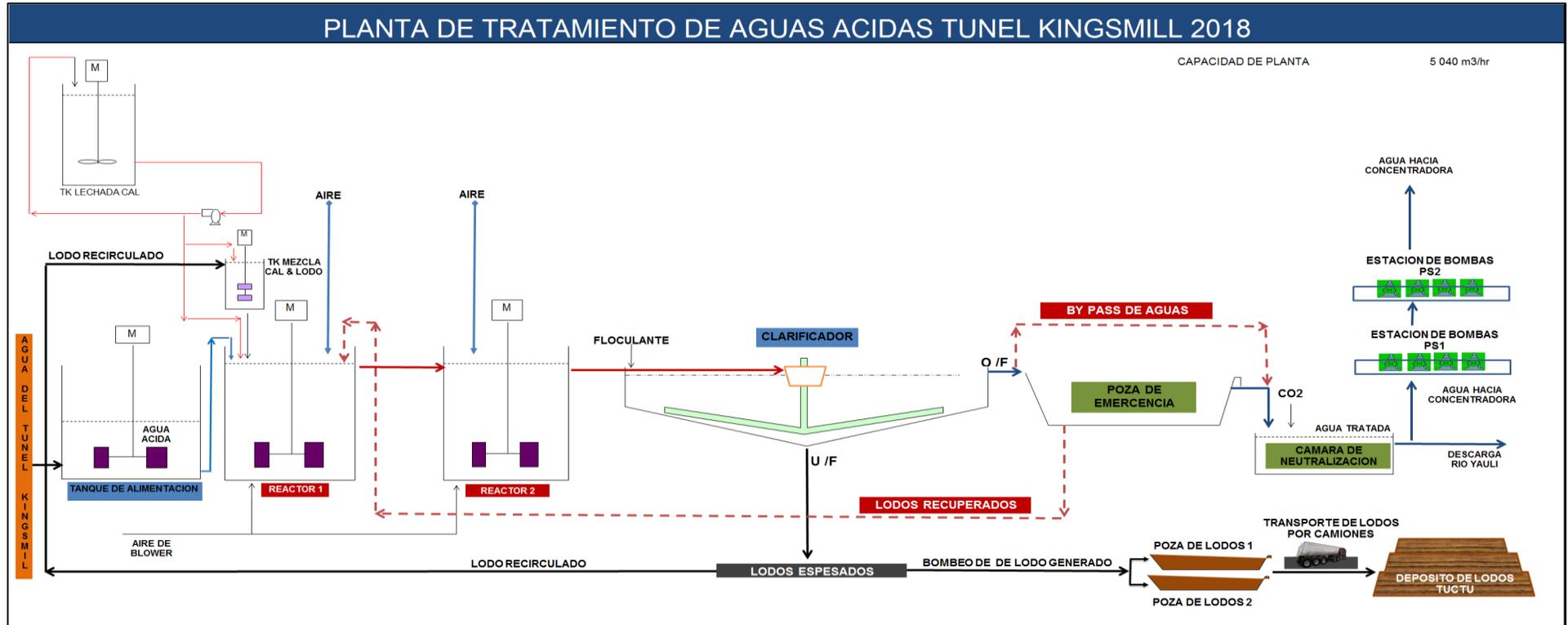
ANEXOS





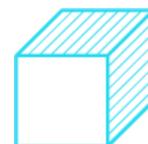
Anexo 1

Planta de Tratamiento de Aguas Ácidas del Túnel Kingsmill



Fuente: (Chinalco, 2022)





Anexo 2
Big bags de KemMet



Fuente propia: (Paredes Medina, 2022)

