

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA
FACULTAD DE INGENIERIA DE PROCESOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA



TESIS

“EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE RELAVES (PTARE) DE UNA PLANTA POLIMETÁLICA EN EL DISTRITO DE TAPAY – PROVINCIA DE CAYLLOMA”

Tesis presentada por el Bachiller:

CHRISTIAN ENRIQUE MORALES ORTIZ

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO METALURGISTA

AREQUIPA - PERU

2020

DEDICATORIA

A Dios. Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi esposa Melany. Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi madre Ernestina y a mi Padre Jorge. Por los ejemplos de perseverancia y constancia que me han infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios ser maravilloso que me dio la fuerza y fe para terminar este proyecto.

A mi familia por ayudarme incondicionalmente y por estar a mi lado en cada momento de mi vida.

Al Ing. Homar Taco Cervantes y Esposa por apoyarme incondicionalmente y mostrar con su ejemplo la perseverancia, unión y amor por la digna profesión de metalurgista.

Christian Enrique Morales Ortiz

INTRODUCCION

La evaluación de los diferentes procesos en la Metalurgia Extractiva basada en el Diseño Experimental el cual no es más que la planificación racional de las experiencias a realizarse de manera que se pueda obtener la máxima información con el mínimo posible de pruebas de evaluación.

Estos métodos de evaluación son modelos estadísticos que reducen en forma eficaz y apreciable sobre todo en los costos en los temas de investigación industrial. En la Metalurgia estudiamos el comportamiento de un mineral frente a procesos tales como la lixiviación u otros procesos, nuestro propósito es determinar y optimizar las condiciones de operación que hacen posible un alto grado de extracción y una óptima recuperación de minerales, al mismo tiempo deseamos en relaves la parte este esteril del proceso .

En razón al tratamiento de material, su composición o en la forma en la cual sus componentes son sometidos a un tratamiento con adición de reactivos y por ende el gran número de variables que es necesario considerar.

Existen varios métodos de evaluación descritos, el método consiste básicamente en ajustar un modelo matemático al proceso y localizar las condiciones óptimas.

INDICE

CAPÍTULO I	1
1. GENERALIDADES	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.3. JUSTIFICACION	2
1.4. HIPOTESIS	3
1.5. OBJETIVOS DE ESTUDIO	4
1.5.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.5.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	4
1.6. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD	5
1.6.1. UBICACION.....	5
1.7. ACCESIBILIDAD.....	6
1.8. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DEL DEPÓSITO MINERALIZADO	6
1.8.1. GEOLOGÍA LOCAL	7
1.9. ESTUDIO MINERALOGICO.....	7
1.9.1. MINERALOGIA.....	8
1.9.2. HIDROLOGIA.....	9
CAPITULO II	10
2. DESCRIPCION DE PROCESOS Y OPERACIONES METALURGICAS DE LA PLANTA POLIMETALICA 10	
2.1. ANTECEDENTES DEL TRATAMIENTO DE AGUAS DE RELAVES.	10
2.2. DRENAJE ACIDO DE RELAVE	11
2.2.1. ETAPAS DEL DESARROLLO DEL DRENAJE ACIDO DE RELAVE.....	12
2.3. TRATAMIENTO DE AGUAS DE RELAVE.....	12
2.4. PROCESO METALURGICO EN PLANTA U.E. TAMBOMAYO	13
2.4.1. FUENTE DE ABASTECIMIENTO Y CONSUMO DE AGUA PARA EL PROCESO METALURGICO.....	21
2.4.2. DESCRIPCION DEL TIPO DE DEPOSITO DE RELAVES Y FILTRACION DE AGUAS DE RELAVES.22	
CAPITULO III	23
3. FUNDAMENTOS DE LOS TRATAMIENTOS DE AGUA DE RELAVES.....	23
3.1. OPERACIONES DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE RELAVE.....	23
3.1.1. DRENAJE DE AGUAS DE RELAVES HACIA LAS POZAS DE CONTACTO	26
3.1.2. POZA DE CONTACTO 1.....	29
3.1.3. POZA DE CONTACTO 2.....	30
3.1.4. POZA DE NO CONTACTO.	31

3.1.5.	ETAPAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS.....	32
3.1.5.1.	NEUTRALIZACION Y PARAMETROS.....	35
3.1.5.2.	OXIDACION Y PARAMETROS.....	37
3.1.5.3.	REDUCCION CON SULFIRATO DE SODIO COMO PARTE DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS.....	45
3.1.5.4.	CUAGULACION Y PARAMETROS.....	47
3.1.5.5.	FLOCULACION Y PARAMETROS.....	57
3.1.6.	DEPOSITO DE SOLUCION TRATADA EN POZA DE CLARIFICACION.....	60
3.1.7.	DEPÓSITO EN LA POZA DE AMORTIGUAMIENTO.....	62
3.1.8.	REGULACION DE PH FINALIZADO EL TRATAMIENTO	64
CAPITULO IV	66
4.	ANALISIS EXPERIMENTAL Y RESULTADOS	66
4.1.	MUESTREO.....	86
4.1.1.	ESQUEMA EXPERIMENTAL.....	91
4.1.2.	CARACTERIZACION DE AGUAS QUE LLEGAN A TRATAMIENTO EN PLANTA	93
4.1.3.	EVALUACIÓN DEL PROCESO.....	93
4.2.	PRUEBAS A NIVEL DE PLANTA.....	94
4.3.	RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	112
4.4.	EVALUACIÓN Y ANALISIS DE RESULTADOS	120
CONCLUSIONES	129
BIBLIOGRAFÍA	130

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

Los drenajes procedentes de las aguas de relaves y los metales asociados a ellas son un problema ambiental y ecológico de primera magnitud en el Perú, por lo que existe la necesidad de aplicar tecnologías basadas en sistemas de tratamiento pasivo de probada eficacia y de bajo coste de operación y mantenimiento respecto a los procesos de tratamiento activo. En este contexto el manejo de los recursos de agua constituye la parte vital e integral de las operaciones mineras debido a su alto potencial de contaminación del agua y su efecto consecuente en la salud humana y el medio ambiente. El manejo químico - metalúrgico de este recurso comprende el manejo de aguas en minas, efluentes de procesos de beneficio, escorrentías de las soluciones de lixiviación, aguas superficiales provenientes de depósitos tales como las pilas de desmonte y canchas de relaves.

El manejo ambiental del agua comprende la fusión del manejo de los recursos de agua con el manejo de agua de mina, efluentes de procesos de beneficio y desechos provenientes de las actividades metalúrgicas que generan relaves.

Según Younger (1997) "el agua ácida de mina puede durar varios cientos de años luego de finalizado una actividad minera por lo que un tratamiento puede durar entre 20 a 40 años, tiene un buen rendimiento a la eliminación de metales pesados, requiere poco mantenimiento y lo principal tiene un bajo costo, por lo tanto estará al alcance de comunidades que podrían utilizarlo para el tratamiento de aguas antes de utilizarlo en el riego de sus terrenos de cultivos".

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una inadecuada evaluación del flujo de tratamiento de aguas de relaves, genera consumo innecesario de reactivos, así como el mal uso de los equipos que se operan con la finalidad de obtener una recuperación de agua que cumpla con los estándares y Límites Máximos Permisibles, requeridos para su reutilización o vertimiento en efluentes naturales, generando un alto coste de operación, exposición de personal de operaciones a reactivos nocivos para la salud de manera continua y posiblemente riesgos ambientales.

1.3. JUSTIFICACION

En la evaluación de los procesos mineros uno de los aspectos más importantes del manejo ambiental del agua que proviene de las relaveras es la identificación y caracterización de las aguas receptoras potenciales que pueden ser impactadas por diversos tipos de descargas contaminantes procedentes del uso de reactivos que se utilizan en la actualidad para el tratamiento y recuperación de metales de valor; así mismo las relaveras al ser el conjunto de material estéril que proceden de la obtención de metales presentan cantidad de metales que aunque no presentan un valor económico importante, tienen cantidades de metales que son perjudiciales para el medio ambiente al entrar en contacto con diversos tipos de ecosistemas.

El desarrollo del presente trabajo de tesis está orientado a identificar y evaluar opciones de mejora y soluciones a problemas operacionales en la recuperación de aguas en el proceso de tratamiento de la planta PTARE, mediante la evaluación de la recuperación de aguas, ya que en la mayoría de las empresas que procesan minerales mediante la concentración por el proceso de flotación generan relaves como material estéril; por lo cual en ocasiones se presentan diversos problemas con el tema de tratamiento de aguas procedentes de plantas metalúrgicas; en nuestro caso el desarrollo de una evaluación y posteriormente una optimización de parámetros operativos de los principales factores del tratamiento de aguas de relaves nos otorgaran un incremento de flujo tratado en la recuperación de agua para su posterior uso en el riego de vías o en operaciones de planta de procesos metalúrgicos, uso en equipos de interior mina, recuperación de lodos con leyes de metales útiles y por último su correcto vertimiento cumpliendo con todas las

LMP exigidos por los entes reguladores medio ambientales que fiscalizan las operaciones minero-metalúrgicas.

Económicamente se reducirá el consumo de reactivos e insumos en las operaciones de neutralización, oxidación, precipitación y floculación, generando así un ahorro significativo en la planta de tratamiento de aguas de relave PTARE.

Ambientalmente se reducirá el riesgo de que el tratamiento de aguas de relaves no cumpla con los LMP deseados para su recuperación y no desarrolle problemas de salud al tener contacto con el medio ambiente, dándole un uso adicional para mitigar el consumo de agua en otras actividades industriales.

Socialmente se reducirá el trabajo a los operadores del área de tratamiento de aguas de relave controlando así el tiempo de exposición a diferentes condiciones del proceso.

Tecnológicamente se lograra mantener estable la planta al implementar controles más óptimos dentro del proceso de tratamiento de agua de relave, evitando así fallas menores en equipos del proceso y paradas de planta no programadas.

1.4.HIPOTESIS

Es posible, el tratamiento de aguas de relaves polimetálicos en la Provincia de Caylloma en prevención de los impactos medio ambientales y la reutilización del recurso hídrico.

1.5.OBJETIVOS DE ESTUDIO

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la planta de tratamiento de aguas de las relaves polimetálicos en el Distrito de Tapay – Provincia de Caylloma, para identificar los parámetros y variables que influyen en el flujo de aguas de relaves tratados, provenientes de procesos metalúrgicos polimetálicos.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Identificar el tiempo de residencia óptimo para aumentar el flujo de tratamiento de las aguas de relaves procedentes del tratamiento metalúrgico.
- ✓ Establecer mediante pruebas a nivel planta el flujo adecuado de tratamiento de aguas de relaves.
- ✓ Obtener los rangos óptimos de flujo de tratamiento de aguas de relaves en función a las leyes de los metales en tratamiento.
- ✓ Determinar la influencia del flujo de tratamiento de aguas de relaves en los costos operativos de planta PTARE.

1.6. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

1.6.1. UBICACION

El proyecto Tambomayo está ubicado en el anexo de Punachica, distrito de Tapay, provincia de Caylloma, en la región de Arequipa. Está localizado a 100 km al Este de la mina Paula y a 54 km al Sur Oeste del distrito de Caylloma, a una altitud entre los 4700 y 4900 msnm. Ver figura N° 01.

El acceso principal desde Arequipa es por las vías afirmadas de Yura – Cañahuas – Sibayo – Caylloma – desvío Taltahuarahuarco – Tambomayo, recorrido que comprende 232.5 km aproximadamente.



FIGURA N° 1.1. Ubicación Geográfica del Proyecto Tambomayo fuente: memoria descriptiva del proyecto tambomayo

1.7. ACCESIBILIDAD.

El acceso principal desde Arequipa es por las vías afirmadas de Yura – Cañahuas – Sibayo – Caylloma – desvío Taltahuarahuarco – Tambomayo, recorrido que comprende 271 km aproximadamente, la ruta de ingreso sería como se muestra a continuación

TABLA N° 1.1

Ruta de accesibilidad hacia la unidad minera Tambomayo

RUTA	TIPO DE VIA	DISTANCIA	TIEMPO (min)	TIEMPO (horas)
Arequipa – Pampa Cañahuas	Asfaltada	115 km	120 min	2.0 horas
Pampa Cañahuas – Caylloma	Afirmada	85 km	180 min	3.0 horas
Caylloma – Taltahuarahuarco	Trocha - Carrozable	15 km	30 min	0.5 horas
Taltahuarahuarco – Tambomayo	Trocha - Carrozable	56 km	135 min	2.25 horas
TOTAL		271 km	465 min	7.75 horas

Fuente: Elaboración propia.

1.8. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DEL DEPÓSITO MINERALIZADO

Es un yacimiento polimetálico epitermal-mesotermal en vetas de oro y plata con metales base en gangas de cuarzo, emplazados en volcánicos andesíticos del terciario. El oro se encuentra en estado nativo y electrum, mientras que la plata se encuentra asociada en sulfuros y sulfosales acompañados por galena y esfalerita. Se presentan dos sistemas de vetas principales:

- Mirtha, de orientación NW-SE.
- Paola, de orientación N-NE.

También se cuenta con áreas de exploración cercanas. La coordenada UTM del punto central de referencia según (Datum WG84) es la siguiente.

- Este: 186000
- Norte: 8287500
- Zona: 19
- Altitud – promedio: 4800 m.s.n.m.

La Coordenada geográfica del punto central de referencia es la siguiente:

- Longitud Oeste: 77° 54'46" W
- Latitud Sur: 15° 28'5" S

1.8.1. GEOLOGÍA LOCAL

Se ubica dentro de la zona volcánica del sur del Perú y comprende rocas volcánicas cuyas edades van desde el terciario medio al cuaternario pleistocénico. Además se presentan depósitos inconsolidados del cuaternario reciente.

El marco geológico de la zona del proyecto y alrededores, no muestra agentes geodinámicos externos que puedan sugerir un riesgo inminente de esta naturaleza. Los emplazamientos en los que se ubican la planta concentradora, desmontera, utilidades, tubería de relaves y relavera están en zonas donde el riesgo de avenidas o huaycos, derrumbes y desplomes de rocas es muy poco probable.

La zona de estudio está delimitada por las altas cumbres del cerro Minaspata por el norte, el cerro Surihuiri por el Noreste, el cerro Salhualque por el Sur, y el cerro Aquihuiria por el Oeste, las cumbres alcanzan los 5500 m.s.n.m.

Las principales formas topográficas del área de estudio están representadas por las altas cumbres, laderas, quebradas, y fondo de valle.

1.9. ESTUDIO MINERALOGICO

Las reservas de mineral conocidos hasta la fecha se muestran resumidos en el siguiente:

TABLA N° 1.2:

Recursos mineralógicos en la unidad minera Tambomayo.

RECURSOS					
VARIABLES	TM	Ancho (m)	Ag (Oz/TM)	Au (Oz/TM)	Pb (%)
MEDIDOS	1458525.00	4.16	15.53	0.23	2.26
INDICADOS	1110771.00	3.29	14.00	0.36	2.95
INFERIDOS	2511566.00	2.75	3.78	0.39	4.61

Fuente: Memoria descriptiva EIA Tambomayo.

El proyecto estima una producción de mina a un ritmo de 3000 Tn métricas diarias de mineral con contenidos de minerales de oro, plata, plomo y zinc, 90000 TN métricas mensuales y 1080000 Tn métricas anuales.

La extracción y transporte de mineral, así como de material estéril (desmonte de mina) se realizará mediante locomotoras y carros mineros hacia la planta de procesos y al depósito de material estéril, respectivamente.

De acuerdo a los trabajos de exploración minera del proyecto, las vetas de mineral han sido reconocidas por medio de niveles, entre los que tenemos a los niveles 4940, 4890, 4840, 4790, 4740. El proyecto considera como laboreo en interior mina la ejecución de un programa de desarrollo y reconocimiento de estructuras mineralizadas de 24000 m por año (2000m por mes). Este incluye el desarrollo de otros niveles inferiores (4690, 4640, 4590, 4540, 4490, 4440 y 4390).

La profundización de la mina implicará seguir construyendo la rampa principal, así como profundizar el pique N°1 y de un pique se servicios. Ello permitirá preparar y producir inicialmente de los niveles 4690, 4640, 4590, 4540, 4490 y 4440.

En el proyecto se emplearán dos métodos de explotación subterránea: corte y relleno ascendente mecanizado, y el de banqueo y relleno.

El corte y relleno ascendente mecanizado consiste en efectuar cortes o tajadas horizontales sobre la veta, comenzando desde la base del tajo y avanzando hacia arriba. Previamente, se dejará un puente entre la galería principal y el subnivel donde se iniciará la explotación.

Las etapas o ciclo de minado por tipo de método de explotación a aplicarse en el proyecto serán: perforación, voladura, acarreo y transporte en interior de mina, desatado y sostenimiento y relleno de los tajeos.

1.9.1. MINERALOGIA

La caracterización mineralógica del mineral que es tratada en planta tiene como principal mineral a la pirargirita que esta ocluida en la galena y esfalerita, su tamaño varía entre 15 a 37 micrones, predominando en mayor cantidad las sulfosales de plata, y en pocas cantidades podemos encontrar a la plata en la argentita y como plata nativa.

SFsAg: Sulfosales de plata.

CGRs: Cobres grises.

Gn: Galena.

Cp: Calcopirita.

Ef: Esfalerita.

Sulfosales de Plata ocluidas en la esfalerita.

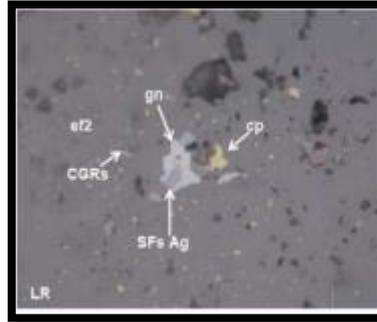


FIGURA N°1.2: Caracterización mineralógica de sulfuros **fuentes:** memoria descriptiva del proyecto tambomayo

El oro electrum se encuentra como inclusión en la galena, calcopirita y pirita, en tamaños variados mayores a 10micrones. En la figura se observa granos de electrum incluido en la galena y calcopirita liberada parcialmente asociada a la galena.

Au-Ag: electrum.

Gn: galena.

Cp: calcopirita.

Inclusión del oro electrum

En la galena

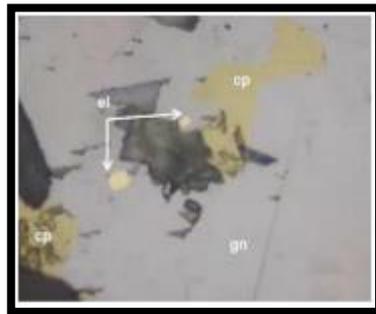


FIGURA N°1.3: Caracterización mineralógica de la composición de oro y plata **fuentes:** memoria descriptiva del proyecto tambomayo

1.9.2. HIDROLOGIA

La Unidad Minera pertenece a la parte alta de la cuenca del río Colca-Majes y subcuenca del río Molloco, ubicándose específicamente en la quebrada Ucriamayo. Esta microcuenca se extiende de desde los 4100 msnm hasta una altitud aproximada de los 5500 msnm.

El caudal máximo en la microcuenca Ucriamayo es de 44.60 m³/s, se tiene un caudal mínimo de 4.81 m³/s.

CAPITULO II

2. DESCRIPCION DE PROCESOS Y OPERACIONES METALURGICAS DE LA PLANTA POLIMETALICA

2.1. ANTECEDENTES DEL TRATAMIENTO DE AGUAS DE RELAVES.

Los flujos superficiales acidificados provenientes de los embalses de relaves pueden ser colectados y tratados con cal de neutralización. Las plantas de tratamiento de agua son el último recurso para solucionar el problema de ARD. Ellas son costosas, requieren grandes cantidades de cal procesada proveniente de fuentes cercanas, y producen grandes cantidades de lodos con metales los cuales en sí mismos presentan problemas de disposición. Sólo las descargas superficiales pueden ser tratadas en este caso, y la protección del agua subterránea requerirá recubrimiento de los embalses o medidas similares. Más importante es el hecho de que, las plantas de tratamiento requieren operación y mantenimiento a perpetuidad porque la duración de la generación de ARD es, en sí misma, ilimitada. Esto a su vez requiere compromisos financieros e institucionales a perpetuidad. Aún si una operación minera puede proporcionar apoyo financiero posterior a la clausura, la operación de la planta de tratamiento no es una carga deseable o razonable para la mayoría de las entidades gubernamentales. Un tratamiento activo de agua no es en general una solución apropiada para ARD en las condiciones peruanas, excepto posiblemente para casos especiales que involucren el cuidado de minas ya abandonadas. Los metales pueden ser eliminados por las bacterias reductoras de sulfatos, en terrenos húmedos artificialmente construidos, un tipo de aproximación o enfoque que se soporta a sí mismo y es altamente deseable.

Sin embargo, esta tecnología no parece ser conveniente para grandes flujos de ARD o aquellos que fluctúan ampliamente en volumen o concentración de metal. Su potencial

primario parece ser bien similar a una etapa de acabado o refinamiento para las plantas activas de tratamiento.

2.2. DRENAJE ACIDO DE RELAVE

La actividad minera, llámese la Gran Minería, Mediana Minería, Pequeña Minería, Minería Artesanal y Minería Informal, de acuerdo a sus procesos tecnológicos aplicados, generan Aguas de procesos que deben ser descargados, luego de extraer la parte valiosa; en este contexto se ubica la Gran Minería del Cobre, Oro, Zinc, Hierro, Luego se presentan la mediana minería de Cobre, Oro, Plata, Plomo, Zinc, etc., La pequeña Minería, Minería Artesanal e Informal de oro sobre todo.

Cada una de estas actividades productivas generan descargas liquidas saturadas de contaminantes metálicos y otros que deben ser removidos previo a su descarga, cumpliendo con los estándares de descarga establecidos en la normatividad vigente.

El fenómeno de drenaje ácido proveniente de minerales sulfurosos es un proceso que ocurre en forma natural. Hace ciento de años, se descubrieron muchos yacimientos minerales por la presencia de agua de drenaje rojiza, indicando la presencia de minerales sulfurosos.

Hace sólo alrededor de 20 años, se desarrolló una preocupación ambiental asociada con esta agua ácida, rica en metales disueltos, así como el término "drenaje ácido de mina" o DAM. No obstante, el drenaje ácido no ocurre únicamente en las minas, por lo que el término "drenaje ácido de roca" o DAR también es usado comúnmente.

Drenaje contaminado que resulta de la oxidación de minerales sulfurados y lixiviación de metales asociados, provenientes de las rocas sulfurosas cuando son expuestas al aire y al agua.

El desarrollo del DAR es un proceso dependiente del tiempo y que involucra procesos de oxidación tanto química como biológica y fenómenos físico- químicos asociados, incluyendo la precipitación y el encapsulamiento.

Generalmente el DAR se caracteriza por:

- ✓ Valores de pH por debajo de 7 hasta 1.5

- ✓ Alcalinidad decreciente y acidez creciente
- ✓ Concentraciones elevadas de sulfato
- ✓ Concentraciones elevadas de metales (disueltos o totales)
- ✓ Concentraciones elevadas de sólidos disueltos totales

2.2.1. ETAPAS DEL DESARROLLO DEL DRENAJE ACIDO DE RELAVE

ETAPA 1: La acidez es generada y rápidamente neutralizada en las etapas iniciales cuando la roca que contiene minerales sulfurados es expuesta al oxígeno y al agua. El drenaje de agua es casi neutro. Mientras se produce la oxidación de los minerales sulfurosos, existe suficiente alcalinidad disponible como para neutralizar la acidez y precipitar el hierro en forma de hidróxido.

ETAPA 2: A medida que continúa la generación de ácido y se agota no se vuelven inaccesibles los minerales carbonatados, el Ph del agua disminuye y el proceso se encamina hacia su segunda etapa. Cuando el pH del microambiente disminuye hasta 4.5, ocurren reacciones de oxidaciones tanto químicas como biológicas

ETAPA 3: A medida que los minerales alcalinos se consumen o recubren, o bien, se produce acidez a mayor velocidad que alcalinidad, el Ph se vuelve ácido. Las reacciones dominantes se transforman de oxidación química a principalmente oxidación biológicamente catalizada. De las reacciones de oxidación sulfurosa, se produce hierro ferroso, que se oxida biológicamente y se convierte en hierro férrico. Este, a su vez, reemplaza el oxígeno como el oxidante principal.

2.3. TRATAMIENTO DE AGUAS DE RELAVE

Los relaves mineros son la principal fuente de contaminación debido a la presencia de metales pesados, que repercuten en el sistema ecológico y en la salud humana; de allí que el objetivo es tratar las aguas de efluentes mineros-metalúrgicos, El análisis cuantitativo indica que algunos metales como Cu, Zn, Fe, Pb, Mn; se encuentran en cantidades perjudiciales para el contacto directo con el medio ambiente por ello el tratamiento de estos metales a partir de la Neutralización, oxidación, coagulación precipitación, es de vital importancia para su tratamiento y estos metales no presenten un riesgo ambiental.

2.4. PROCESO METALURGICO EN PLANTA U.E. TAMBOMAYO

La planta de procesos metalúrgicos de la Unidad Minera Tambomayo presenta un conjunto de procesos físico- químico y operaciones metalúrgicas que lograran la recuperación de un conjunto de metales asociados dentro de una mena de valor económico para su comercialización.

Este conjunto de procesos y operaciones se detallaran a continuación:

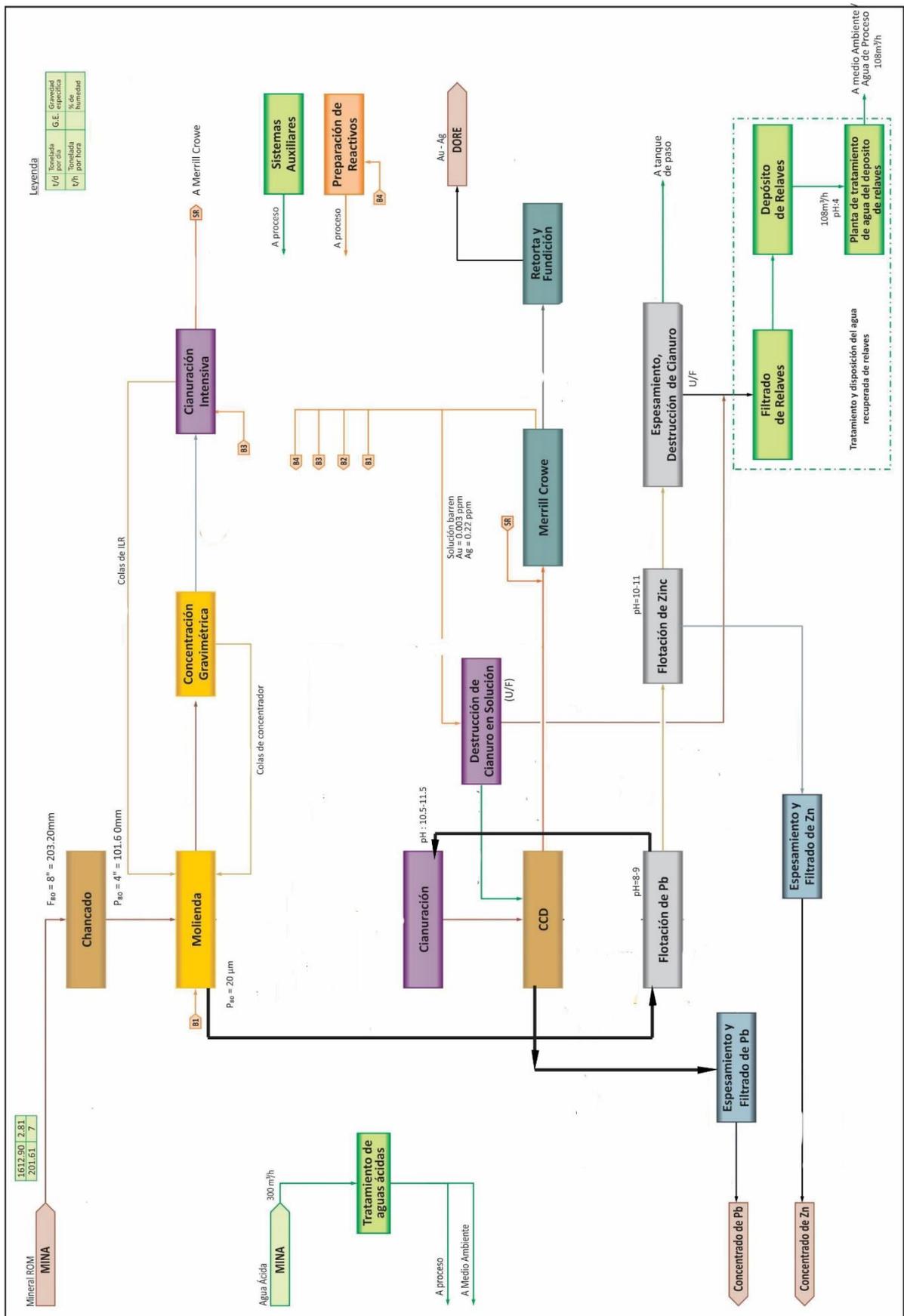


FIGURA N° 2.1: diagrama de cajas de proceso metalúrgico - Fuente: elaboración propia

CHANCADO PRIMARIO.

La planta de chancado opera 12 horas al día, procesando 201.61 t/h. El mineral de mina (ROM) con leyes de cabeza de 262.99g/t de plata, 10,25g/t de oro, 1.80% de plomo, 2.83% de zinc, es descargado en la tolva de gruesos (410-BN-001) a través de volquetes. El mineral es extraído de la tolva de gruesos mediante un apron feeder (410-FE-001), el cual alimenta al grizzly vibratorio (410-GR-001) que clasifica el mineral y genera dos productos; mineral de bajo tamaño o finos que denominaremos undersize (U/S) y mineral de sobre tamaño o gruesos que denominaremos oversize (O/S), el undersize cae por gravedad a la faja N° 1 (410-CB-001) y el oversize alimenta a la chancadora de quijadas (410-CR-001) que descarga por gravedad a la faja transportadora N° 1 (410-CB-001), la cual alimenta a la faja transportadora N° 2 (410-CB-002) que traslada el mineral hacia el stock pile. La función del área de chancado consiste en reducir el tamaño de mineral (ROM) proveniente de la mina de un tamaño de alimentación F80 promedio de 203.20mm (8") hasta un tamaño de producto P80 de 101.60mm (4") y transportarlo hasta el stock pile.

MOLIENDA.

El objetivo del área de molienda es reducir el tamaño del mineral proveniente del área de chancado, se tienen 3 etapas de molienda:

- Molienda Primaria; consta de una clasificación mediante una zaranda vibratoria y una clasificación con ciclones en circuito cerrado directo. El O/S producto de la clasificación en zaranda retorna al molino SAG previo paso por la chancadora de Pebbles y el U/S ingresa a la clasificación en ciclones, donde su U/F es la carga circulante del circuito (500%) y el O/F con un P80 de 210 μ m ingresa a la molienda secundaria.
- Molienda Secundaria consta con una clasificación con ciclones, en circuito cerrado inverso, donde el U/F es enviado al molino VTM-1500, previo paso por un concentrador gravimétrico, cerrando así el circuito secundario con una carga circulante de 250% y el

O/F con un P80 de 40µm ingresa a molienda terciaria. El concentrado gravimétrico alimenta a la cianuración intensiva (IRL).

- Molienda terciaria no está operativa por un tema de costos involucrados en el proceso.

FLOTACIÓN DE PLOMO Y ZINC.

El objetivo del área de flotación es maximizar la recuperación y ley de concentrados de Plomo y Zinc de la pulpa procedente de la etapa de molienda. La pulpa ingresa al circuito de flotación de Plomo con un tonelaje nominal de 85.2t/h y una ley de alimentación de 2.80% de Plomo, 3.83% de Zinc, 58.91g/t de Plata y 2.02g/t de Oro*. En este circuito se produce un concentrado con 52.37% de Plomo, 6.60% de Zinc, 1906.65g/t de Plata y 8.01g/t de Oro*; y un relave con 0.45 % de Plomo, 2.74 % de Zinc, 31.96g/t de Plata y 0.95g/t de Oro*;

Circuito de Flotación de plomo.

El circuito está conformado por 8 celdas outotec tk 1.5 cuya distribución es la siguiente.

Las 2 primeras celdas rougher del circuito se encargan de recuperar la mayor cantidad de plomo, cuyas espumas recuperadas serán consideradas concentrado final enviado directamente hacia el espesador N° 2 del circuito CCD.

Las siguientes 4 celdas se encargan de continuar con la recuperación de Pb 2 de ellas continúan como celdas Rougher y las 2 siguientes se denominan scavenger.

Las últimas 2 celdas de este circuito han sido separadas del circuito haciendo la modificación para la obtención de pirita.

El circuito de limpieza de la flotación de plomo tiene un total de 4 bancos de celdas y está distribuido de la siguiente manera:

Cleaner plomo

- El banco n°1 está compuesto por 4 celdas denominadas celdas cleaner scavenger y recibe las colas del cleaner 1
- El banco N° 2 está compuesto por 4 celdas denominadas celdas cleaner 1 y recepción las colas de las celdas cleaner 2.

- El banco N° 3 está compuesto por 2 celdas y es denominado celdas cleaner 2 y recepción. Las espumas del cleaner 1, las espumas de los 2 rougher y 2 scavenger intermedios así también recepción las colas del cleaner 3.
- El banco N° 4 está compuesto por 2 celdas y se denomina celdas cleaner 3 y Recibe las espumas de las celdas cleaner 2

Las espumas del cleaner scavenger van a las celdas de pirita y eso va espesador de cabeza

Este relave constituye la alimentación al circuito de flotación Zinc. Al circuito de flotación Zinc, ingresa un tonelaje nominal de 65.6t/h, en este circuito se produce un concentrado con 0.49% de Plomo, 54.43% de Zinc, 323.47g/t de Plata y 1.23g/t de Oro*; y un relave con contenidos mínimos de Plomo, Zinc, Plata y Oro, que constituye la alimentación hacia el área de espesamiento de relaves.

Circuito de Flotación de zinc.

Cabeza del circuito de zinc, constituye los relaves de plomo.

Las 2 primeras celdas rougher del circuito se encargan de recuperar la mayor cantidad de Zinc, cuyas espumas recuperadas serán consideradas concentrado final enviado directamente hacia el espesador N° de zinc del circuito para su filtración en forma de concentrado en el área de filtrado de relave

Las siguientes 4 celdas se encargan de continuar con la recuperación de Zn 2 de ellas continúan como celdas Rougher y las 2 siguientes se denominan scavenger.

Las ultimas 2 celdas de este circuito han sido separadas del circuito haciendo la modificación para la obtención de pirita. Sus colas son el relave final.

Cleaner Zinc:

Presentan 2 bancos de celdas pequeñas outotec OK- 2.5

El primer banco contiene 6 celdas y es considerado el circuito cleaner 1 y se encarga de recibir el relave de las celdas columna, las espumas de las celdas cleaner scavenger y las espumas de las 4 celdas de rougher

El segundo banco contiene 4 celdas y es considerado el circuito cleaner scavenger y recibe el relave de las celdas cleaner 1.

También se tiene 2 celdas tipo columna que se encarga de recibir las espumas del circuito cleaner 1. Las espumas de celdas columnas mas las espumas de las celdas primeras es concentrado final

(Cabeza entra con 85 toneladas/hora) densidad promedio a la cabeza 1300 a 1270 (mayor a 1350 y menor a 1200 no flota) Malla 200 (65 a 80%)

CIANURACIÓN.

El objetivo del área de cianuración por agitación es tratar la pulpa proveniente del overflow de molienda en los tanques de agitación con la adición de solución cianurada inyección de aire/oxígeno, previa separación solido-liquido en el espesador de cabeza que contiene pirita, y del underflow del espesador obtener una pulpa lixiviada enriquecida con contenidos de oro y plata en forma de complejos que se envía al circuito de decantación en contra corriente (CCD) y el overflow del espesador es enviado al circuito Merrill Crowe. Se lleva un estricto control del pH que es regulado a un rango de 10.5 a 11.5 al ingreso de los tanques de cianuración mediante la adición de lechada de cal y analizadores de pH en línea. Además de un control de generación de gas cianhídrico (HCN) mediante un analizador en línea

CIRCUITO DE LAVADO EN CONTRA CORREINTE –CCD.

El objetivo de diseño de este circuito, constituido de 04 espesadores distribuidos en serie, consiste en recibir, espesar y circular mediante bombeo la pulpa proveniente de los tanques de cianuración la cual ingresa al primer espesador (CCD3) y recibir el concentrado de plomo en forma de pulpa lixiviada la cual ingresa al primer espesador (CCD2) para remover mediante un proceso de lavado y recuperar todos los valores disueltos. se recupera la solución rica por el overflow del primer espesador que se envía como parte de la alimentación al circuito de Merrill Crowe y la pulpa espesada empobrecida que sale por el underflow del segundo espesador (CCD2) se envía al circuito de espesamiento y filtrado de plomo de plomo.

MERRILL CROWE

El objetivo de este sistema consiste en la recuperación de oro y plata de la solución rica en forma de precipitado que proviene del circuito de lavado en contra corriente y el O/F del espesador de cabeza de cianuración, mediante la adición de polvo de Zinc y nitrato

de Plomo. Antes de llevar a cabo el proceso de precipitación, la solución rica es clarificada en un filtro clarificador para reducir el contenido de sólidos en suspensión y desoxigenada en la torre de aireadora para eliminar el oxígeno disuelto presente en la solución rica y favorecer la precipitación con polvo de zinc. Luego de la formación de precipitado con contenido de oro, plata y otros elementos, la solución es filtrada, producto de esta operación, el precipitado filtrado es enviado a retorta.

AREA 542 LIXIVIACION DE PLOMO Y DESTRUCCION DE CIANURO

El objetivo del área de destrucción de cianuro, es de aportar contenido de cianuro necesario para la lixiviación del concentrado de plomo que proviene del área de flotación de plomo. El flujo a tratar es de 86 m³/h, el cual pasa por tres tanques agitadores dispuestos en cascada para lixiviar el contenido metálico de Oro y Plata con la finalidad de pasar posteriormente al área de lavado contracorriente y ser depositado en el CCD2 donde por decantación la solución rica saldrá por el overflow y pasara al CCD 1 luego pasara al tanque de paso N° 5 y posteriormente al Hopper de donde será enviada la solución hasta el área Merrill Crowe para la precipitación de Oro y Plata mediante la adición de polvo de zinc y posteriormente el concentrado obtenido ser fundido para la obtención de barras dore

La solución barren que sale del proceso Merrill Crowe será finalmente enviada a un clarificador con la finalidad de destruir el cianuro en solución mediante la adición de Peróxido de Hidrogeno y antes de ingresar al clarificador se agrega coagulante y floculante.

ESPESAMIENTO Y FILTRADO DE CONCENTRADOS DE PLOMO Y ZINC.

Los objetivos del área de espesamiento y filtrado del concentrado de Plomo y Zinc son:

- Incrementar el porcentaje de sólidos a un 60%, de los flujos de concentrados enviados desde el área de Flotación de Plomo y Zinc en los espesadores de Plomo y Zinc (560-TH001/002).
- Reducir el porcentaje de humedad hasta un 11.6%, de los flujos de underflow de espesadores en los filtro prensa de concentrado de Plomo y Zinc (560-FL-001/002). La torta cae en una plataforma de almacenamiento de una capacidad de 6,000 toneladas, luego es transportado mediante un cargador frontal hacia la balanza (400-SL-002/003), para su despacho en los camiones.

ESPESAMIENTO DE RELAVES.

El objetivo del presente sistema, consiste en recibir, espesar la pulpa proveniente de las colas o relaves de flotación de zinc, para luego destruir el cianuro remanente presente en la pulpa espesada, con ácido de Caro (Peróxido de hidrógeno y ácido sulfúrico), obteniéndose una pulpa manejable para transportar la pulpa a la etapa de filtrado. El relave ingresa a la etapa de espesamiento con un porcentaje de sólidos promedio de 24.8%, y en la descarga una pulpa espesa con 55% de Sólidos, estos relaves espesados conforman la alimentación hacia el área de filtrado de relaves.

FILTRADO DE RELAVE

El área Filtrado de los relaves está constituido de: Una planta de filtrado de relaves, el cual incorpora un sistema de filtrado con filtros prensa, cuya descarga de sólidos filtrados del relave total es apilada para acarreo por cargadores frontales y transportado por camiones de 40 toneladas de capacidad de carga, para su disposición final en el depósito de relaves filtrados.

La planta de filtrado de relaves se ubica al este del espesador de relaves de la planta de procesos y atiende una producción de relaves con una capacidad de procesamiento de 1500 t/d en la planta concentradora.

TRATAMIENTO DE AGUAS ACIDAS.

El objetivo de la planta de tratamiento de aguas ácidas, es tratar y recuperar agua ácida procedente de mina para ser reutilizada como agua de proceso y además, recircular hacia el tanque de agua tratada de mina o al medio ambiente. El agua ácida procedente de mina, se divide en dos tipos, tipo A y tipo B, en la tabla N° 1.1., se muestra las características de cada tipo de agua ácida y en la tabla N° 1.2 se muestra la composición química de cada tipo de agua.

El tiempo de operación de la planta de acuerdo al criterio de diseño para ambos tipos de agua es de 24 horas por día, 365 días al año. El caudal de agua ácida tipo A y B que llega a la planta de tratamiento es de 83.3 l/s, 300 m³/h, 7200 m³/d. Esta planta está compuesta por varios equipos, entre los que podemos nombrar: zarandas para desechos, tanques de neutralización, clarificador, filtro prensa, un Holding Tank, sistemas de bombas para impulsión de agua y pulpa; además de las plantas de preparación de reactivos (planta de preparación de lechada de cal, planta de preparación de floculante).

2.4.1. FUENTE DE ABASTECIMIENTO Y CONSUMO DE AGUA PARA EL PROCESO METALURGICO.

El proyecto Tambomayo está ubicado políticamente en el anexo de Punachica y Tocallo, distrito de Tapay, provincia de Caylloma, en el departamento de Arequipa. Está localizado a 54 Km al Sur Oeste del distrito de Caylloma y a 100 km al Este de la mina Paula, a una altitud entre los 4700 y 4900msnm. Hidrográficamente, el proyecto se encuentra en la microcuenca Ucriamayo, perteneciente a la sub cuenca del río Molloco, que a su vez tributa al río Colca, este río aguas abajo toma el nombre de Majes y finalmente entrega sus aguas al Océano Pacífico como río Camaná.

El consumo de agua diaria en el proceso metalúrgico y al control de polución de polvos refiere un total de 1575 m³ por día de agua entre agua fresca que ingresa del tanque tk 1 de PTAP cuya capacidad es de 475 m³ y agua recirculada de la planta de tratamiento de aguas industriales PTARI que ingresa al los tanque tk – 10 cuya capacidad es de 475 m³ y un total de 150 m³ de agua procedente de la planta de tratamiento de agua de relave PTARE

2.4.2. DESCRIPCION DEL TIPO DE DEPOSITO DE RELAVES Y FILTRACION DE AGUAS DE RELAVES.

La producción promedio de relave a ser filtrado y depositado es de 1 500 toneladas por día (t/d) proveniente de la descarga del espesador de relaves de la planta de procesos.

Considera las bombas de pulpa (ubicada en el área del espesador de relaves) que alimentan a la planta de filtrado (viene del sistema de destrucción de cianuro y va al distribuidor de relaves), la planta de filtrado (considera los sistemas de lavado de lonas, sistema de compresión de membranas) y el transporte por camiones de los relaves filtrados hacia el depósito de relaves (incluye el sistema de lavado de llantas de camiones) a la salida de la planta de filtrado.

La alimentación a la planta de filtrado de relaves será de una pulpa espesada con un contenido de sólidos de 50% La planta de filtración operará por 22 horas por día los 365 días al año.

CAPITULO III

3. FUNDAMENTOS DE LOS TRATAMIENTOS DE AGUA DE RELAVES

Una planta de tratamiento de agua del depósito de relaves se encargara de diversas operaciones como neutralización, oxidación, reducción, coagulación y floculación con sus equipos respectivos, será la encargada de recuperar el recurso hídrico reduciendo las leyes de metales disueltos que puedan generar un impacto negativo hacia el medio ambiente y cuyo producto es descargado al medio ambiente



IMAGEN N° 3.1: planta de tratamiento de aguas de relave - Fuente: Memoria descriptiva U.M. Tambomayo

3.1. OPERACIONES DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE RELAVE

El presente capítulo describe los procedimientos operativos de la planta de tratamiento de agua del depósito de relaves DRF 1 Y DRF 2, aquí se describe los procedimientos operativos de la planta de tratamiento de agua del depósito de relaves,

La descripción también considera el proceso del tratamiento del agua del depósito de relave (neutralización - oxidación – coagulación – precipitación), el bombeo de agua de las pozas de agua de contacto, poza de clarificación, poza de amortiguamiento. La

descripción también considera dentro proceso los cambios físicos químicos que desarrollan a partir de la adición de reactivos, mediante dosificación de cal, peróxido de hidrógeno, sulfhidrato de sodio, cloruro férrico, floculante y ácido sulfúrico, para el tratamiento de agua.

La planta de tratamiento de agua del depósito de relaves, tendrá la función de recibir las aguas provenientes del depósito de relaves filtrados, precipitar el contenido metálico presente haciendo uso de reactivos como cal, peróxido de hidrógeno, sulfhidrato de sodio, cloruro férrico y floculante; y enviar las aguas pre-tratadas a la poza de clarificación acondicionando el pH en la poza de amortiguamiento para su posterior vertimiento según punto de descarga aprobado por Tambomayo. Así mismo mediante un correcto tratamiento lograremos llegar a los Límites máximos permisibles para la reutilización del recurso hídrico necesario para algunas operaciones dentro de la unidad minera Tambomayo. La planta de tratamiento de agua del depósito de relaves que comprende el proyecto tendrá una capacidad nominal de operación de 100.0 m³/h.

El efluente ácido generado tiene concentraciones de metales que sobrepasan los LMP, estos son: Arsénico, cadmio, cobre, mercurio y plomo. Por tal motivo es necesaria la implementación de un sistema de tratamiento de aguas de relaves para reducir las concentraciones de los metales indicados y cumplir con los estándares ambientales y responsabilidad establecida en la legislación ambiental peruana vigente DS-010-2010-MINAM.

Tabla N° 3.1

Límites Máximos Permisibles MINAM

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LA DESCARGA DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE ACTIVIDADES MINERO METALÚRGICAS LMP s (DS- 010-2010-MINAM)				
ITEM	PARAMETRO	UNIDAD	LÍMITE EN CUALQUIER MOMENTO	LÍMITE PARA EL PROMEDIO
1	pH		6-9	6-9
2	Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50	25
3	Aceites y Grasas	mg/L	20	16
4	Cianuro Total	ppm	1	0.8
5	Arsénico Total	mg/L	0.1	0.08
6	Cadmio Total	mg/L	0.05	0.04
7	Cromo Hexavalente	mg/L	0.1	0.08
8	Cobre Total	mg/L	0.5	0.4
9	Hierro Disuelto	mg/L	2	1.6
10	Plomo Total	mg/L	0.2	0.16
11	Mercurio Total	mg/L	0.002	0.0016
12	Zinc Total	mg/L	1.5	1.2

(FUENTE: DS-010-2010-MINAM)

La planta de tratamiento de agua del depósito de relaves estará conformado por:

- Una poza de agua de contacto 1 y 2
- Cuatro tanques utilizados para la neutralización y precipitación de metales
- Una poza de clarificación
- Una poza de amortiguamiento
- Una poza de lodos
- Sistema de dosificación de cal
- Sistema de dosificación de peróxido de hidrógeno
- Sistema de dosificación de cloruro férrico
- Sistema de dosificación de sulfhidrato de sodio
- Sistema de dosificación de floculante
- Sistema de dosificación de ácido sulfúrico

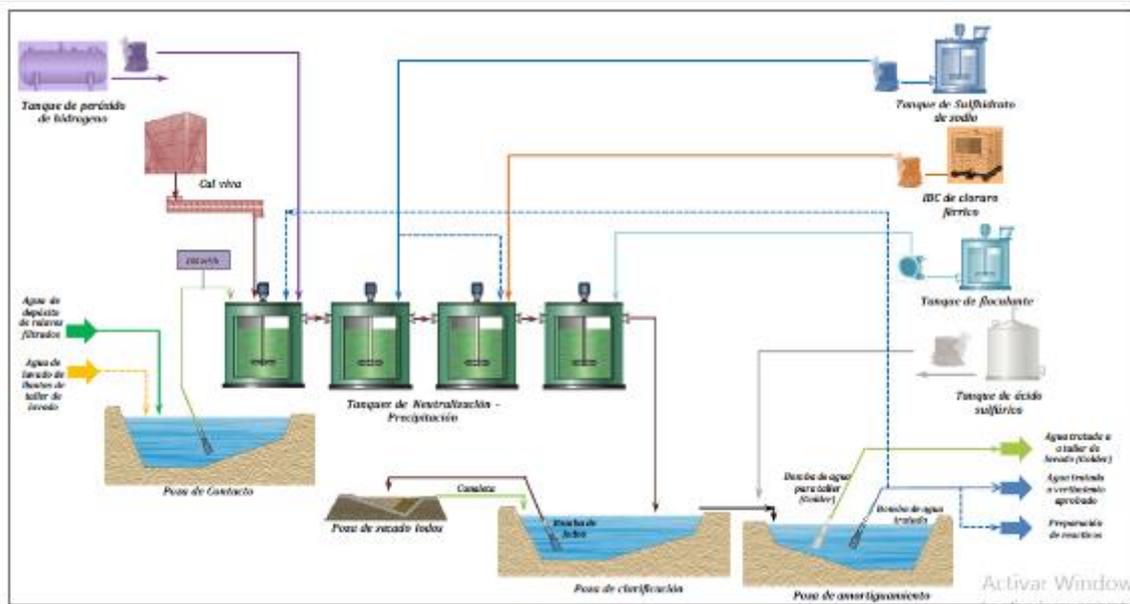


FIGURA N° 3.1: Diagrama de flujo del proceso - Fuente: Memoria descriptiva U.M. Tambomayo

3.1.1. DRENAJE DE AGUAS DE RELAVES HACIA LAS POZAS DE CONTACTO

La planta de tratamiento de agua del depósito de relaves tiene una capacidad de tratamiento de 100m³/h, los efluentes tratados provienen de la colección de aguas pluviales y el agua que se desprende de la humedad contenida en los relaves filtrados que son transportados hacia los depósitos de relaves DRF 1 y DRF 2.

La solución drena por la parte inferior de los depósitos de relave DRF 1 y DRF 2 cuyas filtraciones de aguas se almacenan en las pozas de contacto N°1 y N° 2 respectivamente:

La poza de contacto N° 1 que almacena el agua procedente de las filtraciones del DRF 1 (Deposito de Relaves Filtrados 1) presenta una capacidad de almacenamiento de 11393 m³ y registra un flujo de ingreso entre 5 a 10 m³ /hr durante las estaciones de otoño, invierno, y primavera, incrementándose este flujo en la estación de verano llegando a registrar un flujo de ingreso de 30 m³/hr.

De igual manera la poza de contacto N° 2 cuya capacidad de almacenamiento es de 9242 m³ de solución registra un flujo de 5 a 10 m³/hr de solución procedente del Depósito de Relaves Filtrados N°2.

Posteriormente esta solución almacenada en estas pozas es impulsada a la planta de tratamiento de agua por dos bombas sumergibles 185-PU-001A/001B (01 bomba en operación y 01 bomba en stand by), con caudal operación de (10 a 100.0 m³/h). Las

bombas deberán ser resistentes al fluido a transportar, tanto en materiales internos como en su carcasa exterior.

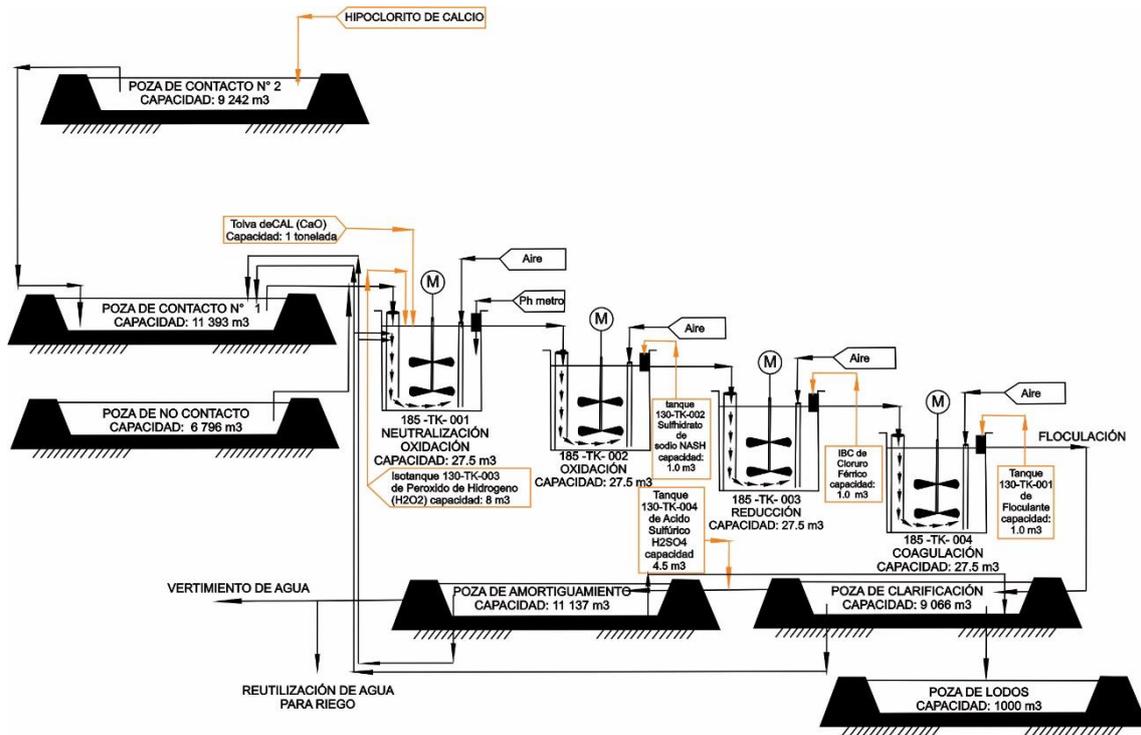


FIGURA N° 3.2: Diagrama de flujo Capacidades - Fuente: Elaboración propia

El primer ingreso se realiza a un tanque de neutralización cuya capacidad es de 67 m³ donde se adiciona peróxido de hidrógeno (H₂O₂) a un flujo de 98 L/hr procedente de un Isotank de 8 m³ de capacidad máxima; de igual manera se adiciona a este tanque de neutralización Oxido de Calcio o Cal Viva (CaO) para aumentar el Ph de ingreso procedente de la poza de contacto 1 cuyo ph es de 6 y elevarlo mediante la adición de Cal hasta un valor de 10.5 a 11.5 con la finalidad de que algunos metales como el Hierro puedan precipitar y se den las condiciones para que otros metales puedan generar una estabilidad química y precipiten con la adición de otros reactivos en etapas posteriores.

Al mismo tiempo ingresara a la etapa de oxidación donde el peróxido de hidrogeno agregado destruirá el cianuro formado en la solución barren que se ha generado en las etapas de lixiviación de los concentrados de plomo y piritita para la recuperación de oro y plata; el cianuro forma diversos complejos con los metales presentes como el Cobre, Plomo, Hierro, Zinc, entre otros, estos complejos se necesitan oxidar para formar hidróxidos y sulfuros que precipitaran en forma de lodos.

Luego para otorgar una mayor estabilidad a los complejos de cianuro oxidados y convertidos en hidróxidos se adicionara Sulfhidrato de sodio con la finalidad de reducir estos metales y formar sulfuros de cobre, fierros estables que precipitaran en la etapa de reducción. En una cuarta etapa se adicionara cloruro férrico como coagulante que generara una estabilidad molecular a los metales precipitados formando coágulos.

Y por último se adicionara floculante que ayudara a incrementar la masa de los coágulos para atraparlo en su cadena de carbón y aumentar la velocidad de precipitación de metales como el Cobre, Fierro, Plomo y zinc. Logrando así una separación de fases solido – liquido en la que el agua recuperada y que cumple con los límites máximos permisibles en las cantidades de metales disueltos y totales será decantada en la parte superior será enviada a una poza de amortiguamiento para su posterior vertimiento.

Caso contrario a los metales precipitados en forma de lodos que serán depositados en la parte inferior de la poza de clarificación serán bombeados y enviados a la poza de lodos cuya capacidad es de 1000 m3.

REACTOR TIPO TANQUE PARA ETAPAS DE NEUTRALIZACION, OXIDACION, REDUCCION, COAGULACION.

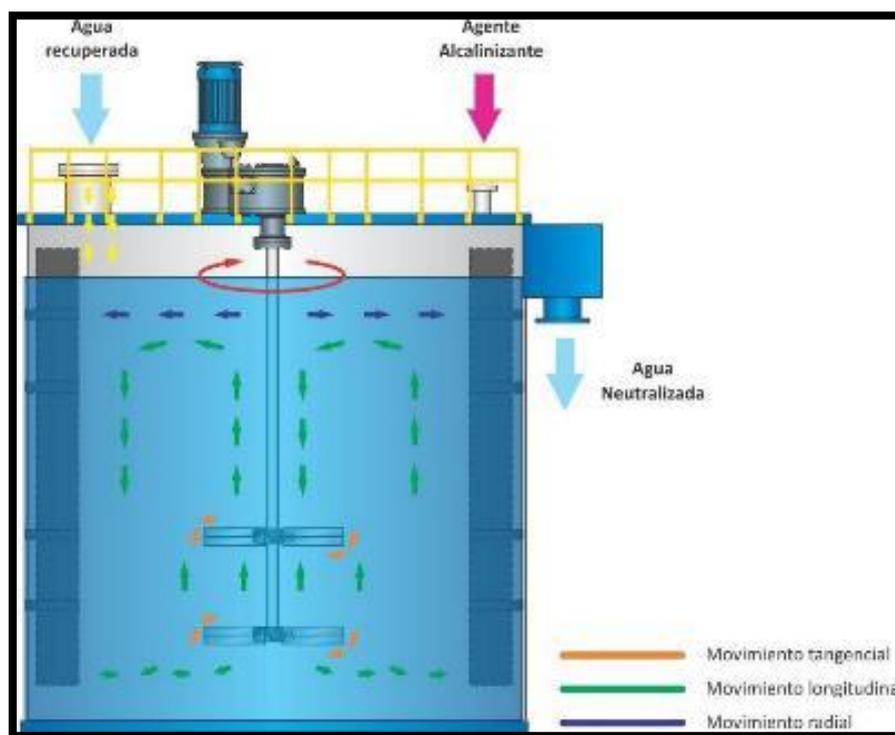


Figura N° 3.3: tanque de tratamiento de aguas - Fuente: Memoria descriptiva U.M. Tambomayo

3.1.2. POZA DE CONTACTO 1

La poza de contacto 1 se encarga de recibir las aguas provenientes del depósito de relaves filtrados 1 (DRF1). El depósito de Relaves Filtrados 1 a través de un sistema de drenaje colecta y dirige las aguas que se generan a través del secado de los relaves que anteriormente fueron filtrados mediante los filtros prensas, el porcentaje de humedad que queda en el remanente de esta operación oscila entre 8 a 14% de humedad, siendo un porcentaje de agua filtrada que da razón de entre 80 a 140 litros de solución por cada tonelada métrica, de ser este el caso esta cantidad de agua filtrada por el sistema de drenaje y será almacenado en esta poza para su almacenamiento y posterior tratamiento.

Para un mejor detalle las características de cada poza se muestran en la siguiente imagen:

TABLA N° 3.2

Cuadro de volúmenes – Poza de Contacto

CUADRO DE VOLUMENES – POZA DE CONTACTO N°1		
CODIGO	ELEV (m)	VOL. (m3)
Nivel –04 (NAMO)	4412.00	11,393 m3
Nivel –03 (NAMO)	4411.00	7,851 m3
Nivel –02 (NAMO)	4410.00	4,775 m3
Nivel –01 (NAMO)	4409.00	2,138 m3

Fuente: Memoria descriptiva U.M. Tambomayo



IMAGEN N° 3.2: Poza de Contacto 1 Fuente: elaboración propia

Podemos observar así mismo la cantidad de agua que se encuentra en cada nivel, que denominamos como NAMO (Nivel de Aguas Máximo Ordinario), la solución almacenada tendrá un sistema de recirculación mediante el uso de una tubería de alivio de 3 pulgadas procedente de la tubería de 8 pulgadas de alimentación de solución bombeada a planta, cuyo flujo es impulsado por la bomba sumergible que se encuentra en la poza de contacto 1.

El tiempo de residencia para la homogenización de solución será de 22 horas en la poza, con lo cual se tendrá la mayor cantidad de solución homogénea para su tratamiento y no varíen los parámetros de operación de la planta PTARE.

El agua almacenada en la poza de colección de agua de contacto será impulsada a la planta de tratamiento de agua por dos bombas sumergibles 185-PU-001A/001B (01 bomba en operación y 01 bomba en stand by), con caudal operación entre (10 a 100.0 m³/h). Las bombas deberán ser resistentes al fluido a transportar, tanto en materiales internos como en su carcasa exterior.

3.1.3. POZA DE CONTACTO 2

La poza de contacto 2 se encarga de recepcionar las aguas provenientes del depósito de relaves filtrados 2 (DRF2). Este depósito a través de un sistema de drenaje colecta las aguas que se generan a través del secado de los relaves que anteriormente fueron filtrados mediante los filtros prensas, el porcentaje de humedad que remanente de esta operación oscila entre 12 a 20% de humedad, siendo un porcentaje de agua filtrada que da razón de entre 120 a 200 litros de solución por cada tonelada métrica, de ser este el caso esta cantidad de agua filtrara por el sistema de drenaje y será almacenado en esta poza para su almacenamiento y posterior tratamiento.

TABLA N° 3.3

Cuadro de volúmenes - Poza de contacto N° 2

CUADRO DE VOLUMENES – POZA DE CONTACTO N° 2		
CODIGO	ELEV (m)	VOL (m ³)
Nivel – 04 (Namo)	4469.00	9,242 m ³
Nivel – 03 (Namo)	4468.00	6,359 m ³
Nivel – 02 (Namo)	4467.00	3,874 m ³
Nivel – 01 (Namo)	4466.00	1,763 m ³

Fuente: Memoria descriptiva U.M. Tambomayo

Donde indica su volumen máximo de almacenamiento: 9242 m³; Podemos observar así mismo la cantidad de agua que se encuentra en cada nivel, que denominamos como NAMO (Nivel de Aguas Máximo Ordinario), la solución almacenada tendrá un sistema de recirculación mediante el uso de una tubería de alivio de 3 pulgadas procedente de la tubería de 8 pulgadas de alimentación de solución bombeada a planta, cuyo flujo es impulsado por la bomba sumergible que se encuentra en la poza de contacto 2.

El tiempo de residencia para la homogenización de solución será de 22 horas en la poza, con lo cual se tendrá la mayor cantidad de solución homogénea para su tratamiento y no varíen los parámetros de operación de la planta PTARE.

3.1.4. POZA DE NO CONTACTO.

La poza de no contacto tiene la función de coleccionar la mayor cantidad de agua de lluvia que se encuentra dentro de los depósitos pluviales, y posteriormente estas aguas serán usadas por el área de medio ambiente para el riego de las zonas de forestación y re arborización.

TABLA N° 3.4

Volúmenes de poza de contacto 2

CUADRO DE VOLUMENES – POZA DE NO CONTACTO		
CODIGO	ELEV. (m)	VOL (m ³)
Nivel – 04 (NAMO)	4412.00	6,796 m ³
Nivel – 03 (NAMO)	4411.00	4,579 m ³
Nivel – 02 (NAMO)	4410.00	2,717 m ³
Nivel – 01 (NAMO)	4409.00	1,185 m ³

Fuente: Memoria descriptiva U.M. Tambomayo



IMAGEN N° 3.3: Poza de No Contacto **Fuente:** elaboración propia

3.1.5. ETAPAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS

En la línea de ingreso del agua de relave al área de neutralización – oxidación – reducción coagulación – Floculación, se instalará un muestreador (185-SA-001) de solución al ingreso de la planta de tratamiento, para realizar el control y monitoreo de la solución. Asimismo se ha contempla la instalación de un flujo metro electromagnético (FE-185003) en la línea de alimentación de agua de relaves al área de neutralización – oxidación – reducción – coagulación – Floculación, en caso de generarse una alarma por flujo bajo FAL-185003, el sistema de control ordenará a las bombas 185-PU-001A/001B a apagarse.

El agua filtrada captada en la poza de colección de aguas de contacto, será enviada a la planta de tratamiento de agua mediante una bomba sumergible (185-PU-001A/001B) al primer tanque del tren de precipitación (185-TK-001@004). Todos los tanques del tren estarán implementados con su respectivo sistema de agitación (185-AG-001@004). Al primer tanque de neutralización y oxidación (185-TK-001) se adicionará peróxido de hidrógeno al 70% de concentración, mediante las bombas dosificadoras 130-PU-003A/003B (una en operación y la otra en stand by), para oxidar los iones presentes en la solución y al mismo tiempo se adicionará Cal viva mediante un tornillo alimentador (130-SF-001) para elevar el pH de la solución a 9.0 y Neutralizar los metales presentes en la solución como hidróxidos, los hidróxidos formados poseerán una mínima solubilidad por lo que precipitarán. Los precipitados formados serán estables a este valor de pH de 9.0. Ver figura N° 04.

En el segundo tanque de oxidación (185-TK-002), se dosificará sulfhidrato de sodio (NaSH) al 10% de concentración a la salida, que se alimentará mediante las bombas dosificadoras 130-PU-002A/002B (una en operación y la otra en stand by) para precipitar el plomo y el mercurio mediante la formación de sus respectivas formas sulfuradas, de esta manera se podrá reducir los niveles de contaminación a valores por debajo de los límites máximos permisibles. Este compuesto no sólo reaccionará con el mercurio y el plomo, sino que también con iones de cobre, hierro, zinc remanentes, para formar sulfuros de los metales insolubles.

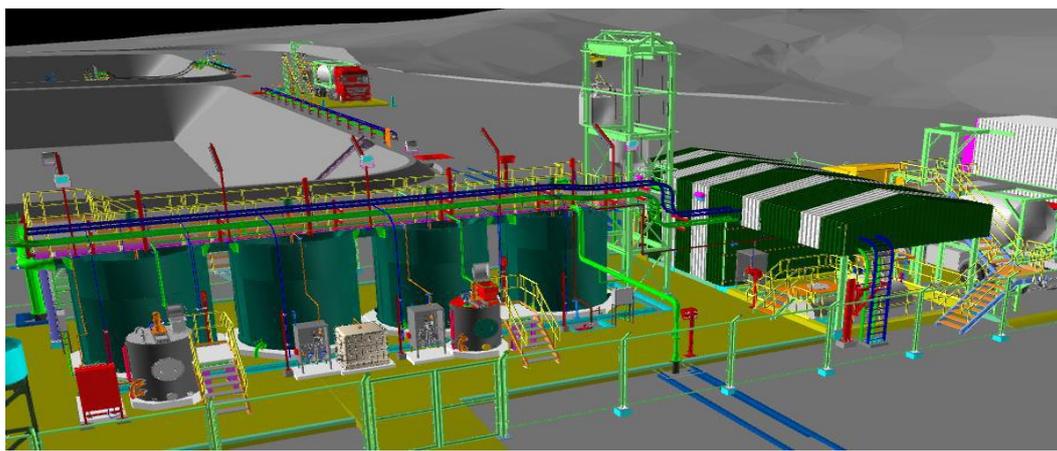


FIGURA N° 3.4: Planta de tratamiento de agua de relave. - Fuente: Memoria descriptiva U.M. Tambomayo

En el tercer tanque (185-TK-003) se añadirá una solución de cloruro férrico a la salida preparada al 40% en peso, el cual se alimentará mediante las bombas dosificadoras 130-PU-004A/004B (una en operación y la otra en stand by). Los compuestos de arsénico presentes precipitarán sobre el hidróxido de hierro formado mediante la disolución del cloruro férrico añadido. El compuesto de arsénico con hidróxido de fierro dará lugar a un precipitado estable y permitirá reducir los valores por debajo de los LMP.

En el último tanque (185-TK-004) se considera la adición de floculante a la salida para ayudar al proceso de sedimentación de los precipitados en la poza de clarificación. La dosificación del floculante al 0.05% se realizará mediante las bombas dosificadoras 130-PU-001A/001B (una en operación y la otra en stand by).

Cada tanque del tren de tratamiento tiene de retención una hora en tiempo.

En la línea de salida del tren de neutralización – oxidación – reducción – coagulación se instalará un muestreador (185-SA-002) con la finalidad de monitorear el performance del proceso mediante los análisis de laboratorio correspondiente.

En el área se cuenta con el sumidero 185-SU-001 con la finalidad de poder captar los derrames que se produzcan en el área, en el sumidero se cuenta con un switch de nivel LSHL-185006 con la finalidad de controlar el encendido y apagado de la bomba sumidero de la planta de tratamiento 185-PU-004.

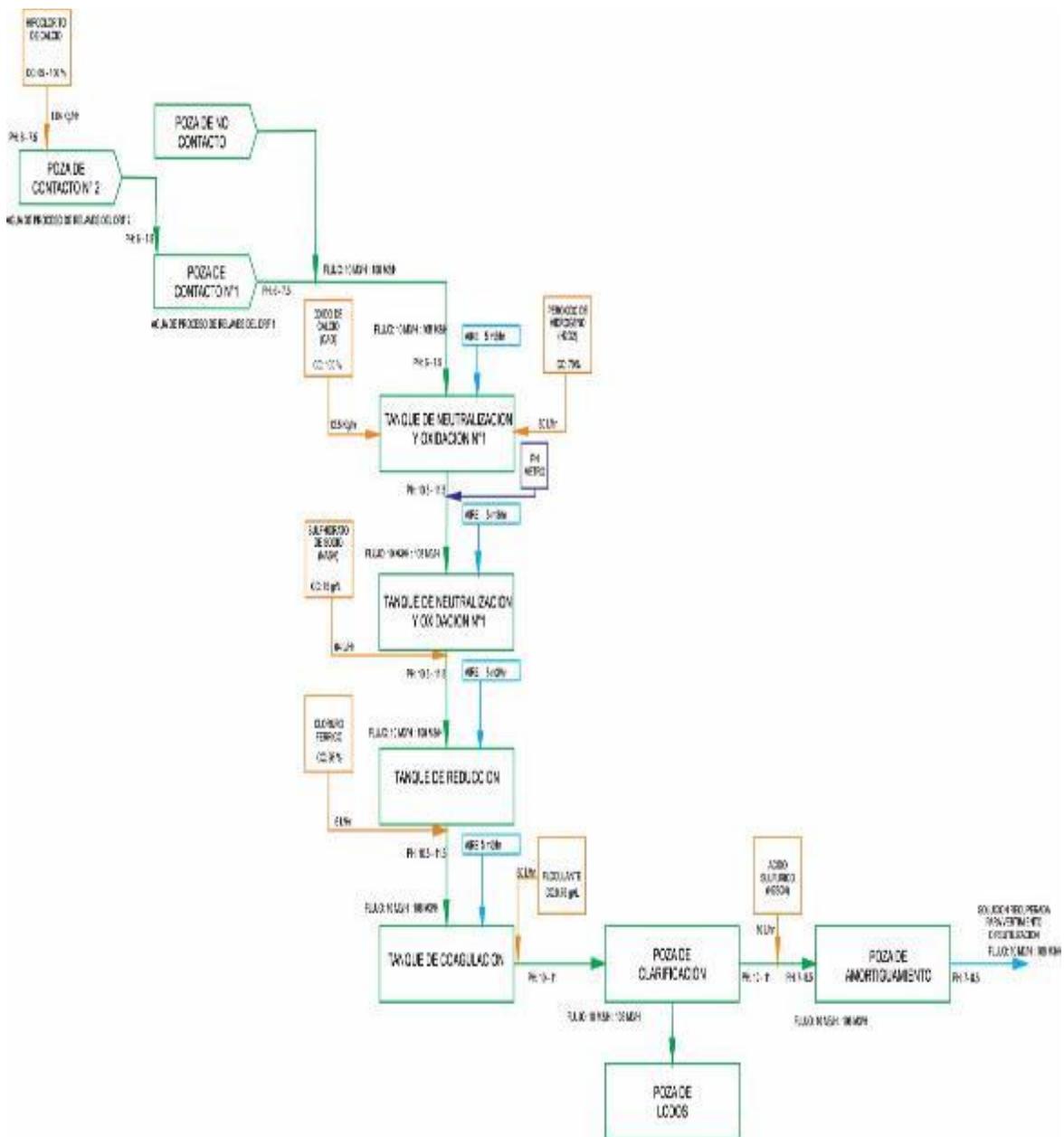


FIGURA N° 3.4: DIAGRAMA DE CAJAS PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS - Fuente: Elaboración propia

NEUTRALIZACION Y PARAMETROS

Los métodos para neutralización de aguas incluyen la homogeneización de efluentes, que consiste en mezclar las aguas recuperadas, algunas de las cuales pueden ser ácidas y otras alcalinas; y métodos de control directo de pH, cal para neutralizar las corrientes ácidas.

La neutralización es un procedimiento de adición de un agente alcalinizante al agua del depósito de relaves, con el propósito de:

- Ajustar el pH del efluente último, antes de su descarga al medio ambiente.
- Ajustar el pH a un rango óptimo para la eficiente actividad biológica.
- Para la precipitación de metales pesados (depende del pH de precipitación de cada metal).
- Para conseguir una buena neutralización es necesario:
 - Mantener el caudal y pH estable en el afluente de la depuradora.
 - Considerar una profundidad óptima del tanque de neutralización.
 - El diseño del tanque de neutralización debe ser de sección circular
 - Calcular el tiempo de retención necesario en los tanques de neutralización.
 - Evaluar entre una mezcla aireada (inyección de aire) o una mezcla mecánica (agitación mecánica).

La neutralización realizada en el tratamiento de aguas de relave en la planta PTARE está condicionada a diversos factores de operación como son los parámetros involucrados y el correcto uso de los equipos. Y a partir de ellos se determina la dosificación de reactivos en las cantidades adecuadas para lograr condiciones de precipitación de los metales que son perjudiciales para el medio ambiente.

En el caso de la planta PTARE identificaremos equipos involucrados en los procesos de neutralización:

Tanque neutralización:

- Material: acero inox.
- Capacidad: 27.5 M3.
- Agitador mecánico: AG-001 de doble hélice tipo aspa.
- Tubería de ingreso de solución: tubería de acero de 6 pulgadas

- Tubería de ingreso de aire: tubería ranurada de acero de 3 pulgadas.

Tolva de almacenamiento de cal.

- Tornillo dosificador de cal.

Isotank de almacenamiento de peróxido de Hidrogeno. (Oxidación)

- Bomba Marlon wattson de alimentación de peróxido de hidrogeno.
- Bomba pro minet Sigma de alimentación de peróxido.
- Tubería de acero inox de 2 pulgadas para alimentación de peróxido de Hidrogeno al tanque 1.

Ph metro digital. - Sistema de control de procesos Scada

REACTIVOS UTILIZADOS.

- Óxido de calcio (CaO): Usado por el bajo costo y su acción reguladora de PH. Al ser un agente alcalinizante
- Peróxido de Hidrogeno: Usado para lograr la destrucción de Cianuro remanente en la solución procedente de los relaves tratados.

El conjunto de los equipos adecuados tanto para el acondicionamiento y la formación de reacciones químicas que permitirán crear las condiciones adecuadas para la separación de los elementos metálicos que se encuentran por encima de los Límites máximos permisibles se denominara reactor.

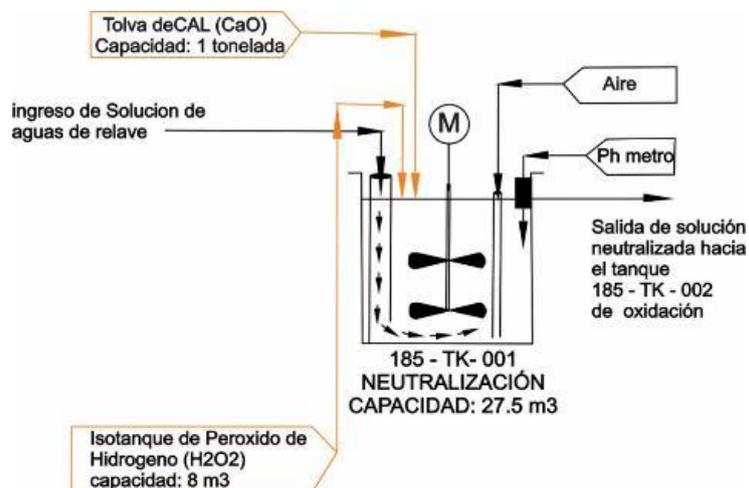


FIGURA N° 3.5: Tanque 185-001 Neutralización - Fuente: Elaboración Propia

En este reactor podremos identificar a partir de los datos obtenidos los cambios físico-químicos que se generan al dosificar cierta cantidad de reactivos para generar un sistema neutro en el que algunos complejos cianurados y otros sulfurados encontraran el equilibrio para su disociación y posterior precipitación.

La adición de un agente alcalinizante como el Óxido de Calcio (CaO) o Cal estabiliza la solución a tratar, logrando mediante la homogenización de la solución un adecuado sistema de precipitación de metales, para ello también debemos conocer los parámetros de tratamiento para llegar al ph indicado entre 10.5 a 11.5 en el cual las soluciones cianuradas podrán ser tratadas.

Dentro de los parámetros de neutralización tenemos:

- Flujo solución de ingreso.
- Ph de solución de ingreso.
- Tiempo de residencia de la solución en el tanque.
- Leyes de metales totales y disueltos en la solución a tratar.
- Leyes de cianuro total en la solución de ingreso.

3.1.5.1. OXIDACION Y PARAMETROS

PRE TRATAMIENTO DE OXIDACION EN LAS POZA DE CONTACTO N° 2

Existen diversas razones por la que es necesario aplicar un tratamiento adicional a las aguas del depósito de relaves, una de las principales es la reutilización del recurso.

Dentro del proceso de tratamiento de aguas de relave se tendrá que adicionar diversos agentes oxidantes que logran la precipitación de metales que presentan una unión molecular con alta estabilidad y otros que tendrán una baja estabilidad, en el tratamiento de aguas que desarrollamos tenemos que tener claro cuáles son estos compuestos moleculares que nos causaran mayor trabajo al momento de desasociar los elementos metálicos que son perjudiciales, por ende realizamos un pre-tratamiento de las soluciones cianuradas que drenan de los depósitos de relaves filtrados, mediante la adición de hipoclorito de calcio.

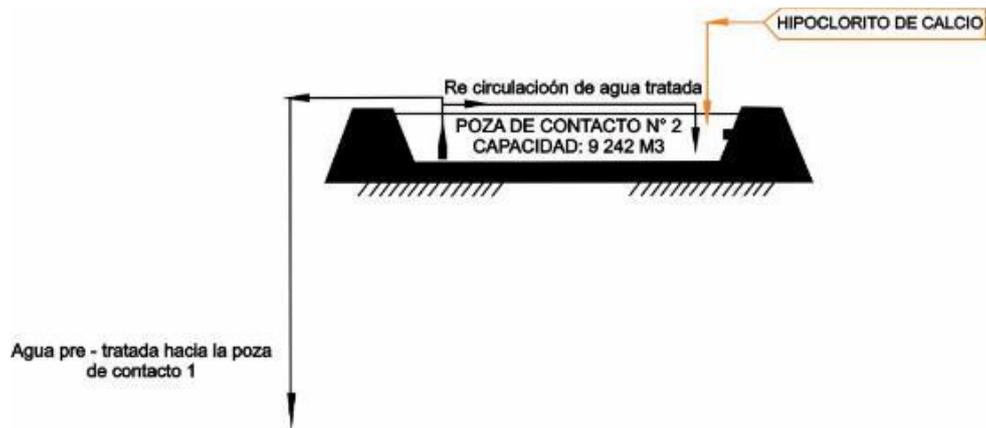
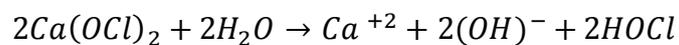
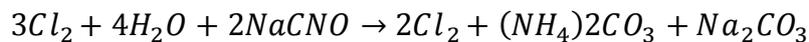


FIGURA N° 3.6: Poza de contacto N° 2 de pre proceso de oxidación - Fuente: Elaboración Propia

La oxidación química de las aguas del depósito de relaves se da por la adición de hipoclorito de calcio granulado HTH, donde el cloro se hidroliza al entrar en contacto con el agua y forma ácido hipocloroso (HOCl) de la siguiente forma:



Los iones metálicos que están presentes en forma reducida se oxidan por el cloro, además de los cianuros aun presentes en las aguas del depósito de relaves, en un medio alcalino se hidrolizan lentamente en presencia de cloro para formar carbonato de amonio y carbonato de sodio.



Para el control de ph se adiciona CaO oxido de calcio logrando obtener un medio alcalino, para la respectiva hidrolizacion lenta, el cual se homogeniza mediante el bombeo de la solucion desde un punto de la poza hacia otro punto de la poza.

Dentro del proceso tenemos también un tratamiento de oxidación en planta mediante la adición de peróxido de Hidrogeno.

Parámetros de Oxidación en Pre tratamiento.

Dentro de los parámetros de neutralización tenemos:

- Flujo solución de ingreso.
- Ph de solución de ingreso.
- Tiempo de residencia de la solución en el tanque.
- Leyes de metales totales y disueltos en la solución a tratar.

- Leyes de cianuro total en la solución de ingreso.

TRATAMIENTO EN PLANTA DE OXIDACIÓN DE METALES TANQUES DE OXIDACION EN PLANTA

La adición de peróxido de hidrogeno utilizado en planta PTARE, para la oxidación de metales y los cianatos formados, iniciara en el tanque de neutralización N° 1 para lograr obtener un mayor tiempo de residencia una mejor formación de hidróxido.

Por lo tanto en el tanque N° 1 se empezara la oxidación de cianuro, formándose cianatos e hidróxidos de los diferentes metales, además en este tanque N° 01 se adiciona el Cal para elevar el pH de 10.5 a 11.5, con los reactivos anteriormente mencionados, para la remoción optima de cianuro y metales pesados, y otros metales como cobre, zinc entre otros.

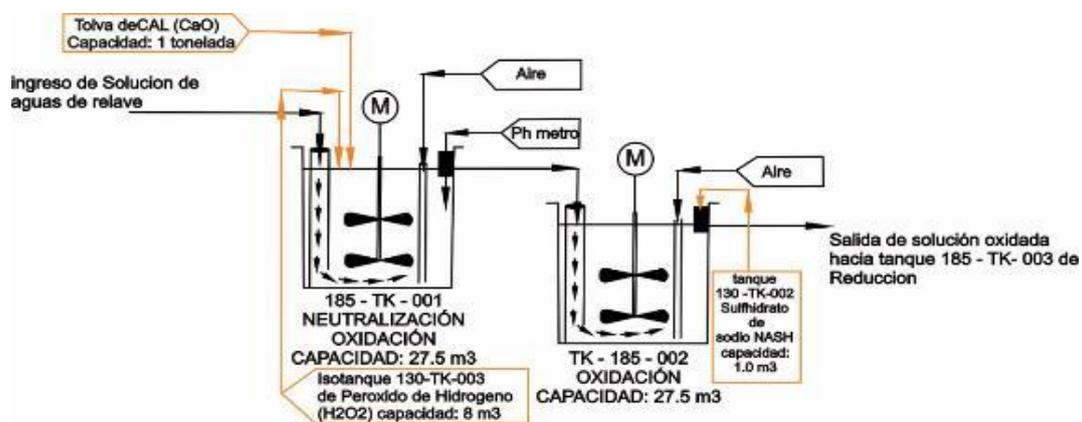


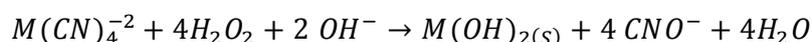
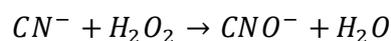
FIGURA N° 3.7: Tanque 185-002 Neutralización – oxidación Tanque 185 – 003 oxidación

- Fuente: Elaboración Propia

QUIMICA DEL PROCESO DE OXIDACION

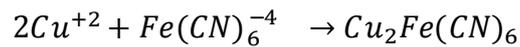
La reacción se lleva a cabo típicamente a partir de un pH de aproximadamente 9.0 a 9.5 para la remoción óptima de cianuro y metales pesados como cobre, níquel, zinc, manganeso, hierro, arsénico, entre otros.

Es así que las reacciones de disociación serían:

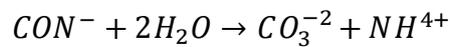


Algunos elementos metálicos en formación como complejos cianurados presentan diferentes dificultades al momento de su separación, por ejemplo los complejos cianurados de hierro son muy estables al poder oxidante del H₂O₂, pero hay una fuerte tendencia de éstos a ser precipitados por un fuerte ion metálico (llámese Cu) manteniendo el rango del pH entre 10.5 y 11.

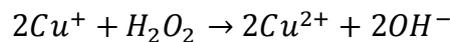
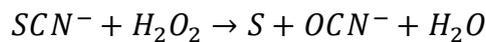
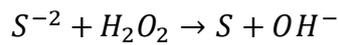
La adición del ion cúprico como catalizador oxidará al ion cianuro libre para producir complejos cianurados de cobre y cianato. El ion cúprico causara también la precipitación del ferricianuro en forma de ferricianuro cúprico.



El cianato formado en la reacción de oxidación, se hidroliza para formar iones amonio y carbonato.



El H₂O₂ es consumido no solamente por cianuro, sino por otras sustancias oxidables que se encuentran en la pulpa, como son el azufre y sus compuestos, el tiocianato, los metales en bajos estados de oxidación, etc.



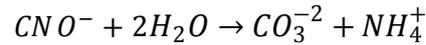
Los metales remanentes en la solución cianurada (antes del tratamiento), a su vez pueden interactuar con el cianuro, causando dificultades en el proceso de degradación con el peróxido tal como sucede con los minerales del tipo sulfurados.

Es así como el peróxido de hidrógeno es consumido no solamente por el cianuro sino por otras sustancias oxidables en la matriz del residuo tales como sulfatos, tiocianatos, iones metálicos en bajos estados de oxidación. En el caso del cobre debemos tener mayor cuidado ya que el consumo de peróxido de hidrogeno estará muy ligado a la presencia de los diversos iones de cobre disuelto en la solución a tratar.

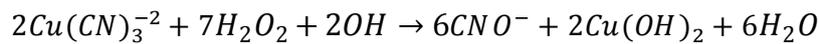
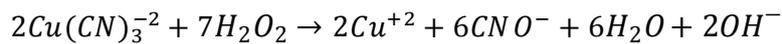
El peróxido de hidrógeno en presencia de cobre oxida al cianuro libre a cianato, la química del proceso se ve en la siguiente reacción:

Catalizador el cobre: $CN^- + H_2O_2 \rightarrow CNO^- + H_2O$ $Ph = 11 - 8.5$

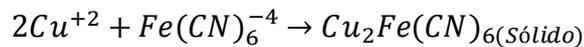
El cianato producido durante el tratamiento se hidroliza lentamente en ion amonio e ión carbonato:



El cianuro combinado con cadmio, cobre, níquel y zinc (cianuro WAD), se oxida también a cianato durante el proceso, los metales que quedan libres durante la oxidación se precipitan como hidróxidos hasta alcanzar una concentración final que está en función del pH del proceso el pH óptimo para la eliminación de metales después de la destrucción del cianuro es 9.0 a 9.5.

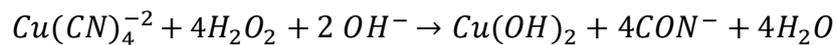


Los complejos de cianuros ferrosos estables no se convierten en cianato por el peróxido de hidrógeno, pero es eliminado de la solución a través de un precipitado como complejo de cobre- hierro insoluble, el pH inferior a 9 es óptimo para la precipitación de cianuro de hierro.



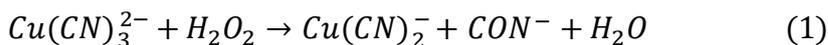
En un exceso de peróxido de hidrógeno en la solución para la oxidación de cianuro se descompondrá para producir oxígeno. $2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$

El tiempo de reacción para llegar a una concentración adecuada varía de entre 20 minutos a 4 horas, dependiendo de la proporción, cobre-cianuro, el nivel de cianuro y la cantidad de peróxido de hidrógeno empleado. La remoción de cobre disuelto se puede dar en diferentes etapas, primero en la oxidación del cianuro wad es desacomplejando el cobre del cianuro débilmente acomplejado y oxidando el cobre a hidróxido de cobre (estado insoluble):

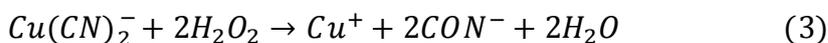


Luego la remosion de los complejos mas estables de cianuros de cobre:

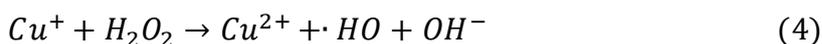
Oxidación de Cianuro



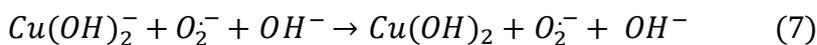
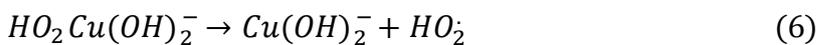
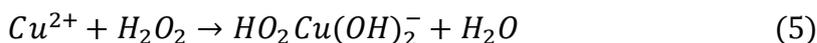
Oxidación de cianuro y liberación de Cu^+



Reacción de Fenton



H_2O_2 Descomposición catalítica.



Esquema 1. Proceso de reacción propuesto de $Cu(CN)_3^{2-}$ con H_2O_2

ESTABILIDAD DE LOS COMPLEJOS CIANURADOS:

La constante de estabilidad esta listada en términos de “Log K”, por ejemplo:

$$K = \frac{[Fe(CN)_6^{4-}]}{[Fe^{2+}].[CN^-]^6}$$

ESPECIAS RELACIONADAS AL CIANURO.

TABLA N° 3.5

Especies relacionadas con el cianuro

Anión Cianuro	CN^-
Acido Cianhídrico	HCN
Complejo Metal- Cianuro	$Metal - CN$
Cianato	CON^-
Tiocianato	SCN^-
TioSulfato	S_2O_3
Catión Amonio	NH_4^+

(FUENTE: (H) huiatt et al 1982) y ((F) Flynn and haslem 1995)

CONSTANTES DE ESTABILIDAD DE ALGUNOS COMPLEJOS DE METAL- CIANURO

TABLA N° 3.6

Complejos Cianurados

Nombre	Formula	Constante de Disociación (Log K)
Ferricyanide	$Fe (CN)_6^{3-}$	52.0
Ferricyanide	$Fe (CN)_6^{4-}$	47.0
Tetracyanomercurate (II)	$Hg (CN)_4^{2-}$	41.4
Tetracyanocuprate (I)	$Cu (CN)_4^{3-}$	27.3
Tetracyanonickelate (II)	$Ni (CN)_4^{2-}$	22.0
Tetracyanoargentate (I)	$Ag (CN)_2^-$	21.0
Tetracyanocadmate (II)	$Cd (CN)_4^{2-}$	16.9
Tetracyanozincate (II)	$Zn (CN)_4^{2-}$	16.9

(FUENTE: caruso 1975)

SOLUBILIDAD DE FERRICIANUROS DE COBRE.

TABLA N° 3.7

Solubilidad de Ferri y Ferro Cianuros de Cobre

NOMBRE	FORMULA	SOLUBILIDAD
Cobre I ferricianuro	$Cu_3Fe (CN)_6$	Insoluble (H)
Cobre II Ferricianuro	$Cu_3[Fe (CN)_6]_2 \cdot 14H_2O$	Insoluble (H)
Cobre II Ferrocianuro	$Cu_2Fe (CN)_6 \cdot H_2O$	Insoluble (H) 5×10^{-7} M(F)

(FUENTE: (H) huiatt et al 1982) y (F) Flynn and haslem 1995)

FRECUENCIA DE ESTIRAMIENTO DE CIANURO DE LOS COMPLEJOS Y PRECIPITADOS DE METAL CIANURO.

TABLA N° 3.8

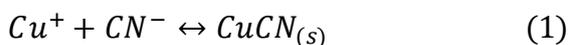
Complejos Formados con Ferrocianuros Parte II

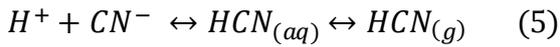
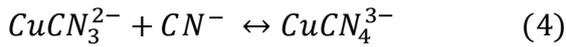
Catión	Metal	Formula/Condiciones	$V_{CN}cm^{-1}$	Referencia / Asignación
Cu^{2+}	$Fe(CN)_6^{4-}$	$Cu_2Fe(CN)_6$	2100	Bertrán, Reguera – Ruíz and Pascual (1990)
Fe^{2+}	$Fe(CN)_6^{4-}$	$Fe_2[Fe(CN)_6]_3$	2085	Bertrán, Reguera – Ruíz and Pascual (1990)
K^+	$Fe(CN)_6^{4-}$	$K_2[Fe(CN)_6]$	2040	Bertrán, Reguera – Ruíz and Pascual (1990)
Cu^{2+}	$Fe(CN)_6^{3-}$	$Cu_3[Fe(CN)_6]_2$	2170	Bertrán, Reguera – Ruíz and Pascual (1990)
Fe^{3+}	$Fe(CN)_6^{3-}$	$Fe_2Fe(CN)_6$	2175	Bertrán, Reguera – Ruíz and Pascual (1990)
K^+	$Fe(CN)_6^{3-}$	$K_2Fe(CN)_6$	2115	Bertrán, Reguera – Ruíz and Pascual (1990)
Cu^{2+}	$Fe(CN)_6^{4-}$	Ph 4	2104	$Cu_2Fe(CN)_6$
Cu^{2+}	$Fe(CN)_6^{4-}$	Ph 4 NH_3	2107	$Cu_2Fe(CN)_6$
Cu^{2+}	$Fe(CN)_6^{3-}$	Ph 4	2102	$Cu_2Fe(CN)_6$
Cu^{2+}	$Fe(CN)_6^{4-}$	Ph 11	2104	$Cu_2Fe(CN)_6$
Cu^{2+}	$Fe(CN)_6^{4-}$	Ph 11 NH_3	2102,2090 ,2047,201 1	$Cu_2Fe(CN)_6, NH_3$ species
Cu^{2+}	$Fe(CN)_6^{3-}$	Ph 11	2096	$Cu_2Fe(CN)_6$
Cu^{2+}	$Fe(CN)_6^{4-}$	Ph 13	2092	$Cu_2Fe(CN)_6$
Cu^{2+}	$Fe(CN)_6^{4-}$	Ph 13 NH_3	2060	$Cu_2Fe(CN)_6, NH_3$ species
Cu^{2+}	$Fe(CN)_6^{3-}$	Ph 13	2105	$Cu_2Fe(CN)_6$
Cu^{2+}	$Fe(CN)_6^{4-}$	$Na_2S_2O_5$	2103,2081 ,2030	$Cu_2Fe(CN)_6, NH_3$ species
Cu^+	$Fe(CN)_6^{4-}$	$Na_2S_2O_5$	2104	$Cu_2Fe(CN)_6$
Cu^{2+}	$Fe(CN)_6^{4-}$	H_2O_2	2101	$Cu_2Fe(CN)_6$
Cu^+	$Fe(CN)_6^{4-}$	H_2O_2	2102	$Cu_2Fe(CN)_6$
Cu^{2+}	$Fe(CN)_6^{3-}$	detox biologica	2092	$Cu_2Fe(CN)_6$

(FUENTE: (H) huiatt et al 1982) y (F) Flynn and haslem 1995)

QUIMICA DE LOS COMPLEJOS DE CIANURADOS DE COBRE:

En un sistema acuoso cianurado, existen varios tipos de cobre y pueden ser explicados con las siguientes reacciones:





En una solución cianurada puede obtenerse cual quiera de las especies cianuradas de cobre, dependerá de las siguientes condiciones Ph y Concentración:

ESPECIES DE COMPLEJOS CIANURADOS DE COBRE A DIFERENTES pHs

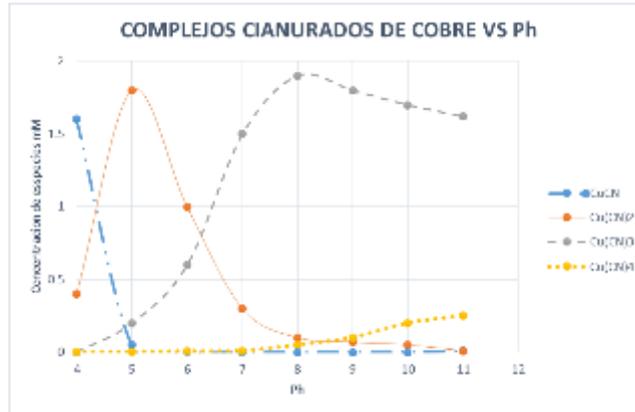


FIGURA N° 3.8: Complejos cianurados de cobre a diferentes Ph **Fuente:** Raymond Desjardins, "Tratamiento del Agua", 1992

ESPECIES DE COMPLEJOS CIANURADOS DE COBRE ADIFERENTES RATIOS CN:Cu

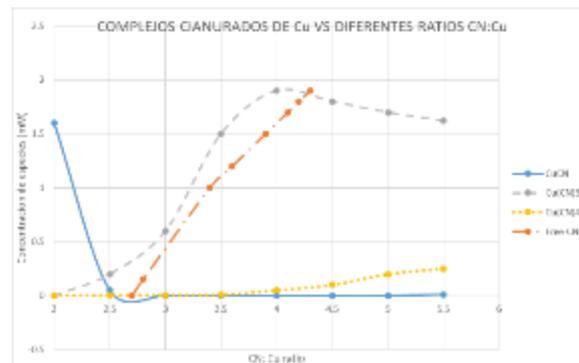


FIGURA N° 3.9: Complejos cianurados de cobre a diferentes Ph **Fuente:** Raymond Desjardins, "Tratamiento del Agua", 1992

3.1.5.2. REDUCCION CON SULFIRATO DE SODIO COMO PARTE DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS.

Si bien es cierto que los metales pesados precipitados después de la etapa de oxidación se encuentran en forma de hidróxidos y en la solución hay todavía presencia de agentes quelantes tales como Cianuro, Amonio, y están en forma de complejos con los metales

pesados, el utilizar el NaSH o carbonatos, son tratamientos efectivos para disminuir la concentración de los metales pesados en la solución tratada.

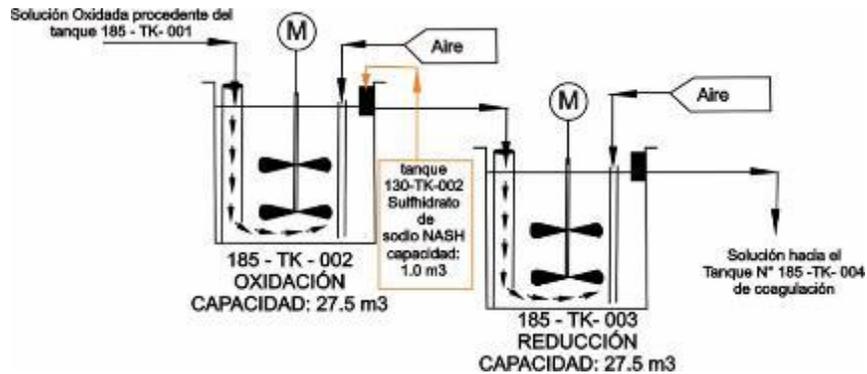


FIGURA N° 3.10: Tanque 185 – TK 002 Oxidación y Tanque 185 – TK 003 Reducción -
Fuente: Elaboración Propia

Los hidróxidos metálicos precipitados en el proceso de Oxidación, no son estables, puesto que tienden a re disolverse a la variación del pH, mientras los sulfuros metálicos formados (utilizando el Nash son más estables a la variación del pH, se mantienen precipitados, en la siguiente tabla se realiza la comparación de la estabilidad de los hidróxidos, carbonatos y sulfuros:

COMPARACION DE PRECIPITACIO – SOLUBILIDAD DEL ION METALICO mg/L

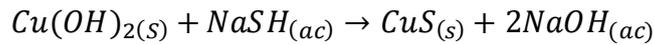
TABLA N° 3.9

Comparación de precipitado - solubilidad del ion metálico mg/L

Metal	Como Hidróxido	Como Carbonato	Como Sulfuro
<i>Cadmio (Cd⁺⁺)</i>	2.3×10^{-5}	1.0×10^{-4}	6.7×10^{-10}
<i>chromo (Cr⁺³)</i>	8.4×10^{-4}	-	<i>No precipita</i>
<i>Cobalto (Co⁺⁺)</i>	0.22	-	1.0×10^{-8}
<i>Cobre (Cu⁺⁺)</i>	2.2×10^{-2}	-	5.8×10^{-18}
<i>Fierro (Fe⁺⁺)</i>	0.89	-	3.4×10^{-5}
<i>Plomo (Pb⁺⁺)</i>	2.1	7.0×10^{-3}	3.8×10^{-9}
<i>Manganese (Mn⁺⁺)</i>	1.2	-	2.1×10^{-3}
<i>Mercurio (Hg⁺⁺)</i>	3.9×10^{-4}	3.9×10^{-2}	9.0×10^{-20}
<i>Niquel (Ni⁺⁺)</i>	6.9×10^{-3}	0.19	6.9×10^{-8}
<i>Plata (Ag⁺)</i>	13.3	0.21	7.4×10^{-12}
<i>Estaño (Sn⁺⁺)</i>	1.1×10^{-4}	-	3.8×10^{-8}
<i>Zinc (Zn⁺⁺)</i>	1.1	7.0×10^{-4}	2.3×10^{-7}

El tratamiento final a bajas concentraciones de cobre disuelto se puede realizar mediante la reacción del cobre disuelto y sulfhidrato de sodio (NaSH) a pH entre 9.5 y 11 en donde se obtiene la menor solubilidad del cobre a este pH; la reacción de ambos químicos

produciría el sulfuro de cobre insoluble para su respectiva precipitación vía coagulación floculación.



Parámetros de Oxidación en Pre tratamiento.

Dentro de los parámetros de Oxidación tenemos:

- Flujo solución de ingreso.
- Ph de solución de ingreso.
- Tiempo de residencia de la solución en el tanque.
- Leyes de metales totales y disueltos en la solución a tratar.
- Leyes de cianuro total en la solución de ingreso.

3.1.5.3. CUAGULACION Y PARAMETROS

Posterior a los procesos de neutralización, oxidación y reducción de los metales disueltos en la solución tratada de las aguas provenientes de los depósitos de relaves se debe considerar que las suspensiones coloidales logradas suelen ser muy estables, en muchas ocasiones debido a interacciones eléctricas entre las partículas. Por lo tanto tienen una velocidad de sedimentación extremadamente lenta, generando inviable un tratamiento mecánico clásico. Una forma de mejorar la eficacia de todos los sistemas de eliminación de materia en suspensión es la adición de ciertos reactivos químicos que, en primer lugar, desestabilicen la suspensión coloidal (coagulación) y a continuación favorezcan la floculación de las mismas para obtener partículas fácilmente sedimentables.

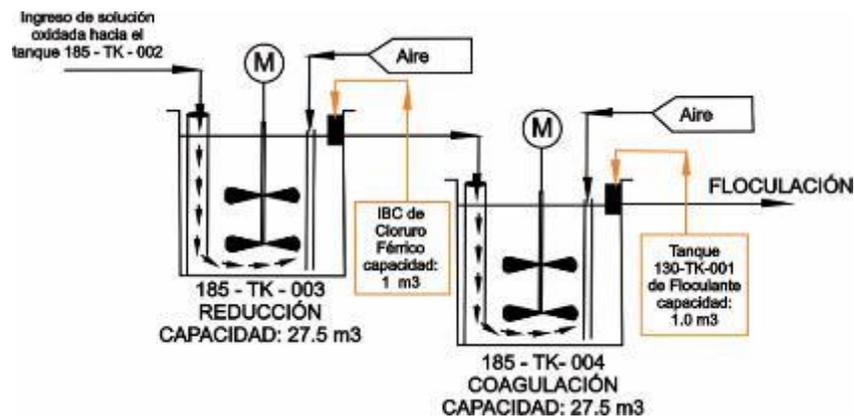


FIGURA N° 3.11: Tanque 185 – TK 003 Reducción y Tanque 185 – TK 004 Coagulación -

Fuente: Memoria descriptiva U.M. Tambomayo

Por lo tanto utilizaremos la coagulación mediante la adición de un reactivo coagulante como el cloruro férrico que lograra la desestabilización química de las partículas, para conseguir que las fuerzas de atracción tipo Van der Waals que existen entre dos partículas predominen sobre las de repulsión electrostática, provocando que las partículas se unan y den lugar a la formación de partículas de mayor tamaño.

Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado.

En la siguiente figura se muestra como las sustancias químicas anulan las cargas eléctricas de la superficie del coloide permitiendo que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos.

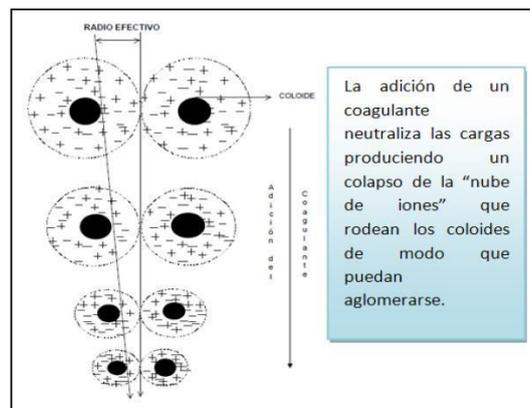


FIGURA N° 3.12: Desestabilización del coloide y compresión De la capa difusa. - Fuente:

Raymond Desjardins, "Tratamiento del Agua", 1992.

CINÉTICA O ETAPAS DE LA COAGULACIÓN

Se identifican las siguientes etapas:

- Hidrólisis de los iones metálicos hasta llegar a especies hidrolíticas.
- Adsorción de las especies hidrolíticas para lograr la desestabilización del coloide.
- Aglomeración de las partículas desestabilizadas mediante las fuerzas de Van der Waals.
- Formación de los flóculos.
- Precipitación del hidróxido metálico.

MECANISMOS

La desestabilización se puede obtener por los varios mecanismos fisicoquímicos de desestabilización coloidal y son los siguientes:

(A) Compresión de la doble capa. Como consecuencia del incremento de la fuerza iónica del medio en el interfaz coloide-líquido

(B) Adsorción y neutralización de cargas. Que están asociadas a la adsorción de iones sobre la superficie de esta. (Anular su potencial Z).

(C) Atrapamiento de partículas en un precipitado.

(D) Adsorción y puente.

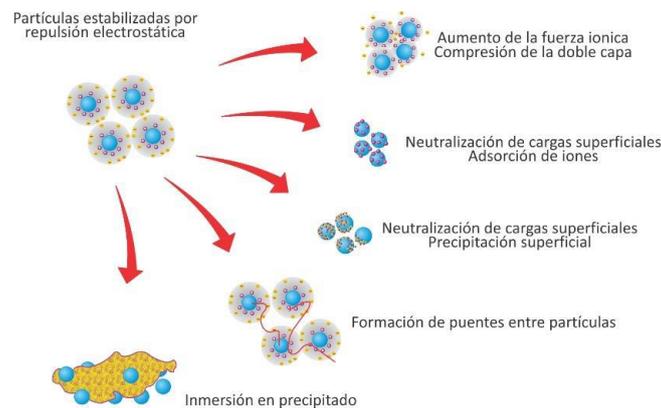


FIGURA N° 3.13: Mecanismo de desestabilización **Fuente:** Raymond Desjardins, "Tratamiento del Agua", 1992

A. COMPRESIÓN DE LA DOBLE CAPA

Cuando se aproximan dos partículas semejantes, sus capas difusas interactúan y generan una fuerza de repulsión, cuyo potencial de repulsión está en función de la distancia que los separa y cae rápidamente con el incremento de iones de carga opuesta al de las partículas, esto se consigue sólo con los iones del coagulante.

Existe por otro lado un potencial de atracción o fuerzas de atracción "Eb", entre las partículas llamadas fuerzas de Van der Waals, que dependen de los átomos que constituyen las partículas y de la densidad de estos últimos.

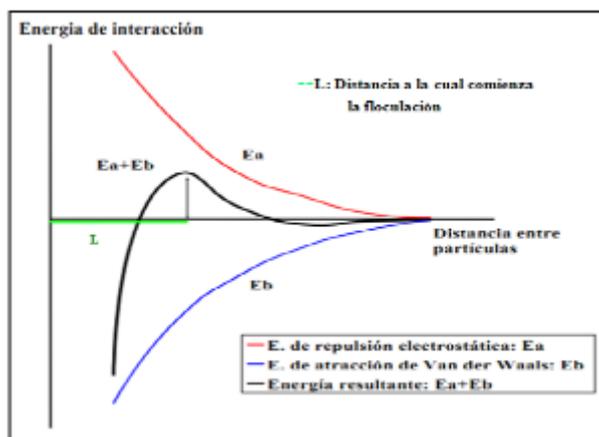


FIGURA N° 3.14: Fuerzas de Atracción y Repulsión - Fuente: Raymond Desjardins, "Tratamiento del Agua", 1992

Si la distancia que separa a las partículas es superior a "L", entonces las partículas, no se atraen. E es la energía que los mantiene separados.

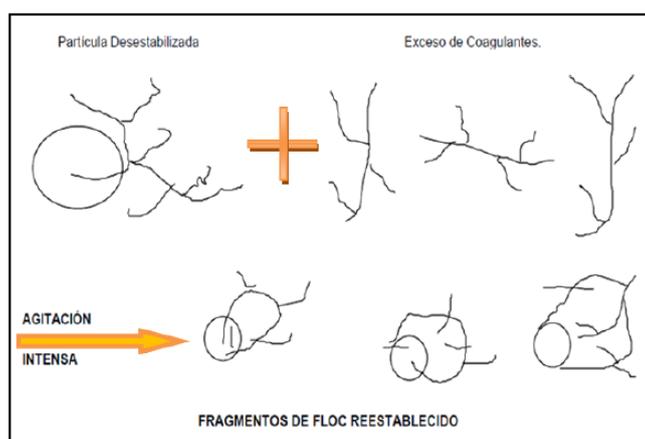


FIGURA N° 3.15: Re estabilización de Partículas - Fuente: Raymond Desjardins, "Tratamiento del Agua", 1992

Las Fuerzas de repulsión, fuerzas de Van der Waals; no son afectados por las características de la solución (Ver figura anterior).

B. ABSORCIÓN Y NEUTRALIZACIÓN DE CARGAS

Las partículas coloidales poseen carga negativa en sus superficies, estas cargas llamadas primarias atraen los iones positivos que se encuentran en solución dentro del agua y forman la primera capa adherida al coloide.

El potencial en la superficie del plano de cizallamiento es el potencial electrocinética Potencial Zeta, este potencial rige el desplazamiento de coloides y su interacción mutua.

Después de la teoría de la doble capa la coagulación es la considerada como la anulación del potencial obtenido por adición de productos de coagulación – floculación, en la que la fuerza natural de mezcla debido al movimiento browniano no es suficiente requiriéndose una energía complementaria necesaria; por ejemplo realizar la agitación mecánica o hidráulica.

Cuando se adiciona un exceso de coagulante al agua a tratar, se produce la reestabilización de la carga de la partícula; esto se puede explicar debido a que el exceso de coagulante son absorbidos en la superficie de la partícula, produciendo una carga invertida a la carga original (Ver Fig. anterior).

C. ATRAPAMIENTO DE PARTÍCULAS DENTRO DE UN PRECIPITADO

Las partículas coloidales desestabilizadas, se pueden atrapar dentro de un floc, cuando se adiciona una cantidad suficiente de coagulantes, habitualmente sales de metales trivalente como el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, o Cloruro Férrico $FeCl_3$, el floc está formado de moléculas de $Al(OH)_3$ ó de $Fe(OH)_3$.

Las partículas coloidales juegan el rol de anillo durante la formación del floc; este fenómeno puede tener una relación inversa entre la turbiedad y la cantidad de coagulante requerida. En otras palabras, una concentración importante de partículas en suspensión puede requerir menor cantidad de coagulante.

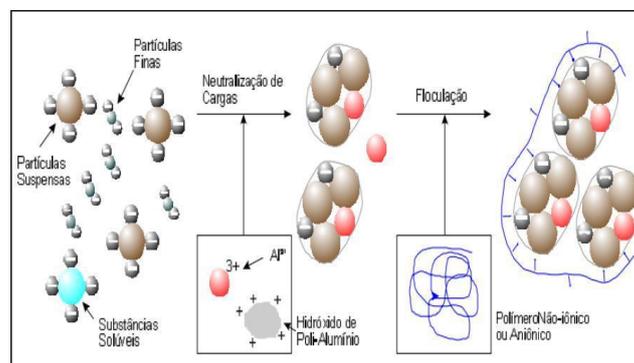


FIGURA N° 3.16: Atrapamiento de las Partículas en un Floc. - **Fuente:** Raymond Desjardins, "Tratamiento del Agua", SNF FLOERGER.

D. ADSORCIÓN Y PUENTE

Este fenómeno es explicado por la "Teoría del Puente". Las moléculas del polímero muy largas contienen grupos químicos que pueden absorber las partículas coloidales.

La molécula de polímero puede así absorber una partícula coloidal en una de sus extremidades, mientras que los otros sitios son libres para absorber otras partículas. Por eso se dice que las moléculas de los polímeros forman el “puente” entre las partículas coloidales. Esto puede tener una re estabilización de la suspensión, por una excesiva carga de polímeros.

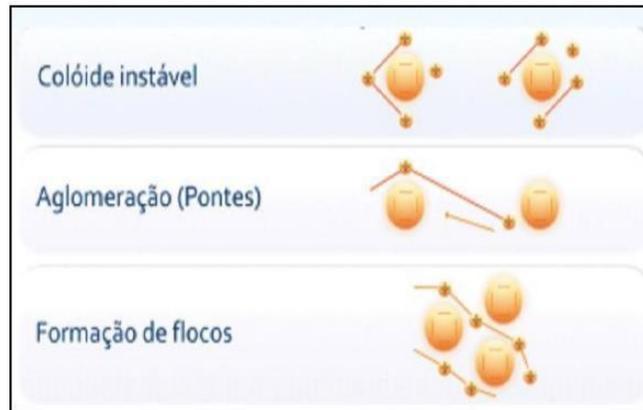


FIGURA N° 3.17: Efecto del Puente de las Partículas en Suspensión - Fuente: Catalogo SkillsQuimica, SNF FLOERGER

TIPOS DE COAGULACIÓN

A. COAGULACIÓN POR ADSORCIÓN

Se presenta cuando el agua tiene una alta concentración de partículas al estado coloidal; cuando el coagulante es adicionado al agua turbia los productos solubles de los coagulantes son adsorbidos por los coloides y forman los flóculos en forma casi instantánea.

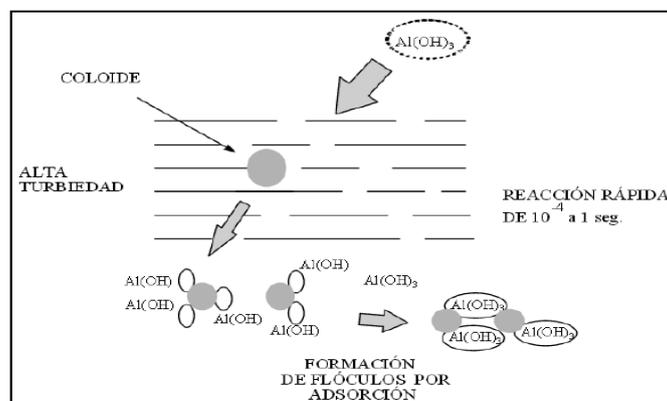


FIGURA N° 3.18: Formación de Flóculos por Adsorción - Fuente: Raymond Desjardins, “Tratamiento del Agua”, 1992

B. COAGULACIÓN POR BARRIDO

Este tipo de coagulación se presenta cuando el agua es clara (baja turbiedad) y la cantidad de partículas coloidales es pequeña; en este caso las partículas son entrampadas al producirse una sobresaturación de precipitado.

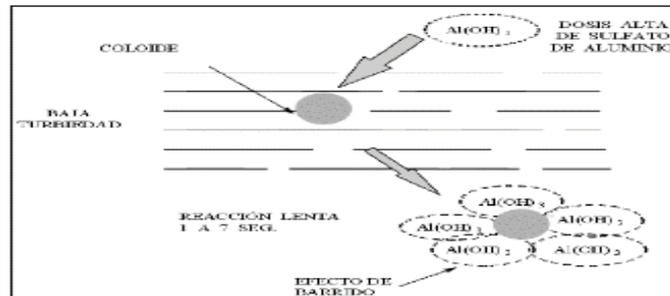


FIGURA N° 3.19: Formación de Flóculos por Barrido - Fuente: Raymond Desjardins, "Tratamiento del Agua", 1992

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COAGULACIÓN

Es necesario tener en cuenta los siguientes factores con la finalidad de optimizar el proceso de coagulación:

- Potencial Hidrogeno (pH).
- Turbiedad (NTU).
- Sales disueltas.
- Temperatura del agua ($^{\circ}C$).
- Tipo de coagulante utilizado.
- Condiciones de Mezcla.
- Sistemas de aplicación de los coagulantes.
- Tipos de mezcla y el color.

La interrelación entre cada uno de ellos permiten predecir cuáles son las cantidades de los coagulantes a adicionar al agua.

A. INFLUENCIA DEL PH

El pH es una medida de la actividad del ion hidrógeno en una solución, es la variable más importante a tener en cuenta al momento de la coagulación, para cada agua existe un rango de pH óptimo para la cual la coagulación tiene lugar rápidamente, ello depende de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua.

El rango de pH, es función del tipo de coagulante a ser utilizado y de la naturaleza del agua a tratar.

B. INFLUENCIA DE LAS SALES DISUELTAS

Las sales contenidas dentro del agua ejercen las influencias siguientes sobre la coagulación y floculación:

- Modificación del rango de pH óptimo.
- Modificación del tiempo requerido para la floculación.
- Modificación de la cantidad de coagulantes requeridos.

C. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA

La variación de un grado centígrado en la temperatura del agua conduce a la formación de corrientes de densidad (variación de la densidad del agua) de diferentes grados que afectan a la energía cinética de las partículas en suspensión, por lo que la coagulación se hace más lenta; temperaturas muy elevadas desfavorecen igualmente a la coagulación.

D. INFLUENCIA DE LA DOSIS DEL COAGULANTE

La cantidad del coagulante a utilizar tiene influencia directa en la eficiencia de la coagulación, así:

- Poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microflóculos es muy escasa, por lo tanto la turbiedad residual es elevada.
- Alta cantidad de coagulante, produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de microflóculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación muy bajas, por lo tanto la turbiedad residual es igualmente elevada.

La selección del coagulante y la cantidad óptima de aplicación, se determina mediante los ensayos de pruebas de jarra. Estos juegan un rol muy importante sobre:

- La buena o mala calidad del agua clarificada.
- El buen o mal funcionamiento de los decantadores.

E. INFLUENCIA DE MEZCLA

El grado de agitación que se da a la masa de agua durante la adición del coagulante, determina si la coagulación es completa; turbulencias desiguales hacen que cierta porción de agua tenga mayor concentración de coagulantes y la otra parte tenga poco o casi nada; la agitación debe ser uniforme e intensa en toda la masa de agua, para asegurar que la mezcla entre el agua y el coagulante haya sido bien hecho y que se haya producido la reacción química de neutralización de cargas correspondiente.

En el transcurso de la coagulación y floculación, se procede a la mezcla de productos químicos en dos etapas. En la primera etapa, la mezcla es enérgica y de corta duración (60 segundos, máximo) llamado mezcla rápida; esta mezcla tiene por objeto dispersar la totalidad del coagulante dentro del volumen del agua a tratar, y en la segunda etapa la mezcla es lenta y tiene por objeto desarrollar los microflóculos. La mezcla rápida se efectúa para la inyección de productos químicos dentro de la zona de fuerte turbulencia, una inadecuada mezcla rápida conlleva a un incremento de productos químicos.

F. INFLUENCIA DE LA TURBIEDAD

La turbiedad es una forma indirecta de medir la concentración de las partículas suspendidas en un líquido; mide el efecto de la dispersión que estas partículas presentan al paso de la luz; y es función del número, tamaño y forma de partículas.

La variación de la concentración de las partículas permite hacer las siguientes predicciones:

- Para cada turbiedad existe una cantidad de coagulante, con el que se obtiene la turbiedad residual más baja, que corresponde a la dosis óptima.
- Cuando la turbiedad aumenta se debe adicionar la cantidad de coagulante no es mucho debido a que la probabilidad de colisión entre las partículas es muy elevada; por lo que la coagulación se realiza con facilidad; por el contrario cuando la turbiedad es baja la coagulación se realiza muy difícilmente, y la cantidad del coagulante es igual o mayor que si la turbiedad fuese alta.
- Cuando la turbiedad es muy alta, conviene realizar un pre-sedimentación natural o forzada, en este caso con el empleo de un polímero aniónico. Es siempre más fácil coagular las aguas de baja turbiedad que aquellas contaminadas por

desagües domésticos industriales, porque requieren mayor cantidad de coagulante que los no contaminados.

REMOCIÓN DE TURBIEDAD:

La aplicación de una dosis creciente del coagulante al agua presenta diferentes zonas de coagulación.

Zona 1.- La dosis de coagulante no es suficiente para desestabilizar las partículas y por lo tanto no se produce coagulación.

Zona 2.- Al incrementar la dosis de coagulantes, se produce una rápida aglutinación de los coloides.

Zona 3.- Si se continúa incrementando la dosis, llega un momento en que no se produce una buena coagulación, ya que los coloides se re-estabilizan.

Zona 4.- Al aumentar aún más la dosis, hasta producir una súper-saturación se produce de nuevo una rápida precipitación de los coagulantes que hace un efecto de barrido, arrastrando en su descenso las partículas que conforman la turbiedad.

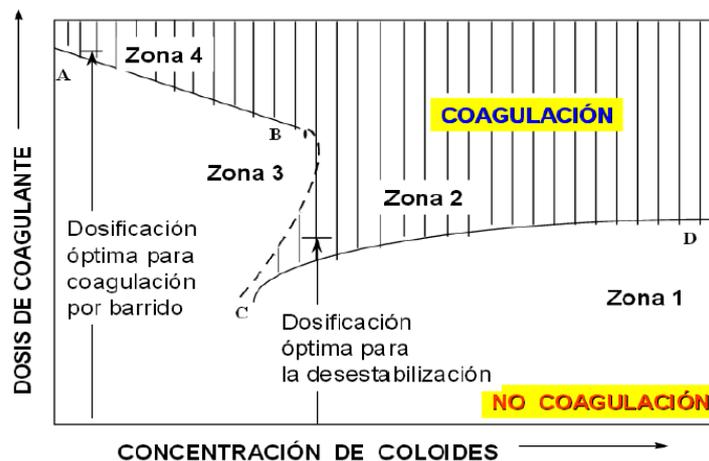


FIGURA N° 3.20: Diagrama de Remoción de Turbiedad - Fuente: Disponible en: <http://www.anig.org.mx/pgta/pdf>

Dentro de los parámetros de Coagulación tenemos:

- Flujo solución de ingreso.
- Ph de solución de ingreso.
- Tiempo de residencia de la solución en el tanque.
- Leyes de metales totales y disueltos en la solución a tratar.

- Leyes de cianuro total en la solución de ingreso.

3.1.5.4. FLOCULACION Y PARAMETROS

Continuando con el proceso de recuperación de aguas iniciaremos la floculación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad

Estos flóculos inicialmente pequeños, crean al juntarse aglomerados mayores que son capaces de sedimentar.

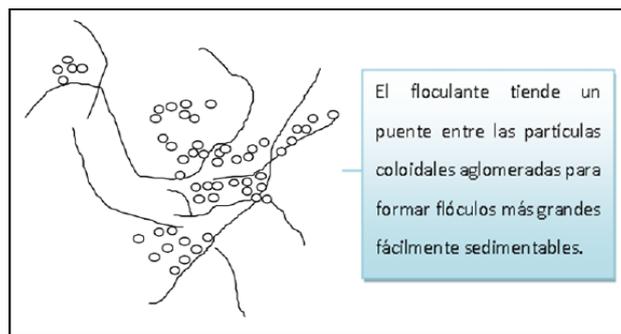


FIGURA N° 3.21: Floculación - Fuente: Raymond Desjardins, "Tratamiento del Agua", 1992

Sucedan que los flóculos formados por la aglomeración de varios coloides no sean lo suficientemente grande como para sedimentar con rapidez deseada, por lo que el empleo de un floculante es necesario para reunir en forma de red, formando puentes de una superficie a otra enlazando las partículas individuales en aglomerados, tal como se está mostrando en la Figura.

La floculación es favorecida por el mezclado lento que permite juntar poco a poco los flóculos; un mezclado demasiado intenso los rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptimos.

La floculación no solo incrementa el tamaño de las partículas del flóculo, sino que también aumenta su peso. La floculación puede ser mejorada por la adición de un reactivo de floculación o ayudante de floculación.

La floculación tiene por objetivo, permitir el contacto entre los flóculos, por lo que la mezcla se hace lenta para crear diferencias de velocidad de la solución en el equipo, evitándose que los flóculos corran el riesgo de romperse.

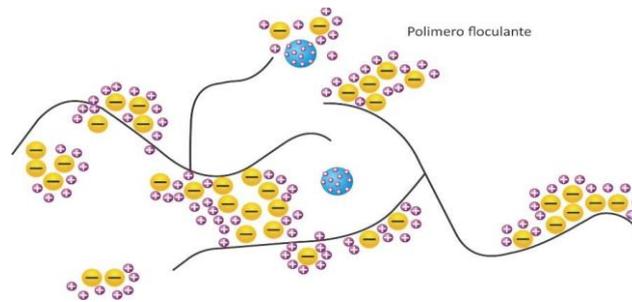


FIGURA N° 3.22: Polímero Floculante

La floculación puede presentarse mediante dos mecanismos, en general todas las partículas se ven afectadas por ambos mecanismos, según sea el tamaño de las partículas desestabilizadas.

Las partículas pequeñas, menores a una micra, están sometidas a floculación pericinetica motivadas por el movimiento Browniano, y las de mayor tamaño están afectadas principalmente por el gradiente de velocidad del líquido, predominando la floculación ortocinética.

MECANISMOS

En tal proceso se pueden distinguir 3 mecanismos:

A. FLOCULACIÓN PERICINÉTICA

Está producido por el movimiento natural de las moléculas del agua y esta inducida por la energía térmica, este movimiento es conocido como el movimiento browniano.

B. FLOCULACIÓN ORTOCINÉTICA

Se basa en las colisiones de las partículas debido al movimiento del agua, el que es inducido por una energía exterior a la masa de agua y que puede ser de origen mecánico o hidráulico.

Después que el agua es coagulada es necesario que se produzca la aglomeración de los microflóculos, para que esto suceda se produce primero la floculación pericinetica luego se produce la floculación ortocinética.

C. SEDIMENTACIÓN DIFERENCIAL

Debida a las partículas grandes, que al precipitarse colisionan con las más pequeñas, que van descendiendo lentamente y las aglomeran.

FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE FLOCULACIÓN

Los parámetros que se caracterizan en la floculación son los siguientes:

- Floculación Orto cinética (se da por el grado de agitación proporcionada: Mecánica o Hidráulica).
- Gradiente de Velocidad (energía necesaria para producir la mezcla).
- Número de colisiones (choque entre micro flóculos).
- Tiempo de retención (tiempo que permanece el agua en la unidad de floculación).
- Densidad y tamaño de floculo.
- Volumen de lodos (los flóculos formados no deben sedimentar en las unidades de floculación).

FLOCULANTES

Los floculantes son polímeros o poli electrolitos con pesos moleculares muy elevados, moléculas orgánicas solubles en agua formadas por bloques denominados monómeros, repetidos en cadenas larga.

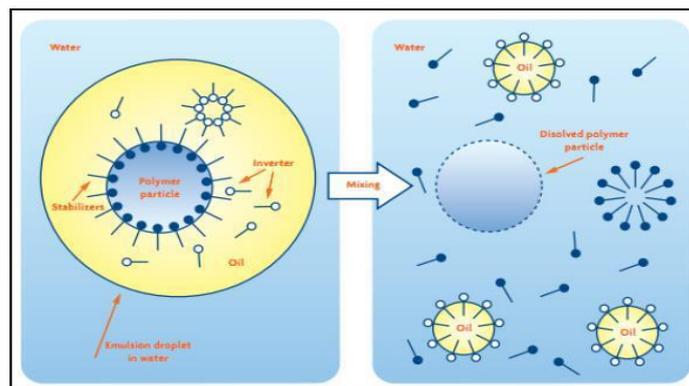


FIGURA N° 3.23: Fase de Inversión - FUENTE: Catalogo SkillsQuimica, SNF FLOERGER

Estos floculantes pueden ser de naturaleza: mineral, orgánico natural y orgánico de síntesis.

FLOCULANTES MINERALES

Se encuentra la sílice activada, que es el primer floculante empleado, que debe ser preparado antes de emplear, su preparación es tan delicada y presenta el riesgo de la gelatinización.

FLOCULANTES ORGÁNICOS NATURALES

Son polímeros naturales extraídos de sustancias animales o vegetales.

FLOCULANTES ORGÁNICOS DE SÍNTESIS

Son los más utilizados y son macromoléculas de una gran cadena, obtenidos por asociación de monómeros sintéticos con masa molecular elevada de 106 a 107 gr./mol, estos se clasifican de acuerdo a la ionicidad de los polímeros:

- Aniónicos (generalmente co-polímeros de la acrilamida y del ácido acrílico).
- Neutros o no iónicos (poliacrilamidas).
- Catiónicos (co-polímero de acrilamidas + un monómero catiónico).

3.1.6. DEPOSITO DE SOLUCION TRATADA EN POZA DE CLARIFICACION

La solución con los sólidos precipitados en suspensión proveniente de los tanques de oxidación – neutralización y precipitación (185-TK-001@004) será enviada a la poza de clarificación (capacidad de 5,000 m³) con la finalidad de separar el agua tratada, mediante la sedimentación, de los sólidos precipitados.

La poza de clarificación tiene por objetivo almacenar la solución tratada del proceso de recuperación de agua y precipitación de metales en tal sentido su principio se desarrolla en la separación de fase sólido líquido, donde el sólido se sedimentara con ayuda del floculante utilizado en la etapa de floculación, y la solución recuperada y clarificada se depositara por encima de los lodos sedimentados

En la poza de clarificación se encontrara una bomba centrífuga sumergible cuyo TAG es (185-PU-003) sobre casing (185-CG-002) para el trasvase de los lodos sedimentados a la poza de lodos con caudal nominal de 30.0 m³/h. El rebose de agua pre-tratada de la poza de clarificación será descargado por gravedad a la poza de amortiguamiento, mediante una canaleta de conexión, las características de esta poza se mostraran en la siguiente imagen.

TABLA N°3.10

Volúmenes de poza de clarificación

CUADRO DE VOLUMENES – POZA DE CLARIFICACIÓN		
CODIGO	ELEV(m)	VOL (m3)
Nivel –06 (Namo)	4414.00	9,066 m3
Nivel –05 (Namo)	4412.64	6,444 m3
Nivel –04 (Namo)	4412.00	5,403 m3
Nivel –03 (Namo)	4411.00	3,923 m3
Nivel –02 (Namo)	4410.00	2,615 m3
Nivel –01 (Namo)	4409.00	1,470 m3

Fuente: Memoria descriptiva U.M. Tambomayo



IMAGEN N° 3.4: Poza de Clarificación vista hacia recepción de solución de planta PTARE



IMAGEN N° 3.5: Poza de Clarificación vista hacia trasvase a poza de amortiguamiento

Podemos observar así mismo la cantidad de agua que se encuentra en cada nivel, que denominamos como NAMO (Nivel de Aguas Máximo Ordinario), la solución almacenada no tendría tiempo de residencia de ser el caso un correcto tratamiento, salvo la necesidad de recircular la solución recuperada hacia la poza de contacto 1 con la finalidad de bajar las leyes iniciales de solución que se tratara en planta, o así mismo se podrá recircular nuevamente a la planta de tratamiento de aguas PTARE.

Cada etapa de recirculación reflejara un gasto positivo o negativo de reactivos, por lo cual es necesario el correcto tratamiento o pretratamiento de las aguas filtradas de los depósitos de relaves.

POZAS DE LODOS

Los lodos sedimentados serán acumulados en la poza de clarificación durante la época de lluvias la cual posee una duración de aproximadamente tres meses. Cuando la época de estiaje empiece, los lodos serán trasvasados haciendo uso de la bomba (185-PU-003) hacia una poza de secado de lodos con dos compartimientos con una capacidad operativa alrededor de 500 m³ cada compartimiento.

Una vez en la poza de lodos se generará la sedimentación de estos conforme el paso del tiempo quedando dos fases correspondientes al líquido sobrenadante y al sólido sedimentado. Luego de la sedimentación y por medio de una compuerta que comunica la poza de lodos con la poza de clarificación, se decantará el agua sobrenadante a la poza de clarificación. Los lodos restantes se dejarán en la poza de lodos hasta lograr su secado por evaporación hasta llegar a un porcentaje de sólidos en los que puedan ser retirados con un cargador frontal hacia su disposición final.

3.1.7. DEPÓSITO EN LA POZA DE AMORTIGUAMIENTO

La poza de amortiguamiento tiene por objetivo almacenar la solución tratada y procede de la poza de clarificación cuyas aguas están cumpliendo todos los Límites Máximos Permisibles para su rehusó en los procesos industriales o posibles vertimientos a la naturaleza de ser necesario, El agua tratada y acondicionada a pH 6.0 – 8.0 será bombeada hacia el punto de vertimiento autorizado mediante las bombas sumergibles

185-PU-002A/002B (Una en operación y la otra en stand by), con un caudal de operación de 27.8 l/s (100.0 m³/h).

En caso la solución tenga un pH mayor a 9.0, el controlador AIC-185011 ordenará al variador de las bombas dosificadoras de ácido sulfúrico 130-PU-005A/005B (una en operación y otra en stand by) aumentar su caudal de dosificación, caso contrario si el pH está por debajo de 7.0, ordenará al variador a disminuir su caudal. Para un mejor homogenización de la solución tratada con la dosificación de ácido sulfúrico se tendrá una recirculación en la poza de amortiguamiento el cual deberá ser manejado manualmente.

En la misma línea de descarga se cuenta con un muestreador 185-SA-003 con la finalidad de analizar la calidad del agua a verter, en caso que el agua tratada no cumpla con los LMP se cuenta con una derivación al primer tanque de precipitación (185-TK-001) para su re-tratamiento. Tras la necesidad de recircular la solución recuperada hacia la poza de contacto 1 con la finalidad de bajar las leyes iniciales de solución que se tratara en planta, o así mismo se podrá recircular nuevamente a la planta de tratamiento de aguas PTARE.

Cada etapa de recirculación reflejara un gasto positivo o negativo de reactivos, por lo cual es necesario el correcto tratamiento o pretratamiento de las aguas filtradas de los depósitos de relaves.

Adicionalmente, se cuenta con líneas auxiliares para la derivación del agua tratada y su distribución en la zona de preparación de floculante y sulfhidrato de sodio.

La solución almacenada no tendría tiempo de residencia de realizarse un correcto tratamiento de aguas.

Las características de esta poza son las siguientes:

TABLA N° 3.11

Volúmenes de Poza de Amortiguamiento

CUADRO DE VOLUMENES – POZA DE AMORTIGUAMIENTO		
CODIGO	ELEV (m)	VOL. (m3)
Nivel –06 (Namo)	4469.00	11,137 m3
Nivel –05 (Namo)	4468.00	7,873 m3
Nivel –04 (Namo)	4469.00	4,988 m3
Nivel –03 (Namo)	4468.00	3,311 m3
Nivel –02 (Namo)	4467.00	1,807 m3
Nivel –01 (Namo)	4466.00	468 m3

Fuente: Memoria descriptiva U.M. Tambomayo



IMAGEN N° 3.6: Poza de Amortiguamiento (balsa de bombeo de solución recuperada hacia vertimiento y riego) Fuente: Elaboración Propia

3.1.8. REGULACION DE PH FINALIZADO EL TRATAMIENTO

Posteriormente el potencial de hidrógenos permitirá que al sedimentar estas partículas el floculante pueda mantenerlas sedimentadas en la poza de clarificación y esta solución recuperada no presente cantidad de impurezas o metales suficientes para exceder los Límites Máximos Permisibles.

La solución recuperada en la poza de clarificación se tendría que trasvasar hacia la poza de amortiguamiento, pero debería cumplir con el potencial de hidrogeno necesario para que no pueda afectar el medio ambiente y los ecosistemas que se encuentran omnipresentes, para lo cual tiene que reducirse de un potencial de hidrógenos de 10.5

hasta 7.5 o 8.5 potencial de hidrogeno adecuado para no afectar el medio ambiente. Por lo tanto se regulara el potencial de hidrogeno presente en la solución de la poza de amortiguamiento con la adición de Ácido Sulfúrico a través de una tubería de conexión de HDPE de 14" para la poza de clarificación con la poza de amortiguamiento y su acondicionamiento a partir de su homogenización mediante la recirculación de la solución a través de una tubería de alivio de 3 pulgadas procedente de la tubería de vertimiento de 10 pulgadas.

El tiempo de residencia para el acondicionamiento será de 4 horas aproximadamente, con lo cual se cumplirá con los estándares y normas solicitadas por los organismos reguladores del medio ambiente.

CAPITULO IV

4. ANALISIS EXPERIMENTAL Y RESULTADOS

En el presente capítulo describiremos las metodologías de experimentación que se aplicaron para la evaluación del tratamiento de aguas de relaves.

En la planta de tratamiento de agua de relaves (PTARE) de la Unidad Minera Tambomayo, existen diversas oportunidades de mejora en lo que refiere a la calidad del agua tratada, con la finalidad de cumplir el DS-010-2010-MINAM y los ECA-DS-015-2015- MINAM.

Con motivo de lo anterior se procedió a evaluar el tratamiento de aguas de relaves mediante diversas pruebas a nivel de planta.

La planta de tratamiento de aguas de relave (PTARE) que actualmente trata un flujo de 20m³/Hr tiene la necesidad de cumplir metas y objetivos de trabajo en función a los resultados obtenidos en el último mes, para lo cual se pruebas a partir del análisis y proyecciones ideales de trabajo que se realizaron con apoyo del laboratorio metalúrgico y químico de la Unidad Operativa Tambomayo,

Para ello se operó la planta PTARE, a diferentes flujos (50, 70 y 100 m³/h) y concentraciones de Ciano complejos de cobre y hierro en la solución cianurada (contenido metálico problema), con la finalidad de determinar la capacidad máxima de tratamiento a diferentes concentraciones de metales disueltos y totales en la solución. Este tratamiento se desarrolló en Las etapas de neutralización, oxidación, reducción, coagulación y floculación de la planta de tratamiento de aguas de relave.

También se describe todos los recursos que se necesitan para la experimentación como materiales de vidrio, elementos de laboratorios en general; adicionalmente se describe que reactivos se usan para el tratamiento de aguas de relaves.

MATERIALES Y EQUIPOS

REACTIVOS QUÍMICOS

- Peróxido de Hidrogeno al 70%
- Oxido de Calcio
- Sulfhidrato de Sodio al 10%
- Coagulante Cloruro Férrico
- Floculante AR 2414 0.1 %

EQUIPOS Y MATERIALES:

- Flujo metro
- PH metro.
- Tanques de agitación de 27.5 m³
- Bombas peristálticas
- Bomba centrifuga.
- Balanza Analítica.
- Sensores de niveles.
- Tornillo dosificador de cal
- Agitadores mecánicos.
- Sistema SCADA de control de procesos

MATERIAL

- Probeta de litro (1000 ml).
- Baldes (20 L).
- Papel filtro (2 micras). Mangueras flexibles.
- Frascos de toma de muestra rotulados.
- Jarra de 750 ml.

Todos los datos tomados en la planta PTARE involucran la evaluación del proceso realizado para el tratamiento de agua; proceso iniciado con el bombeo de solución desde la poza de contacto 1 mediante 2 bombas sumergibles 185-PU-001A/001B (01 bomba en operación y 01 bomba en stand by), ubicadas dentro de la solución de la poza y por la cual se envía un flujo de entre 10 a 100 m³/hora hacia los tanques de tratamiento en

los cuales la solución tiene un tiempo de residencia variable dependiente del flujo de ingreso, Asimismo se tiene la instalación de un flujómetro electromagnético (FE-185003) en la línea de alimentación de agua de relaves al área de planta para un mejor control.

Registrando los siguientes datos:

Tabla N° 4.1

Cálculo de volumen efectivo de tanques

CALCULO DE VOLUMEN EFECTIVO DE CADA TANQUE 185 – TK – 01 , 02,03,04		
Magnitud métrica	Dato	Unidad de medida
D	3.35	m
H	3.12	m
V	27.5	m3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°4.2

Volúmenes efectivos de tanques de tratamiento de aguas de relave

VOLUMENES DE LOS TANQUES			
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	VOLUMEN (m3)
1	Tanque 185 – TK – 001 de Neutralización – Oxidación	1	27.5
2	Tanque 185 – TK – 002 de Oxidación	1	27.5
3	Tanque 185 – TK – 003 de Reducción	1	27.5
4	Tanque 185 – TK – 004 de Coagulación	1	27.5

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 4.3

Capacidad de almacenamiento máximo de pozas de PTARE

VOLUMENES MAXIMOS DE POZAS DE MANEJO DE AGUAS		
ITEM	DESCRIPCION	CAPACIDAD MAXIMA (m3)
1	POZA DE CONTACTO 1	11392.72
2	POZA DE CONTACTO 2	9242.01
3	POZA DE NO CONTACTO	6796.48
4	POZA DE CLARIFICACION	6443.57
5	POZA DE AMORTIGUAMIENTO	6026.13

Fuente: Elaboración Propia

Durante el manipuleo de productos químicos o reactivos, el operador debe observar todas las precauciones normales y de vestir ropa apropiada y equipo adecuado. En todo caso, los guantes, protectores de cara y ojos son indispensables. Cuando se trate de reactivos en polvo y escamosos, máscaras contra polvo deben ser usados

Productos químicos o reactivos que se usan en la planta son los que se mencionan a continuación:

Tabla N° 4.4

Reactivos Químicos utilizados para el tratamiento de agua en PTARE

Reactivo	Formula
Hipoclorito de Calcio	Ca(Cl)2
Peróxido de Hidrogeno	H2O2
Cal viva	CaO
Sulfhidrato de sodio	NaSH
Cloruro Férrico	FeCl3
Floculante AR-2414	
Ácido Sulfúrico	H2SO4

Fuente: Elaboración Propia

DOSIFICACION DE RACTIVOS OXIDO DE CALCIO EN LA ETAPA DE NEUTRALIZACION.

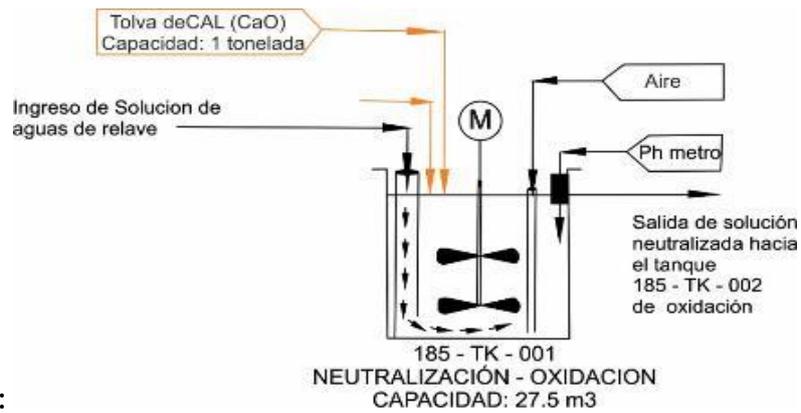


FIGURA N° 4.1: Etapa de neutralización con oxido de calcio - - Fuente: Elaboración Propia

Para la dosificación de CaO se dispondrá de 1 proyección con la cantidad de reactivos y el tiempo de residencia que presentara el flujo de solución a tratar en el reactor donde se dosifica este reactivo.

OXIDO DE CALCIO CaO Y TIEMPO DE RESIDENCIA EN LAS PRUEBAS A EJECUTAR:

Tabla N° 4.5

Neutralización – Oxido de Calcio

ETAPA DE NEUTRALIZACION - REACTIVOS		
Cantidad de Oxido de Calcio (CaO) en almacenamiento de tolva:	1000	Kg
Dosificación de Oxido de calcio (CaO):	20	kg/h
Consumo de Oxido de calcio (CaO) en un día:	480	kg /dia
Días de Duración del Oxido de Calcio (CaO) en almacenamiento:	2.08	Días
Horas de Duración del Oxido de Calcio (CaO) en almacenamiento:	49.9	Horas

Fuente: Elaboración Propia

$$concentracion \rightarrow \frac{gramos}{litro} = \frac{masa\ del\ soluto}{volumen\ de\ disolucion}$$

Tabla N° 4.6

Registro de consumo de Oxido de Calcio

CONSUMO DE REACTIVO CaO /m3 DE SOLUCION TRATADA			
PRUEBA	FLUJO DE TRATAMIENTO		FLUJO DE CaO DOSIFICADO POR gr/L
	Cantidad (m3/h)	Cantidad (L/h)	
FLUJO ACTUAL	20	20000	1.00
PRUEBA 1	50	50000	0.40
PRUEBA 2	70	70000	0.29
PRUEBA 3	100	100000	0.20

Fuente: Elaboración Propia

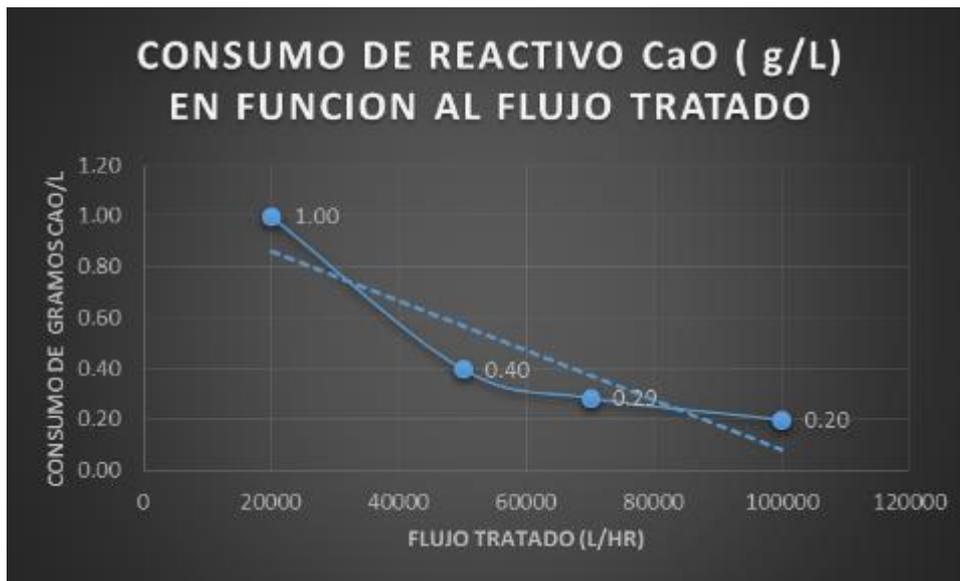


GRAFICO N° 4.1: Consumo de CaO (g/L) vs Flujo de tratamiento - - Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 4.7

Tiempo de residencia en el tanque de neutralización en función al flujo tratado

TIEMPO DE RESIDENCIA EN EL TANQUE DE NEUTRALIZACIONN 185 - TK -001				
PRUEBAS	FLUJO DE TRATAMIENTO		Tiempo en Horas (Hr)	Tiempo en minutos (min)
	Cantidad (m3/h)	Cantidad (L/h)		
FLUJO ACTUAL	20	20000	1.38	82.50
PRUEBA 1	50	50000	0.55	33.00
PRUEBA 2	70	70000	0.39	23.57
PRUEBA 3	100	100000	0.28	16.50

Fuente: Elaboración Propia

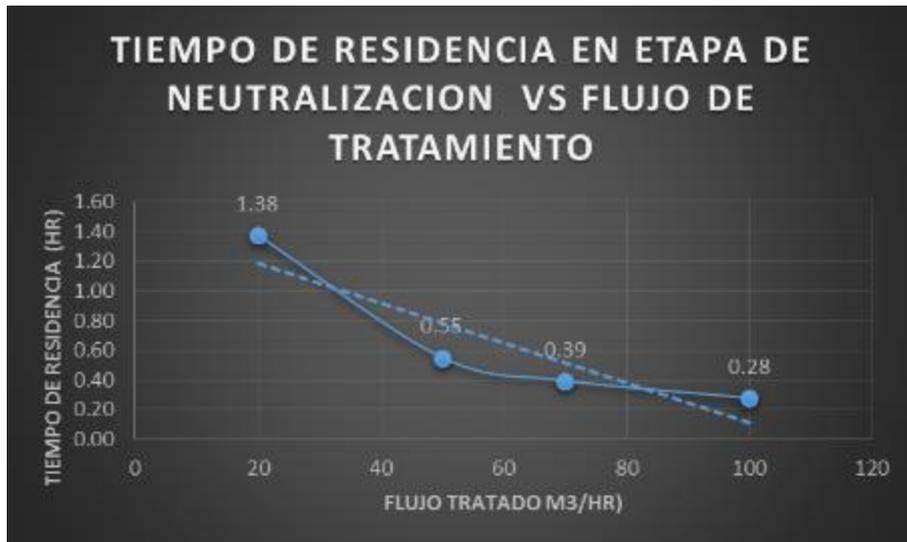


GRAFICO N° 4.2: Tiempo de residencia en etapa de neutralización vs flujo de tratamiento - Fuente: Elaboración Propia

DOSIFICACION DE RACTIVO PEROXIDO DE HIDROGENO EN LA ETAPA DE OXIDACION

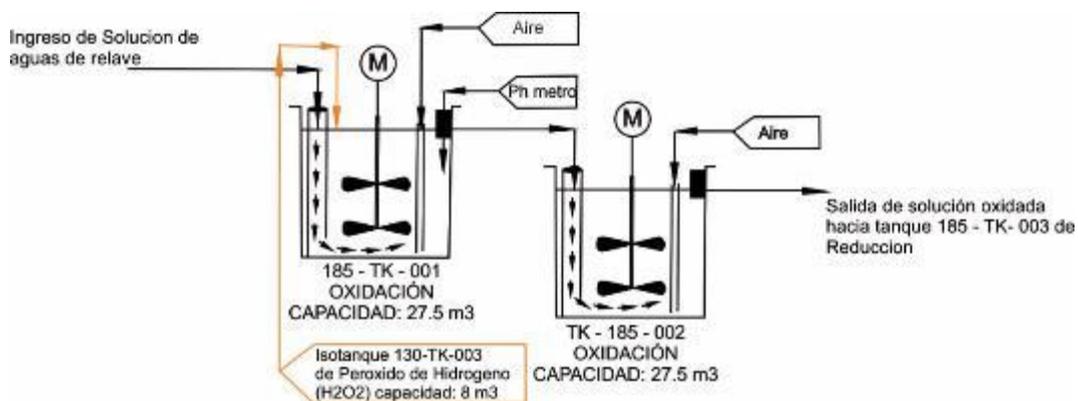


FIGURA N° 4.2: Etapa de oxidación con Oxido de Calcio - Fuente: Elaboración Propia

Para la dosificación de H₂O₂ se dispondrá de 1 proyección con la cantidad de reactivo y el tiempo de residencia que presentara el flujo de solución a tratar en el reactor donde se dosifica este reactivo.

PEROXIDO DE HIDROGENO (H2O2) Y TIEMPO DE RESIDENCIA EN LAS PRUEBAS A EJECUTAR:

Tabla N° 4.8

Oxidación – Peróxido de Hidrogeno

ETAPA DE OXIDACION - REACTIVOS		
Cantidad de Peróxido de Hidrogeno (H2O2) en almacenamiento ISOTANQUE KILOGRAMOS	8000.00	Kg
Cantidad de Peróxido de Hidrogeno (H2O2) en almacenamiento ISOTANQUE LITROS	6201.55	L
Dosificación de Peróxido de Hidrogeno (H2O2):	86.00	L/h
Consumo de Peróxido de Hidrogeno (H2O2) en un día:	2064.00	L/día
Días de Duración del Peróxido de Hidrogeno (H2O2) en almacenamiento:	3.88	Días
Horas de Duración del Peróxido de Hidrogeno (H2O2) en almacenamiento:	93.02	Horas

Fuente: Elaboración Propia

$$concentracion \rightarrow \% Volumen = \frac{Volumen\ soluto}{Volumen\ de\ disolucion} \times 100$$

Tabla N° 4.9

Registro de consumo de Peróxido de Hidrogeno en función al flujo tratado

CONSUMO DE REACTIVO H2O2 (L)/(L) DE SOLUCION TRATADA			
PRUEBAS	FLUJO DE TRATAMIENTO		FLUJO DE H2O2 DOSIFICADO POR % V
	Cantidad (m3/h)	Cantidad (L/h)	
FLUJO ACTUAL	20	20000	0.42816
PRUEBA 2	50	50000	0.17170
PRUEBA 3	70	70000	0.12271
PRUEBA 4	100	100000	0.08593

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°4.10

Tiempo de residencia en el tanque de oxidación N° 1 en función al flujo tratado.

TIEMPO DE RESIDENCIA EN EL TANQUE DE OXIDACION 185 - TK -001				
PRUEBAS	FLUJO DE TRATAMIENTO		Tiempo en Horas (h)	Tiempo en minutos (min)
	Cantidad (m3/h)	Cantidad (L/h)		
FLUJO ACTUAL	20	20000	1.38	82.50
PRUEBA 1	50	50000	0.55	33.00
PRUEBA 2	70	70000	0.39	23.57
PRUEBA 3	100	100000	0.28	16.50

Fuente: Elaboración Propia



GRAFICO N° 4.3: Consumo de H2O2 (%V) vs Flujo de tratamiento (L) - Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°4.11

Tiempo de residencia en el tanque de oxidación N° 2 en función al flujo tratado.

TIEMPO DE RESIDENCIA EN EL TANQUE DE OXIDACION 185 - TK -002				
PRUEBAS	FLUJO DE TRATAMIENTO		Tiempo en Horas (h)	Tiempo en minutos (min)
	Cantidad (m3/h)	Cantidad (L/h)		
FLUJO ACTUAL	20	20000	1.38	82.50
PRUEBA 1	50	50000	0.55	33.00
PRUEBA 2	70	70000	0.39	23.57
PRUEBA 3	100	100000	0.28	16.50

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°4.12

Tiempo de residencia en el tanque de Oxidación en función al flujo tratado

TRATAMIENTO	FLUJO (m3/h)	Volumen de Tanque de oxidación	Tiempo de residencia (h) Tanque 1	Tiempo de residencia (h) Tanque 2	Tiempo de Residencia Total (h)	Tiempo de Residencia Total (min)
FLUJO ACTUAL	20	27.5	1.38	1.38	2.75	165.00
PRUEBA 1	50	27.5	0.55	0.55	1.10	66.00
PRUEBA 2	70	27.5	0.39	0.39	0.79	47.14
PRUEBA 3	100	27.5	0.28	0.28	0.55	33.00

- Fuente: Elaboración Propia

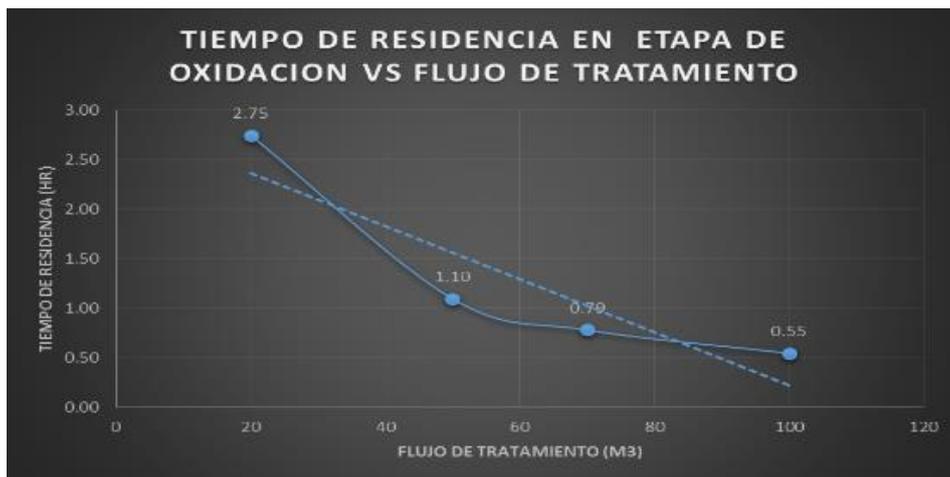


GRAFICO N° 4.4: Tiempo de residencia en etapa de Oxidación vs flujo de tratamiento -

Fuente: Elaboración Propia

DOSIFICACION DE RACTIVO SULFHIDRATO DE SODIO (NASH) EN LA ETAPA DE REDUCCION

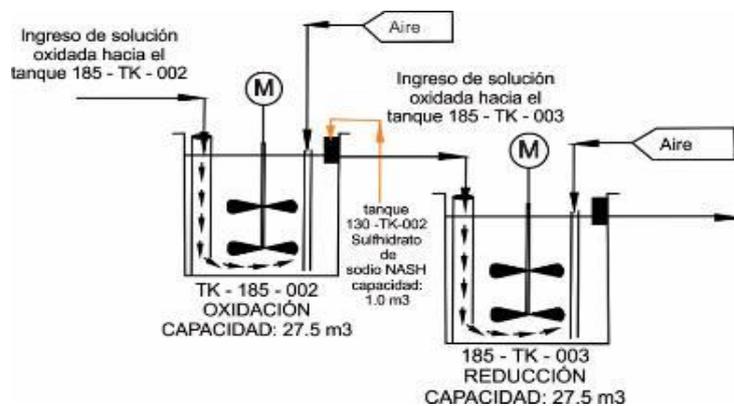


FIGURA N° 4.3: Etapa de reducción con NASH - Fuente: Elaboración Propia

Para la dosificación de NASH se dispondrá de 1 proyección con la cantidad de reactivo y el tiempo de residencia que presentara el flujo de solución a tratar en el reactor donde se dosifica este reactivo.

PEROXIDO DE SULFHIDRATO DE SODIO (NASH) Y TIEMPO DE RESIDENCIA EN LAS PRUEBAS A EJECUTAR:

$$concentracion \rightarrow \frac{gramos}{litro} = \frac{masa\ del\ soluto}{volumen\ de\ disolucion}$$

$$concentracion \rightarrow \% Masa = \frac{masa\ del\ soluto}{masa\ de\ la\ disolucion}$$

$$masa\ de\ la\ disolucion = masa\ del\ soluto + masa\ del\ disolvente$$

Tabla N° 4.13

Reducción – Sulfhidrato de Sodio NASH

ETAPA DE REDUCCION - REACTIVOS		
Cantidad de Sulfhidrato de Sodio (NASH) en Kg a preparar	100.00	Kg
Cantidad de agua para preparación de (NASH)	900.00	L
Concentración de solución de sulfhidrato de sodio	10.00	%
Cantidad Total de solución de NASH al 10%	1000.00	L
Dosificación de Sulfhidrato de sodio (NASH):	62.00	L/hr
Consumo de Sulfhidrato de Sodio (NASH) en un día:	1488.00	L/día
Días de Duración del Sulfhidrato de sodio (NASH) en almacenamiento:	0.07	Días
Horas de Duración del Sulfhidrato de sodio (NASH) en almacenamiento:	1.61	Horas

Fuente: Elaboración Propia

$$concentracion \rightarrow \% Volumen = \frac{Volumen\ soluto}{Volumen\ de\ disolucion} \times 100$$

Tabla N° 4.14

Registro de consumo de Sulfhidrato de Sodio NASH en función al flujo

CONSUMO DE REACTIVO NASH (L)/(L) DE SOLUCION TRATADA			
PRUEBAS	FLUJO DE TRATAMIENTO		FLUJO DE NASH DOSIFICADO POR % V
	Cantidad (m3/h)	Cantidad (L/h)	
FLUJO ACTUAL	20	20000	0.30904
PRUEBA 2	50	50000	0.12385
PRUEBA 3	70	70000	0.08849
PRUEBA 4	100	100000	0.06196

Fuente: Elaboración Propia



GRAFICO N° 4.5: Consumo de NASH (%V) vs Flujo de tratamiento (L) - Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 4.15

Tiempo de residencia en el tanque de reducción N° 3 en función al flujo tratado

TIEMPO DE RESIDENCIA EN EL TANQUE DE REDUCCION 185 - TK -003				
PRUEBAS	FLUJO DE TRATAMIENTO		Tiempo en Horas (h)	Tiempo en minutos (min)
	Cantidad (m3/h)	Cantidad (L/h)		
FLUJO ACTUAL	20	20000	1.38	82.50
PRUEBA 1	50	50000	0.55	33.00
PRUEBA 2	70	70000	0.39	23.57
PRUEBA 3	100	100000	0.28	16.50

- Fuente: Elaboración Propia

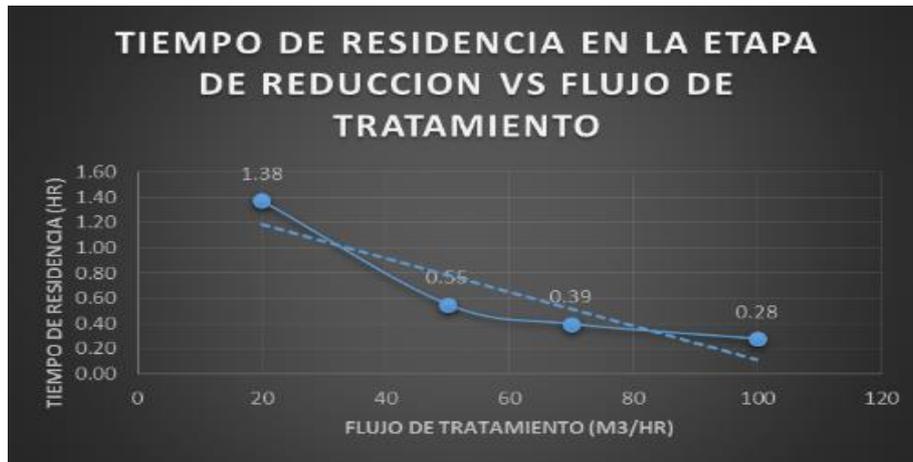


GRAFICO N°4.6: Tiempo de residencia en etapa de reducción vs flujo de tratamiento -

Fuente: Elaboración Propia

DOSIFICACION DE RACTIVO CLORURO FERRICO (Cl₃Fe) EN LA ETAPA DE COAGULACIÓN

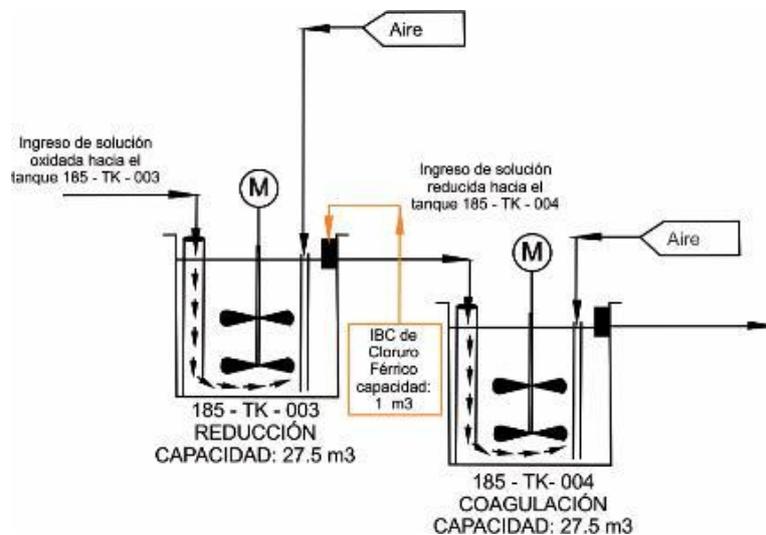


FIGURA N° 4.4: Etapa de reducción con NASH - Fuente: Elaboración Propia

Para la dosificación de Cl₃Fe se dispondrá de una proyección con la cantidad de reactivo y el tiempo de residencia que presentara el flujo de solución a tratar en el reactor donde se dosifica este reactivo.

CLORURO FERRICO (Cl₃Fe) Y TIEMPO DE RESIDENCIA EN LAS PRUEBAS A EJECUTAR:

$$\text{concentracion} \rightarrow \% \text{ Volumen} = \frac{\text{Volumen soluto}}{\text{Volumen de disolucion}} \times 100$$

Tabla N° 4.16

Coagulación – Cloruro Férrico Cl₃Fe

ETAPA DE COAGULACION- REACTIVOS		
Cantidad de Cloruro Férrico (Cl ₃ Fe) en almacenamiento en IBC	1000.00	L
Cantidad de Cloruro Férrico (Cl ₃ Fe) en almacenamiento en IBC	2900.00	kg
Dosificación de Cloruro Férrico (Cl ₃ Fe):	7.00	L/h
Consumo de Cloruro Férrico (Cl ₃ Fe) en un día:	168.00	L/día
Días de Duración del Cloruro Férrico (Cl ₃ Fe) en almacenamiento:	5.95	Días
Horas de Duración del Cloruro Férrico (Cl ₃ Fe) en almacenamiento:	142.86	Horas

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 4.17

Registro de consumo de Cloruro Férrico (Cl₂Fe) en función al flujo tratado

CONSUMO DE REACTIVO CLORURO FERRICO (L)/(L) DE SOLUCION TRATADA			
PRUEBAS	FLUJO DE TRATAMIENTO		FLUJO DE Cl ₃ Fe DOSIFICADO POR % V
	Cantidad (m ³ /h)	Cantidad (L/h)	
FLUJO ACTUAL	20	20000	0.03499
PRUEBA 2	50	50000	0.01400
PRUEBA 3	70	70000	0.01000
PRUEBA 4	100	100000	0.00700

Fuente: Elaboración Propia



GRAFICO N° 4.7: Consumo de Cl₃Fe (%V) vs Flujo de tratamiento (L) - Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 4.18

Tiempo de residencia en el tanque de coagulación N° 3 en función al flujo tratado

TIEMPO DE RESIDENCIA EN EL TANQUE DE CUAGULACION 185 - TK -004				
PRUEBAS	FLUJO DE TRATAMIENTO		Tiempo en Horas (h)	Tiempo en minutos (min)
	Cantidad (m ³ /h)	Cantidad (L/h)		
FLUJO ACTUAL	20	20000	1.38	82.50
PRUEBA 1	50	50000	0.55	33.00
PRUEBA 2	70	70000	0.39	23.57
PRUEBA 3	100	100000	0.28	16.50

Fuente: Elaboración Propia

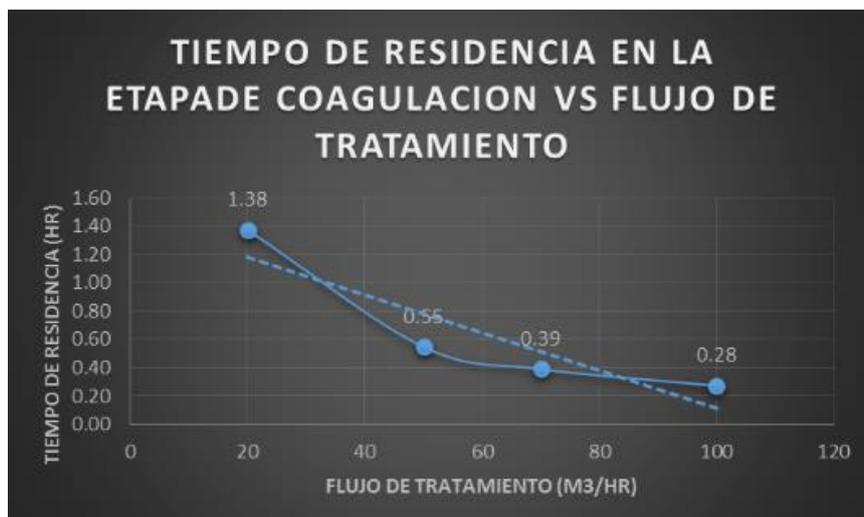


GRAFICO N° 4.8: Tiempo de residencia en etapa de coagulación vs flujo de tratamiento

- Fuente: Elaboración Propia

DOSIFICACION DE RACTIVO FLOCULANTE (AR-2414) EN LA ETAPA DE COAGULACIÓN

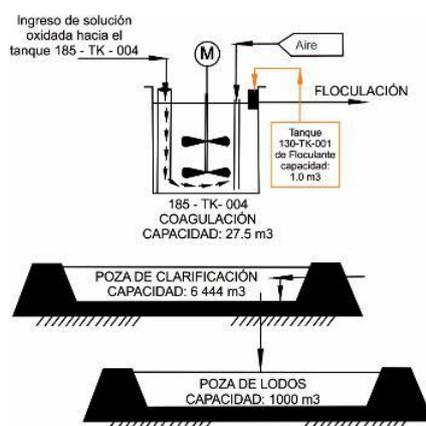


FIGURA N° 4.5: Etapa de reducción con NASH - Fuente: Elaboración Propia

Para la dosificación de FLOCULANTE AR - 2414 se dispondrá de una proyección con la cantidad de reactivo y el tiempo de residencia que presentara el flujo de solución a tratar en el reactor donde se dosifica este reactivo.

FLOCULANTE AR- 2414 Y TIEMPO DE RESIDENCIA EN LAS PRUEBAS A EJECUTAR:

$$concentracion \rightarrow \frac{\text{gramos}}{\text{litro}} = \frac{\text{masa del soluto}}{\text{volumen de disolucion}}$$

$$concentracion \rightarrow \% \text{ Masa} = \frac{\text{masa del soluto}}{\text{masa de la disolucion}}$$

$$\text{masa de la disolucion} = \text{masa del soluto} + \text{masa del disolvente}$$

Tabla N° 4.19

Floculación – floculante AR-2414

ETAPA DE FLOCULACION - REACTIVOS		
Cantidad de Floculante (AR-2414) en Kg a preparar	1.00	Kg
Cantidad de agua para preparacion de Floculante (AR-2414)	999.00	L
Concentracion de solucion de Floculante (AR-2414)	0.10	%
Cantidad Total de solucion de Floculante (AR-2414) al 10%	1000.00	L
Dosificación de Floculante (AR-2414):	90.00	L/h
Consumo de Floculante (AR-2414) en un día:	2160.00	L/dia
Días de Duración del Floculante (AR-2414) en almacenamiento:	0.46	Dias
Horas de Duración del Floculante (AR-2414) en almacenamiento:	11.11	Horas

Fuente: Elaboración Propia

$$concentracion \rightarrow \% Volumen = \frac{Volumen\ soluto}{Volumen\ de\ disolucion} \times 100$$

Tabla N° 4.20

Registro de consumo de FLOCULANTE (AR - 2414) en función al flujo tratado

CONSUMO DE REACTIVO FLOCULANTE (L)/(L) DE SOLUCION TRATADA			
PRUEBAS	FLUJO DE TRATAMIENTO		FLUJO DE AR-2424 DOSIFICADO POR % V
	Cantidad (m3/h)	Cantidad (L/h)	
FLUJO ACTUAL	20	20000	0.44798
PRUEBA 2	50	50000	0.17968
PRUEBA 3	70	70000	0.12841
PRUEBA 4	100	100000	0.08992

Fuente: Elaboración Propia



GRAFICO N° 4.9: Consumo de floculante AR -2414 (%V) vs Flujo de tratamiento (L) -

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 4.21

Tiempo de residencia en la poza de clarificación en función al flujo tratado.

TIEMPO DE RESIDENCIA EN EL POZA DE FLOCULACION					
PRUEBAS	FLUJO DE TRATAMIENTO		Tiempo en Horas (h)	Tiempo en minutos (min)	Tiempo en días (día)
	Cantidad (m3/h)	Cantidad (L/h)			
FLUJO ACTUAL	20	20000	322.18	19330.71	13.42
PRUEBA 1	50	50000	128.87	7732.28	5.37
PRUEBA 2	70	70000	92.05	5523.06	3.84
PRUEBA 3	100	100000	64.44	3866.14	2.68

Fuente: Elaboración Propia

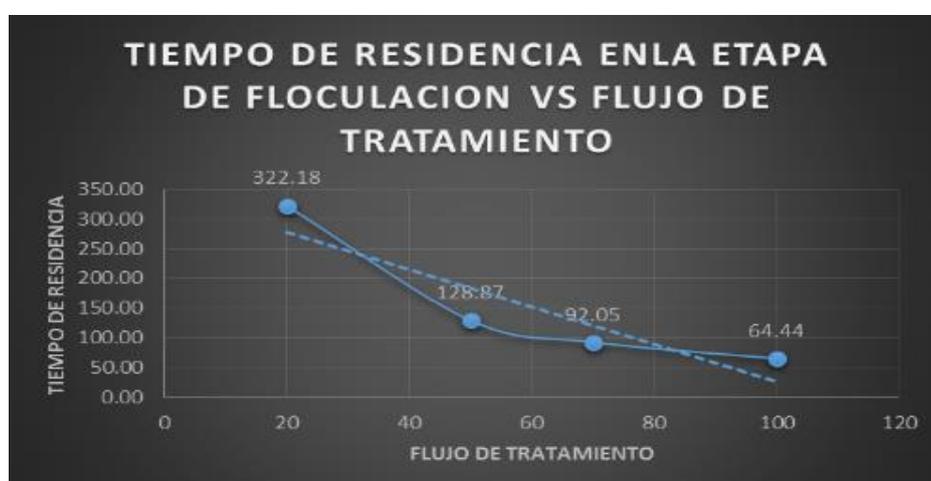


GRAFICO N° 4.10: Tiempo de residencia en etapa de floculación vs flujo de tratamiento -

Fuente: Elaboración Propia

EQUIPOS EN PLANTA PTARE PARA PREPARACION DE REACTIVOS

Los equipos que comprenden la planta de tratamiento de agua de relave tienen diversas funciones y se les ha asignado determinados códigos para su control durante la evaluación del tratamiento de diversos flujos de tratamiento.

Tabla N° 4.22

Lista de equipos mecánicos en planta PTARE

ITEM	DESCRIPCION	TAG
1	Bomba de aguas filtradas	PU-001A
2	Bomba de aguas filtradas (Stand by)	PU-001B
3	Casing de bomba de aguas filtradas	CG-001A
4	Casing de bomba de aguas filtradas	CG-001B
5	Tanque de precipitación	TK-001
6	Tanque de precipitación	TK-002
7	Tanque de precipitación	TK-003
8	Tanque de precipitación	TK-004
9	Agitador de tanque de precipitación	AG-001
10	Agitador de tanque de precipitación	AG-002
11	Agitador de tanque de precipitación	AG-003
12	Agitador de tanque de precipitación	AG-004
13	Bomba sumidero planta de tratamiento	PU-004
14	Muestreador de agua filtrada de relaves	SA-001
15	Muestreador de agua pre-tratada	SA-002
16	Muestreador de agua tratada	SA-003
17	Bomba de lodos sedimentados	PU-003
18	Casing de bomba de lodos sedimentados	CG-002
19	Bomba de agua tratada	PU-002A
20	Bomba de agua tratada (Stand by)	PU-002B
21	Barcaza de bomba de aguas tratadas	BC-001A
22	Barcaza de bomba de aguas tratadas	BC-001B

Fuente: Elaboración Propia

Los equipos que comprenden la preparación y manejo de reactivos tienen diversas funciones y se les ha asignado determinados códigos.

Tabla N° 4.23

Lista de equipos para dosificación de reactivos en planta PTARE

ITEM	DESCRIPCION	TAG
1	Tanque de floculante	TK-001
2	Agitador de tanque de floculante	AG-001
3	Bomba dosificadora de floculante	PU-001A
4	Bomba dosificadora de floculante (Stand by)	PU-001B
5	Tanque de sulfhidrato de sodio	TK-002
6	Agitador de tanque de sulfhidrato de sodio	AG-002
7	Bomba de sulfhidrato de sodio	PU-002A
8	Bomba de sulfhidrato de sodio (Stand by)	PU-002B
9	Bomba de trasvase de peróxido de hidrógeno	PU-008
10	Tanque de almacenamiento de peróxido de hidrógeno	TK-003
11	Bomba dosificadora de peróxido de hidrógeno	PU-003A
12	Bomba dosificadora de peróxido de hidrógeno (Stand by)	PU-003B
13	Bomba sumidero de peróxido de hidrógeno	PU-006
14	Bomba de cloruro férrico	PU-004A
15	Bomba de cloruro férrico (Stand by)	PU-004B
16	Bomba de trasvase de ácido sulfúrico	PU-009
17	Tanque de ácido sulfúrico	TK-004
18	Bomba dosificadora de ácido sulfúrico	PU-005A
19	Bomba dosificadora de ácido sulfúrico (Stand by)	PU-005B
20	Bomba sumidero de ácido sulfúrico	PU-007
21	Alimentador de tornillo	SF-001
22	Tolva de alimentación de cal	BX-001
23	Tecla monorriel	HT-001
24	Ducha lavaojos	SY-001
25	Ducha lavaojos	SY-002

Fuente: Elaboración Propia

Para el desarrollo de nuestro trabajo de investigación determinaremos el flujo adecuado de solución a tratar en la planta PTARE mediante la variación de flujos de tratamiento en

diversos días de trabajo en condiciones casi uniforme de ingreso de leyes de tratamiento de metales y sin la variación en el consumo de reactivos.

Por lo tanto debemos conocer el tiempo de residencia en cada reactor (conocido como tanque) durante la variación de flujos de ingreso de solución de relaves.

Tabla N° 4.24

Tiempo de residencia en cada proceso de tratamiento de aguas.

CALCULO DE TIEMPO DE RESIDENCIA EN MINUTOS					
ITEM	FLUJO m ³ /hr	TIEMPO DE RESIDENCIA, 185 – TK - 001 de Neutralización (CaO)	TIEMPO DE RESIDENCIA, 185 – TK –001 -002 de Oxidación (H ₂ O ₂)	TIEMPO DE RESIDENCIA, 185 – TK - 003 de reducción (NaSH)	TIEMPO DE RESIDENCIA, 185 – TK - 003 de Coagulación (Cl ₃ Fe)
1	20	82.50 (min)	165.00 (min)	82.50 (min)	82.50 (min)
2	50	33.00 (min)	66.00 (min)	33.00 (min)	33.00 (min)
3	70	23.57 (min)	57.00 (min)	23.57 (min)	23.57 (min)
4	100	16.50 (min)	33.00 (min)	16.50 (min)	16.50 (min)

Fuente: Elaboración Propia

4.1. MUESTREO

Para la toma de muestras se desarrolló el procedimiento descrito dentro de los PETS establecidos por Planta de Procesos U.E. Tambomayo ver anexo n° () , la muestras se tomaron durante el periodo de tiempo de la primera semana de febrero del año 2020 debido a la importancia del control de tratamiento de aguas durante esta estación del año que involucra un crecimiento en el volumen de agua tratada debido al caudal procedente de las relavaras por las intensas lluvias registradas. Cada registro de los datos tomados en las pozas indica el ph; los datos de las leyes de metales existentes en las muestras y sólidos en suspensión serán otorgados por los resultados de laboratorio químico de la U.E. Tambomayo.

Se desarrolla el muestreo manual de la solución filtrada del depósito de relaves DRF 1 y DRF 2 hacia la

- Poza de contacto 1.
- Salida del tratamiento en planta.

Se toma las muestras del punto de ingreso de la solución en el muestrador que se encuentra en la tubería que alimenta a planta de tratamiento PTARE desde la poza de CONTACTO N° 1.



IMAGEN N° 4.1: Foto de la poza de contacto 1 Fuente: Elaboración Propia



IMAGEN N° 4.2: muestreado de solución de ingreso a planta (ubicado en poza de contacto 1) Fuente: Elaboración Propia

De igual manera la muestra de solución de tratada se toma la muestra del muestrador que se encuentra ubicado a la salida de planta PTARE.



IMAGEN N° 4.3: Muestreador de solución de salida de planta (ubicado en al finalizar el tratamiento de PTARE) Fuente: Elaboración Propia

MUESTRAS.

Se obtiene un total de 9 muestras durante 3 días de operación continua, muestras que fueron debidamente rotuladas y codificadas en el envío a laboratorio químico para su análisis por metales disueltos (Cu, Mn, Fe, Pb y Zn) y análisis por metales Totales (Cu, Mn, Fe, Pb y Zn) e incluido análisis de cianuro TOTAL.

Muestras Día 1

Inicialmente se varió el flujo de ingreso de solución subiendo el flujo de tratamiento de 20m³/h que se estuvieron tratando la solución hasta el día de ayer viernes 21 de febrero a las 11:50 p.m. de la noche; subiendo el flujo a 50 m³/h estabilizando la dosificación de reactivos a las cantidades referentes al estudio de laboratorio metalúrgico en función a las concentraciones de Nash y Floculante, así como los flujos determinados de H₂O₂, Cal, Cloruro Férrico, Nash y Floculante.

Este flujo de 50m³/h se trató durante un total de 24 horas hasta las 11:55 p.m. el día 22-02 – 2020 obteniéndose 6 muestras de solución.

Las 6 muestras de solución obtenidas (3 muestras de solución de Ingreso a Tratamiento en Planta PTARE) (3muestras de solución de salida de tratamiento en Planta PTARE), se enviaron a laboratorio en coordinación con personal de planta procesos, con la finalidad de conocer y registrar los resultados de las leyes en función al flujo tratado.

22-02-2020



IMAGEN N° 4.4: Muestras de Ingreso Y Salida Día 1 De Pruebas de Tratamiento de Flujo De 50 M3/h en PTARE Fuente: Elaboración Propia

Muestras Día 2

Una vez conocidas las leyes de tratamiento a 50 m³/h se tomó la decisión de aumentar el flujo de ingreso de solución subiendo el flujo de tratamiento de 50m³/h que se estuvieron tratando la solución hasta el día de ayer sábado 22 de febrero a las 11:50 p.m. De la noche; subiendo el flujo a 70 m³/h sin hacer variación de la cantidad de dosificación de reactivos para el tratamiento.

Este flujo de 70m³/h se trató durante un total de 24 horas hasta las 11:55 p.m. el día 23-02 – 2020 obteniéndose 6 muestras de solución.

Las 6 muestras de solución obtenidas (3 muestras de solución de Ingreso a Tratamiento en Planta PTARE) (3muestras de solución de salida de tratamiento en Planta PTARE), se enviaron a laboratorio en coordinación con personal de planta procesos, con la finalidad de conocer y registrar los resultados de las leyes en función al flujo tratado.

23-02-2020



IMAGEN N° 4.5: Muestras de Ingreso Y Salida Día 2 De Pruebas de Tratamiento de Flujo De 70 M3 /h en PTARE - Fuente: Elaboración Propia

Muestras Día 3

Una vez conocidas las leyes de tratamiento a 70 m³/h y al encontrar resultados optimos en el tratamiento se tomó la decisión de aumentar el flujo de ingreso de solución subiendo el flujo de tratamiento de 70m³/h que se estuvieron tratando la solución hasta el día de ayer sábado 23 de febrero a las 11:50 p.m. De la noche; subiendo el flujo a 100 m³/h sin hacer variación de la cantidad de dosificación de reactivos para el tratamiento. Este flujo de 100m³/h se trató durante un total de 24 horas hasta las 11:55 p.m. el día 24 – 02 – 2020 obteniéndose 6 muestras de solución.

Las 6 muestras de solución obtenidas (3 muestras de solución de Ingreso a Tratamiento en Planta PTARE) (3muestras de solución de salida de tratamiento en Planta PTARE), se enviaron a laboratorio en coordinación con personal de planta procesos, con la finalidad de conocer y registrar los resultados de las leyes en función al flujo tratado.

24-02-2020



IMAGEN N° 4.6: Muestras de Ingreso Y Salida Día 3 De Pruebas de Tratamiento de Flujo De 100 M3 /Hr en PTARE Fuente: Elaboración Propia

4.1.1. ESQUEMA EXPERIMENTAL.

Diseño Experimental de Pruebas (Método Taguchi)

$$L_a = (b)^c$$

- a: número de pruebas (número de filas).
- b: número de niveles (dos).
- c: número de variables (número de columnas).

$$L_9 = (3)^2$$

Variables:

- A
- B

Niveles:

- Mínimo (1).
- Intermedio (2)
- Máximo (3).

Tabla N° 4.25

Cantidad de pruebas con dos variables.

PRUEBA	VARIABLE	VARIABLE	LEYES DE METALES
1	1	1	X(1)
2	1	2	X(2)
3	1	3	X(3)
4	2	1	X(4)
5	2	2	X(5)
6	2	3	X(6)
7	3	1	X(7)
8	3	2	X(8)
9	3	3	X(9)

Fuente: Elaboración Propia

PRUEBAS A NIVEL PLANTA:

DATOS ACTUALES DEL TRATAMIENTO DE PLANTA:

TABLA N° 4.26

Variables de Proceso para el Proceso de Tratamiento de Aguas en PTARE

PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS			
ITEM	VARIABLE DE PROCESO	RANGO	UNIDAD
1	Flujo de ingreso de agua (nominal)	50 - 100	m3/h
2	Flujo de ingreso de agua (diseño)	100.0	m3/h
3	Flujo de lodos sedimentados (nominal)	30.0	m3/h
4	Flujo de lodos sedimentados (diseño)	36.0	m3/h
5	pH de neutralización - precipitación	10.5 - 11.5	---
6	Consumo de cal viva	0.02	t/h
7	Dosificación de floculante al 0.05%	90.0	l/h
8	Dosificación de ácido sulfúrico al 98.0%	10.5	l/h
9	Dosificación de peróxido de hidrógeno al 70.0%	86.0	l/h
10	Dosificación de sulfhidrato de sodio al 10.0%	62	l/h
11	Dosificación de cloruro férrico al 40.0%	67	l/h
12	Flujo de salida de agua tratada (nominal)	50 - 70- 100	m3/h
13	Flujo de salida de agua tratada (diseño)	100.0	m3/h
14	pH de descarga de agua tratada	7.5 - 8.5	---

- Fuente: Elaboración Propia

4.1.2. CARACTERIZACION DE AGUAS QUE LLEGAN A TRATAMIENTO EN PLANTA

La caracterización química de las aguas tratadas se determinará por los valores de metales que presentan y la cantidad de sólidos en suspensión, para el tratamiento y la correcta adición de reactivos necesarios, así como tiempo de residencia adecuado en los reactores detallados en el proceso.

TABLA N° 4.27

Rango de leyes de metales que ingresan al tratamiento de planta PTARE

CARACTERIZACION DE METALES EN INGRESO A PLANTA DE TRATAMIENTO			
ITEM	VARIABLE DE PROCESO	RANGO	UNIDAD
1	Cobre total	1 - 40	mg/L
2	Cobre Disuelto	1 - 40	mg/L
3	Manganeso Total	1 - 10	mg/L
4	Manganeso Disuelto	1 - 10	mg/L
5	Fierro Total	1 - 2	mg/L
6	Fierro Disuelto	1 - 2	mg/L
7	Plomo Total	0.2 - 1	mg/L
8	Plomo Disuelto	0.2 - 1	mg/L
9	Zinc Total	1 - 20	mg/L
10	Zinc Disuelto	1 - 20	mg/L
11	CN Total	1 - 100	mg/L
12	pH de ingreso	5 - 10	-

Fuente: Elaboración Propia

4.1.3. EVALUACIÓN DEL PROCESO

El proceso se desarrolla de manera adecuada por cumplir con la obtención de los límites máximos permisibles dentro de los estándares requeridos por los organismos medioambientales para el reúso o vertimiento de agua hacia los puntos adecuados.

Pero tiene la necesidad de aumentar el flujo tratado en planta PTARE en temporada de lluvias, por lo que se busca mejorar el desarrollo de la operación mediante el control de parámetros de operación involucrados y lograr estabilizar el consumo de reactivo en un determinado nivel. Para lo cual solo se variaría el flujo, considerando el ingreso de leyes casi uniformes de metales tratados en la planta PTARE.

4.2. PRUEBAS A NIVEL DE PLANTA

Las pruebas realizadas den planta indican valores reales y objetivos sobre la cantidades de reactivos adecuados para el tratamiento de agua y reducir los costos de tratamiento, así mismo prevenir posibles efectos medioambientales y generar un trabajo seguro y que garantice la salud ocupacional de los operadores de esta planta de tratamiento.

PRUEBA DE VARIACION DE TRATAMIENTO DE AGUAS.

Las variables para esta prueba son las siguientes:

Tiempo (Duración del proceso de tratamiento).

- Mínimo: 12 horas.
- Intermedio: 8 horas
- Máximo: 24 horas.

Metros cúbicos de solución tratada en el proceso de tratamiento de aguas.

- Mínimo: 50 m³/h.
- intermedio: 70 m³/h.
- Máximo: 100 m³/h

Según el Diseño Experimental de Pruebas (Método Taguchi) se obtiene lo siguiente:

$$L_9 = (3)^2$$

PRUEBA DE VARIACION DE COBRE DISUELTO Y TOTAL A LA SALIDA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS.

Las variables para esta prueba son las siguientes:

Tiempo (Duración del proceso de tratamiento).

- Mínimo: 12 horas.
- Intermedio: 8 horas
- Máximo: 24 horas.

Metros cúbicos de solución tratada en el proceso de tratamiento de aguas.

- Mínimo: 50 m³/h.
- intermedio: 70 m³/h.
- Máximo: 100 m³/h.

Según el Diseño Experimental de Pruebas (Método Taguchi) se obtiene lo siguiente:

$$L_9 = (3)^2$$

LEYES DE COBRE AL INGRESO DE SOLUCION A PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS

TABLA N° 4.28

DIA 1 leyes de Cobre Disuelto y Total al ingreso al tratamiento a un determinado Ph en el primer día de las pruebas experimentales

N°	HORA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	METALES DISUELTOS	METALES TOTALES	PH
			Cu (mg/L)	Cu (mg/L)	
1	PTARE 08:00 AM	INGRESO			9.62
			12.190	12.310	
2	PTARE 16:00 PM	INGRESO			9.61
			12.419	12.730	
3	PTARE 00:00 PM	INGRESO			9.62
			12.678	12.990	

Fuente: Área de Laboratorio y análisis químico

TABLA N° 4.29

DIA 2 leyes de Cobre Disuelto y Total al ingreso al tratamiento a un determinado Ph en el segundo día de las pruebas experimentales

N°	FECHA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	METALES DISUELTOS	METALES TOTALES	PH
			Cu (mg/L)	Cu (mg/L)	
1	PTARE 08:00 AM	INGRESO			10.25
			13.210	13.420	
2	PTARE 16:00 PM	INGRESO			10.25
			13.190	13.942	
3	PTARE 00:00 PM	INGRESO			10.25
			13.123	14.000	

Fuente: Área de Laboratorio y análisis químico

TABLA N° 4.30

DIA 3 leyes de Cobre Disuelto y Total al ingreso al tratamiento a un determinado Ph en el tercer día de las pruebas experimentales

N°	FECHA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	METALES DISUELTOS	METALES TOTALES	PH
			Cu (mg/L)	Cu (mg/L)	
1	PTARE 08:00 AM	INGRESO			10.23
			12.700	12.781	
2	PTARE 16:00 PM	INGRESO			10.23
			12.655	12.630	
3	PTARE 00:00 PM	INGRESO			10.23
			12.540	12.210	

Fuente: Área de Laboratorio y análisis químico

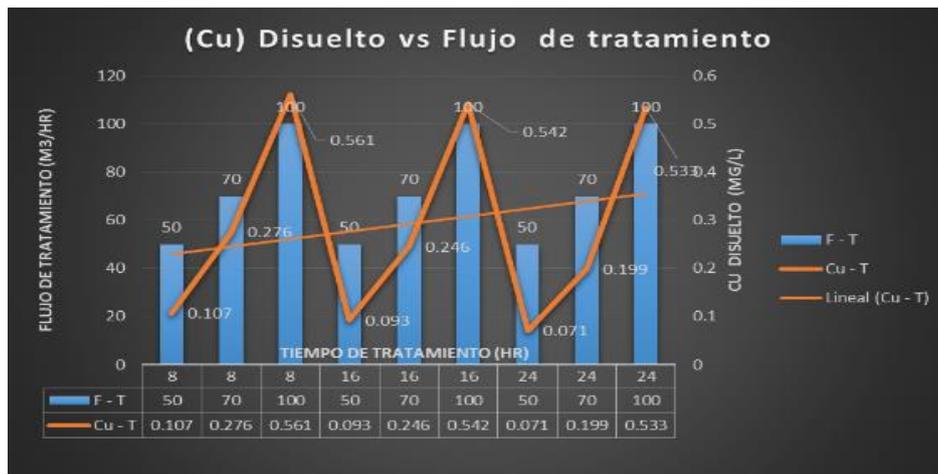
COBRE DISUELTO Y COBRE TOTAL EN LA SALIDA DE LA SOLUCION TRATADA

TABLA N° 4.31

Leyes Cobre Disuelto y Total a la salida del tratamiento en función al flujo tratado en un determinado periodo de tiempo

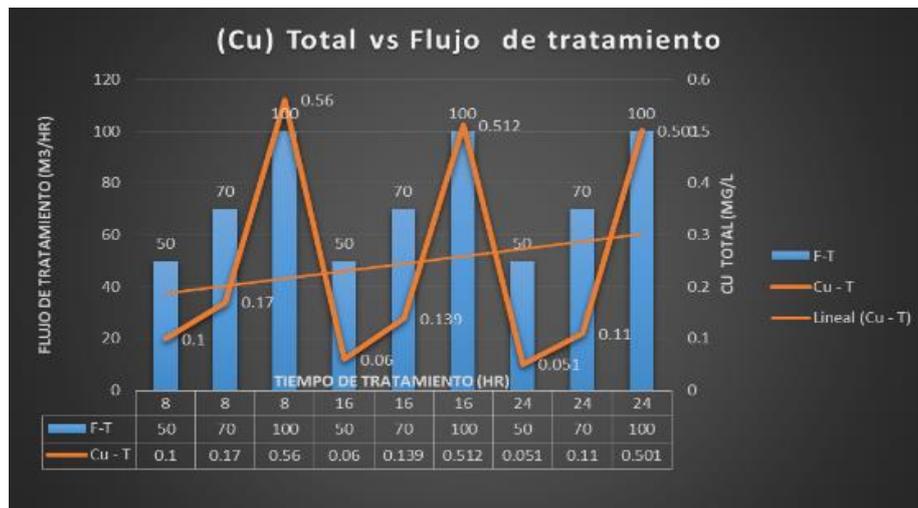
PRUEBA	TIEMPO (h)	FLUJO (m3/h)	Cu DISUELTO EN LA SALIDA DEL TRATAMIENTO mg/L	Cu TOTAL EN LA SALIDA DEL TRATAMIENTO mg/L
1	8	50	0.107	0.100
2	8	70	0.276	0.170
3	8	100	0.561	0.560
4	16	50	0.093	0.060
5	16	70	0.246	0.1397
6	16	100	0.542	0.512
7	24	50	0.071	0.051
8	24	70	0.199	0.110
9	24	100	0.533	0.501

Fuente: Elaboración Propia



GRAFICA N° 4.11: Cobre disuelto a la salida del tratamiento en función al flujo de tratamiento en PTARE en determinado espacio de tiempo - Fuente: Elaboración Propia

la elección de variables con mejores resultados fue la prueba N° 8 con un flujo de 70 m³ en un tiempo de 24 horas logrando observar la disminución del contenido de cobre Disuelto de 0.199 mg/l en la salida de la solución al finalizar el tratamiento ya que cumple con los límites máximos permisibles.



GRAFICA N° 4.12: Cobre Total a la salida del tratamiento en función al flujo de tratamiento en PTARE en determinado espacio de tiempo - Fuente: Elaboración Propia

la elección de variables con mejores resultados fue la prueba N° 8 con un flujo de 70 m³ en un tiempo de 24 horas logrando observar la disminución del contenido de cobre Total de 110 mg/l en la salida de la solución al finalizar el tratamiento ya que cumple con los límites máximos permisibles.

PRUEBA DE VARIACION DE MANGANESO DISUELTOS Y TOTAL A LA SALIDA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS.

Las variables para esta prueba son las siguientes:

Tiempo (Duración del proceso de tratamiento).

- Mínimo: 12 horas.
- Intermedio: 8 horas
- Máximo: 24 horas.

Metros cúbicos de solución tratada en el proceso de tratamiento de aguas.

- Mínimo: 50 m³/h.
- intermedio: 70 m³/h.
- Máximo: 100 m³/h.

Según el Diseño Experimental de Pruebas (Método Taguchi) se obtiene lo siguiente:

$$L_9 = (3)^2$$

LEYES DE MANGANESO AL INGRESO DE SOLUCION A PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS

TABLA N° 4.32

DIA 1 leyes de Manganeseo Disuelto y Total al ingreso al tratamiento a un determinado Ph en el primer día de las pruebas experimentales

N°	HORA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	METALES DISUELTOS	METALES TOTALES	PH
			Mn (mg/L)	Mn (mg/L)	
1	PTARE 08:00 AM	INGRESO			9.62
			0.251	0.220	
2	PTARE 16:00 PM	INGRESO			9.61
			0.218	0.202	
3	PTARE 00:00 PM	INGRESO			9.62
			0.298	0.246	

Fuente: Área de Laboratorio y análisis químico

TABLA N° 4.33

DIA 2 leyes de Manganeseo Disuelto y Total al ingreso al tratamiento a un determinado Ph en el segundo día de las pruebas experimentales

N°	HORA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	METALES DISUELTOS	METALES TOTALES	PH
			Mn (mg/L)	Mn (mg/L)	
1	PTARE 08:00 AM	INGRESO			10.25
			0.179	0.197	
2	PTARE 16:00 PM	INGRESO			10.25
			0.177	0.197	
3	PTARE 00:00 PM	INGRESO			10.25
			0.123	0.191	

Fuente: Área de Laboratorio y análisis químico

TABLA N° 4.34

DIA 3 leyes de Manganeseo Disuelto y Total al ingreso al tratamiento a un determinado Ph en el tercer día de las pruebas experimentales -

N°	HORA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	METALES DISUELTOS	METALES TOTALES	PH
			Mn (mg/L)	Mn (mg/L)	
1	PTARE 08:00 AM	INGRESO			10.23
			0.130	0.194	
2	PTARE 16:00 PM	INGRESO			10.23
			0.112	0.182	
3	PTARE 00:00 PM	INGRESO			10.23
			0.114	0.114	

Fuente: Área de Laboratorio y análisis químico

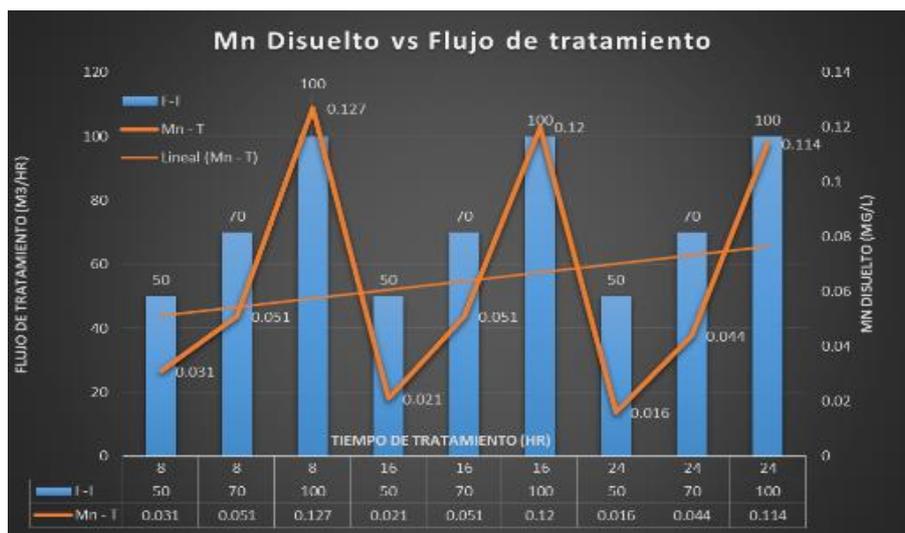
MANGANESO DISUELTO Y MANGANESO TOTAL EN LA SALIDA DE LA SOLUCION TRATADA

TABLA N° 4.35

Leyes Manganese Disuelto y Total a la salida del tratamiento en función al flujo tratado en un determinado periodo de tiempo

PRUEBA	TIEMPO (h)	FLUJO (m3/h)	Mn DISUELTO EN LA SALIDA DEL TRATAMIENTO mg/L	Mn TOTAL EN LA SALIDA DEL TRATAMIENTO mg/L)
1	8	50	0.031	0.036
2	8	70	0.051	0.066
3	8	100	0.127	0.126
4	16	50	0.021	0.030
5	16	70	0.051	0.057
6	16	100	0.12	0.109
7	24	50	0.016	0.020
8	24	70	0.044	0.042
9	24	100	0.114	0.114

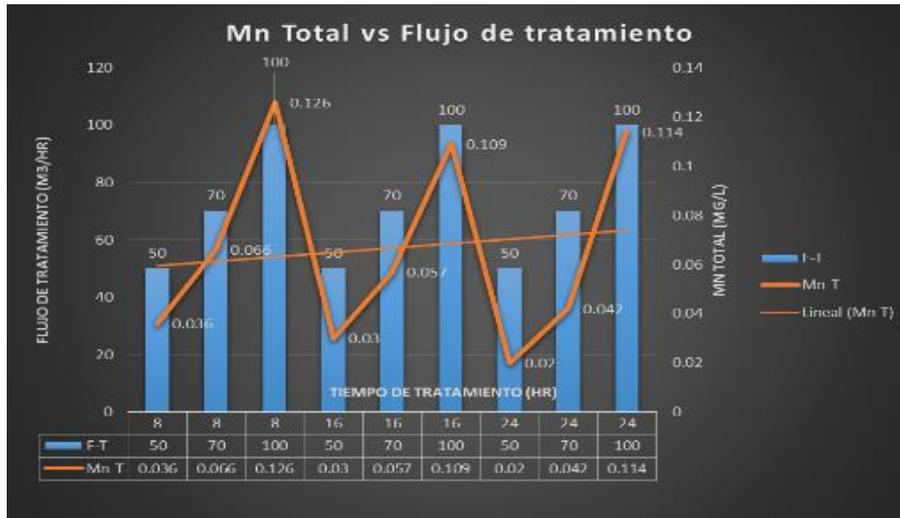
Fuente: Elaboración Propia



GRAFICA N° 4.13: Manganese disuelto a la salida del tratamiento en función al flujo de tratamiento (m3/h) en PTARE en determinado espacio de tiempo (h)

la elección de variables con mejores resultados fue la prueba N° 9 con un flujo de 100 m3 en un tiempo de 24 horas logrando observar la disminución del contenido de manganese

Disuelto de 0.114 mg/l en la salida de la solución al finalizar el tratamiento ya que cumple con los límites máximos permisibles.



GRAFICA N° 4.14: Manganeseo Total a la salida del tratamiento en función al flujo de tratamiento (m³/h) en PTARE en determinado espacio de tiempo (h)- Fuente: Elaboración Propia

la elección de variables con mejores resultados fue la prueba N° 9 con un flujo de 100 m³ en un tiempo de 24 horas logrando observar el contenido de manganeseo Total de 0.114 mg/l en la salida de la solución al finalizar el tratamiento ya que cumple con los límites máximos permisibles.

PRUEBA DE VARIACION DE FIERRO DISUELTO Y TOTAL A LA SALIDA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS.

Las variables para esta prueba son las siguientes:

Tiempo (Duración del proceso de tratamiento).

- Mínimo: 12 horas.
- Intermedio: 8 horas
- Máximo: 24 horas.

Metros cúbicos de solución tratada en el proceso de tratamiento de aguas.

- Mínimo: 50 m³/h.
- intermedio: 70 m³/h.
- Máximo: 100 m³/h

Según el Diseño Experimental de Pruebas (Método Taguchi) se obtiene lo siguiente:

$$L_9 = (3)^2$$

LEYES DE FIERRO AL INGRESO DE SOLUCION A PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS

TABLA N°4.36

DIA 1 Leyes de Fierro Disuelto y Total al ingreso al tratamiento a un determinado Ph en el primer día de las pruebas experimentales

N°	HORA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	METALES DISUELTOS	METALES TOTALES	PH
			Fe (mg/L)	Fe (mg/L)	
1	PTARE 08:00 AM	INGRESO			9.62
			0.241	0.231	
2	PTARE 16:00 PM	INGRESO			9.61
			0.254	0.263	
3	PTARE 00:00 PM	INGRESO			9.62
			0.201	0.270	

Fuente: Área de Laboratorio y análisis químico

TABLA N° 4.37

DIA 2 Leyes de Fierro Disuelto y Total al ingreso al tratamiento a un determinado Ph en el segundo día de las pruebas experimentales -

N°	HORA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	METALES DISUELTOS	METALES TOTALES	PH
			Fe (mg/L)	Fe (mg/L)	
1	PTARE 08:00 AM	INGRESO			10.25
			0.270	0.257	
2	PTARE 16:00 PM	INGRESO			10.25
			0.228	0.257	
3	PTARE 00:00 PM	INGRESO			10.25
			0.228	0.222	

Fuente: Área de Laboratorio y análisis químico

TABLA N° 4.38

DIA 3 Leyes de Fierro Disuelto y Total al ingreso al tratamiento a un determinado Ph en el tercer día de las pruebas experimentales

N°	HORA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	METALES DISUELTOS	METALES TOTALES	PH
			Fe (mg/L)	Fe (mg/L)	
1	PTARE 08:00 AM	INGRESO			10.23
			0.281	0.287	
2	PTARE 16:00 PM	INGRESO			10.23
			0.284	0.276	
3	PTARE 00:00 PM	INGRESO			10.23
			0.249	0.225	

Fuente: Área de Laboratorio y análisis químico

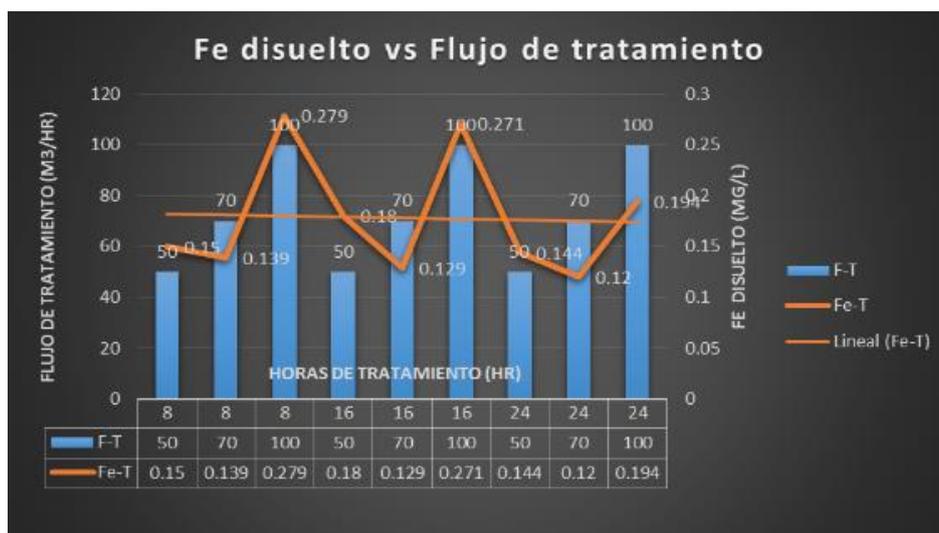
FIERRO DISUELTO Y FIERRO TOTAL EN LA SALIDA DE LA SOLUCION TRATADA

TABLA N° 4.39

Leyes Fierro Disuelto y Total a la salida del tratamiento en función al flujo tratado en un determinado periodo de tiempo.

PRUEBA	TIEMPO (h)	FLUJO (m3/h)	Fe DISUELTO EN LA SALIDA DEL TRATAMIENTO mg/L	Fe TOTAL EN LA SALIDA DEL TRATAMIENTO mg/L
1	8	50	0.15	0.138
2	8	70	0.139	0.175
3	8	100	0.279	0.23
4	16	50	0.18	0.118
5	16	70	0.129	0.161
6	16	100	.271	0.216
7	24	50	0.144	0.112
8	24	70	0.12	0.111
9	12	100	0.194	0.211

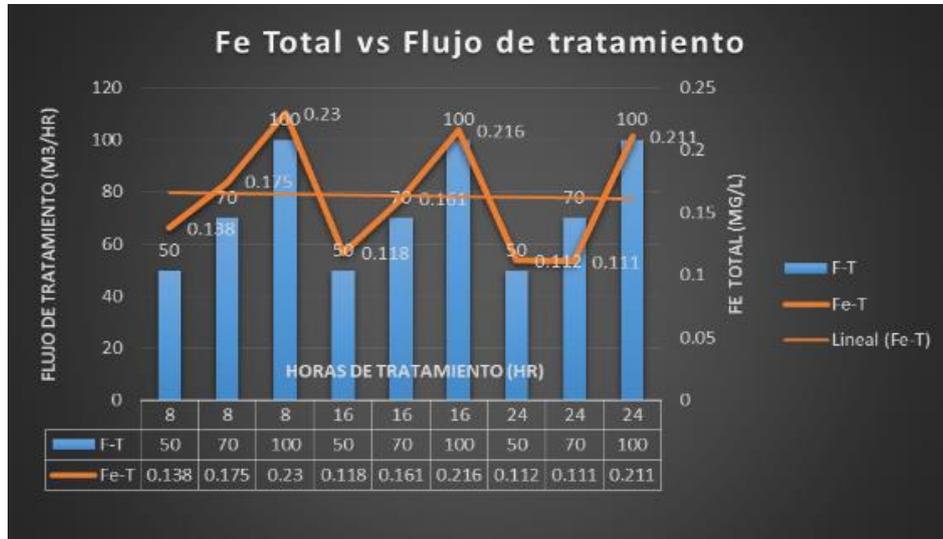
Fuente: Elaboración Propia



GRAFICA N° 4.15: Fierro disuelto a la salida del tratamiento en función al flujo de tratamiento (m3/h) en PTARE en determinado espacio de tiempo (h)- Fuente: Elaboración

Propia

la elección de variables con mejores resultados fue la prueba N° 9 con un flujo de 100 m³ en un tiempo de 24 horas logrando observar la disminución del contenido de Hierro Disuelto de 0.194 mg/l en la salida de la solución al finalizar el tratamiento ya que cumple con los límites máximos permisibles.



GRAFICA N° 4.16: Hierro Total a la salida del tratamiento en función al flujo de tratamiento (m³/h) en PTARE en determinado espacio de tiempo (h)- Fuente: Elaboración Propia

la elección de variables con mejores resultados fue la prueba N° 9 con un flujo de 100 m³ en un tiempo de 24 horas logrando observar la disminución del contenido de Hierro Disuelto de 0.211 mg/l en la salida de la solución al finalizar el tratamiento ya que cumple con los límites máximos permisibles.

PRUEBA DE VARIACION DE PLOMO DISUELTO Y TOTAL A LA SALIDA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS.

Las variables para esta prueba son las siguientes:

Tiempo (Duración del proceso de tratamiento).

- Mínimo: 12 horas.
- Intermedio: 8 horas
- Máximo: 24 horas.

Metros cúbicos de solución tratada en el proceso de tratamiento de aguas.

- Mínimo: 50 m³/h.

- intermedio: 70 m³/h.
- Máximo: 100 m³/h

Según el Diseño Experimental de Pruebas (Método Taguchi) se obtiene lo siguiente:

$$L_9 = (3)^2$$

LEYES DE PLOMO AL INGRESO DE SOLUCION A PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS

TABLA N° 4.40

DIA 1 leyes de Plomo Disuelto y Total al ingreso al tratamiento a un determinado Ph en el primer día de las pruebas experimentales

N°	HORA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	METALES DISUELTOS	METALES TOTALES	PH
			Pb (mg/L)	Pb (mg/L)	
1	PTARE 08:00 AM	INGRESO			9.62
			0.190	0.121	
2	PTARE 16:00 PM	INGRESO			9.61
			0.159	0.110	
3	PTARE 00:00 PM	INGRESO			9.62
			0.147	0.145	

Fuente: Área de Laboratorio y análisis químico

TABLA N° 4.41

DIA 2 leyes de Plomo Disuelto y Total al ingreso al tratamiento a un determinado Ph en el segundo día de las pruebas experimentales

N°	HORA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	METALES DISUELTOS	METALES TOTALES	PH
			Pb (mg/L)	Pb (mg/L)	
1	PTARE 08:00 AM	INGRESO			10.25
			0.187	0.186	
2	PTARE 16:00 PM	INGRESO			10.25
			0.183	0.186	
3	PTARE 00:00 PM	INGRESO			10.25
			0.186	0.176	

Fuente: Área de Laboratorio y análisis químico

TABLA N° 4.42

DIA 3 leyes de Plomo Disuelto y Total al ingreso al tratamiento a un determinado Ph en el tercer día de las pruebas experimentales -

N°	HORA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	METALES DISUELTOS	METALES TOTALES	PH
			Pb (mg/L)	Pb (mg/L)	
1	PTARE 08:00 AM	INGRESO			10.23
			0.175	0.144	
2	PTARE 16:00 PM	INGRESO			10.23
			0.143	0.132	
3	PTARE 00:00 PM	INGRESO			10.23
			0.102	0.100	

Fuente: Área de Laboratorio y análisis químico

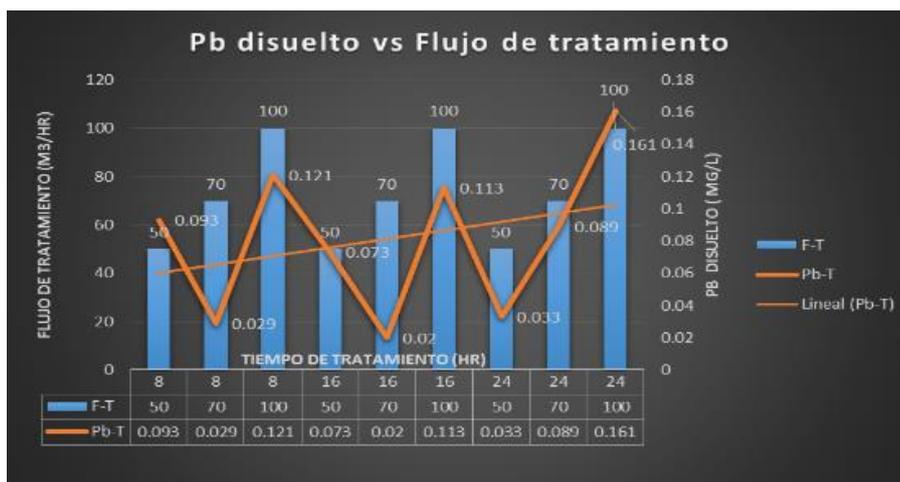
PLOMO DISUELTO Y PLOMO TOTAL EN LA SALIDA DE LA SOLUCION TRATADA

TABLA N° 4.43

Leyes Plomo Disuelto y Total a la salida del tratamiento en función al flujo tratado en un determinado periodo de tiempo

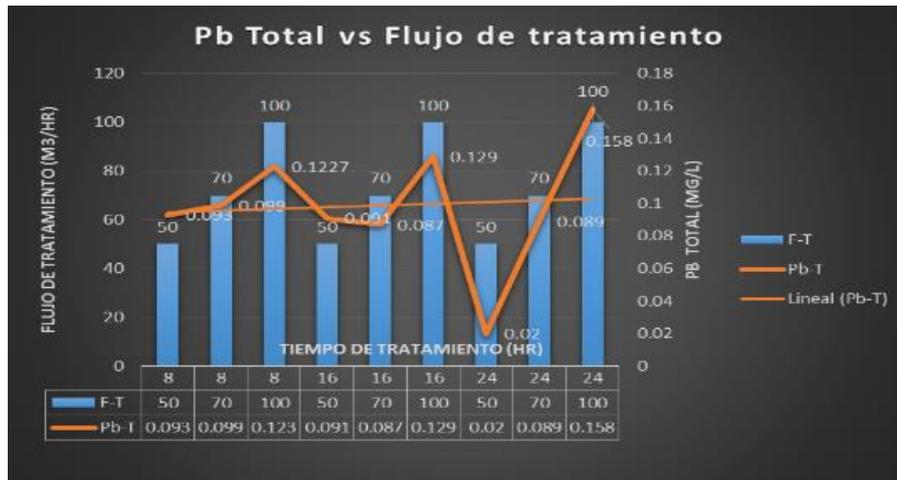
PRUEBA	TIEMPO (h)	FLUJO (m3/h)	Pb DISUELTO EN LA SALIDA DEL TRATAMIENTO mg/L	Pb TOTAL EN LA SALIDA DEL TRATAMIENTO mg/L
1	8	50	0.093	0.093
2	8	70	0.029	0.099
3	8	100	0.121	0.1227
4	16	50	0.073	0.091
5	16	70	0.02	0.087
6	16	100	0.113	0.129
7	24	50	0.033	0.02
8	24	70	0.089	0.089
9	12	100	0.161	0.158

Fuente: Elaboración Propia



GRAFICA N° 4.17: Plomo disuelto a la salida del tratamiento en función al flujo de tratamiento (m3/h) en PTARE en determinado espacio de tiempo (h) - Fuente: Elaboración Propia

La elección de variables con mejores resultados fue la prueba N° 9 con un flujo de 100 m3 en un tiempo de 24 horas logrando observar el contenido de Plomo Disuelto de 0.161 mg/l en la salida de la solución al finalizar el tratamiento ya que cumple con los límites máximos permisibles.



GRAFICA N° 4.18: Plomo Total a la salida del tratamiento en función al flujo de tratamiento (m3/h) en PTARE en determinado espacio de tiempo (h) - Fuente: Elaboración Propia

la elección de variables con mejores resultados fue la prueba N° 9 con un flujo de 100 m3 en un tiempo de 24 horas logrando observar el contenido de Plomo Total de 0.158 mg/l en la salida de la solución al finalizar el tratamiento ya que cumple con los límites máximos permisibles.

PRUEBA DE VARIACION DE ZINC DISUELTO Y TOTAL A LA SALIDA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS.

Las variables para esta prueba son las siguientes:

Tiempo (Duración del proceso de tratamiento).

- Mínimo: 12 horas.
- Intermedio: 8 horas
- Máximo: 24 horas.

Metros cúbicos de solución tratada en el proceso de tratamiento de aguas.

- Mínimo: 50 m3/h.
- intermedio: 70 m3/h.
- Máximo: 100 m3/h.

Según el Diseño Experimental de Pruebas (Método Taguchi) se obtiene lo siguiente:

$$L_9 = (3)^2$$

LEYES DE ZINC AL INGRESO DE SOLUCION A PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS

TABLA N° 4.44

DIA 1 leyes de Zinc Disuelto y Total al ingreso al tratamiento a un determinado Ph en el primer día de las pruebas experimentales

N°	HORA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	METALES DISUELTOS	METALES TOTALES	PH
			Zn (mg/L)	Zn (mg/L)	
1	PTARE 08:00 AM	INGRESO			9.62
			0.290	0.320	
2	PTARE 16:00 PM	INGRESO			9.61
			0.288	0.302	
3	PTARE 00:00 PM	INGRESO			9.62
			0.197	0.220	

Fuente: Área de Laboratorio y análisis químico

TABLA N° 4.45

DIA 2 leyes de Zinc Disuelto y Total al ingreso al tratamiento a un determinado Ph en el segundo día de las pruebas experimentales

N°	HORA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	METALES DISUELTOS	METALES TOTALES	PH
			Zn (mg/L)	Zn (mg/L)	
1	PTARE 08:00 AM	INGRESO			10.25
			0.171	0.277	
2	PTARE 16:00 PM	INGRESO			10.25
			0.167	0.257	
3	PTARE 00:00 PM	INGRESO			10.25
			0.176	0.234	

Fuente: Área de Laboratorio y análisis químico

TABLA N° 4.46

DIA 3 leyes de Zinc Disuelto y Total al ingreso al tratamiento a un determinado Ph en el tercer día de las pruebas experimentales.

N°	HORA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	METALES DISUELTOS	METALES TOTALES	PH
			Zn (mg/L)	Zn (mg/L)	
1	PTARE 08:00 AM	INGRESO			10.23
			0.187	0.229	
2	PTARE 16:00 PM	INGRESO			10.23
			0.160	0.198	
3	PTARE 00:00 PM	INGRESO			10.23
			0.155	0.190	

Fuente: Área de Laboratorio y análisis químico

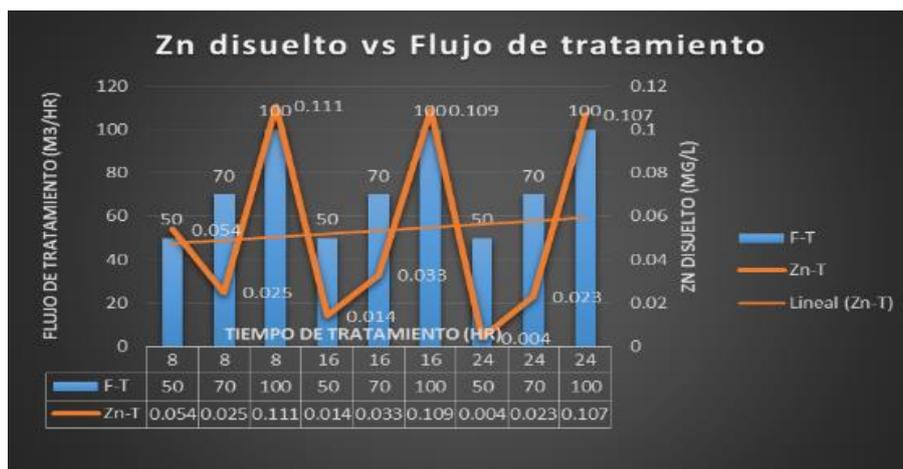
ZINC DISUELTO Y ZINC TOTAL EN LA SALIDA DE LA SOLUCION TRATADA

TABLA N° 4.47

Leyes Zinc Disuelto y Total a la salida del tratamiento en función al flujo tratado en un determinado periodo de tiempo.

PRUEBA	TIEMPO (h)	FLUJO(m3/h)	Zn DISUELTO EN LA SALIDA DEL TRATAMIENTO mg/L	Zn TOTAL EN LA SALIDA DEL TRATAMIENTO mg/L)
1	8	50	0.054	0.057
2	8	70	0.025	0.079
3	8	100	0.111	0.138
4	16	50	0.014	0.056
5	16	70	0.033	0.068
6	16	100	0.109	0.113
7	24	50	0.004	0.064
8	24	70	0.023	0.051
9	12	100	0.107	0.107

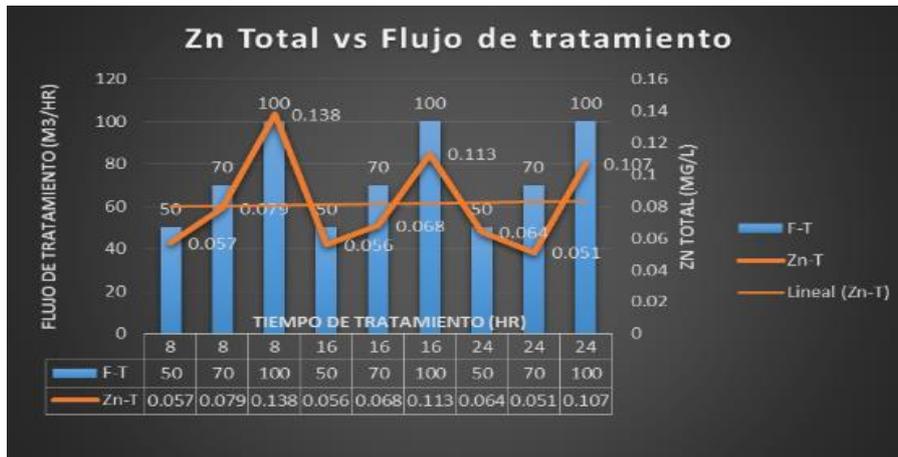
Fuente: Elaboración Propia



GRAFICA N° 4.19: Zinc disuelto a la salida del tratamiento en función al flujo de tratamiento (m3/h) en PTARE en determinado espacio de tiempo (h)- Fuente: Elaboración

Propia

la elección de variables con mejores resultados fue la prueba N° 9 con un flujo de 100 m3 en un tiempo de 24 horas logrando observar la disminución del contenido de Zinc Disuelto de 0.107 mg/l en la salida de la solución al finalizar el tratamiento ya que cumple con los límites máximos permisibles.



GRAFICA N° 4.20: Zinc Total a la salida del tratamiento en función al flujo de tratamiento (m3/h) en PTARE en determinado espacio de tiempo (h) - Fuente: Elaboración Propia

la elección de variables con mejores resultados fue la prueba N° 9 con un flujo de 100 m3 en un tiempo de 24 horas logrando observar la disminución del contenido de Zinc Total de 0.107 mg/l en la salida de la solución al finalizar el tratamiento ya que cumple con los límites máximos permisibles.

PRUEBA DE VARIACION DE CIANURO TOTAL A LA SALIDA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS.

Las variables para esta prueba son las siguientes:

Tiempo (Duración del proceso de tratamiento).

- Mínimo: 12 horas.
- Intermedio: 8 horas
- Máximo: 24 horas.

Metros cúbicos de solución tratada en el proceso de tratamiento de aguas.

- Mínimo: 50 m3/h.
- intermedio: 70 m3/h.
- Máximo: 100 m3/h.

Según el Diseño Experimental de Pruebas (Método Taguchi) se obtiene lo siguiente:

$$L_9 = (3)^2$$

LEYES DE CIANURO TOTAL LEYES DE ZINC AL INGRESO DE SOLUCION A PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS

TABLA N° 4.48

DIA 1 leyes de Cianuro Total al ingreso al tratamiento a un determinado Ph en el primer día de las pruebas experimentales.

N°	HORA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	METALES TOTALES	PH
			CN (ppm)	
1	PTARE 08:00 AM	INGRESO	11.520	9.62
2	PTARE 16:00 PM	INGRESO	11.152	9.61
3	PTARE 00:00 PM	INGRESO	10.328	9.62

Fuente: Área de Laboratorio y análisis químico

TABLA N° 4.49

DIA 2 leyes de Cianuro Total al ingreso al tratamiento a un determinado Ph en el segundo día de las pruebas experimentales.

N°	HORA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	METALES TOTALES	PH
			CN (ppm)	
1	PTARE 08:00 AM	INGRESO	6.900	10.25
2	PTARE 16:00 PM	INGRESO	6.735	10.25
3	PTARE 00:00 PM	INGRESO	6.611	10.25

Fuente: Área de Laboratorio y análisis químico

TABLA N° 4.50

DIA 3 leyes de Cianuro Total al ingreso al tratamiento a un determinado Ph en el tercer día de las pruebas experimentales

N°	HORA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	METALES TOTALES	PH
			CN (ppm)	
1	PTARE 08:00 AM	INGRESO	8.251	10.23
2	PTARE 16:00 PM	INGRESO	7.100	10.23
3	PTARE 00:00 PM	INGRESO	5.510	10.23

Fuente: Área de Laboratorio y análisis químico

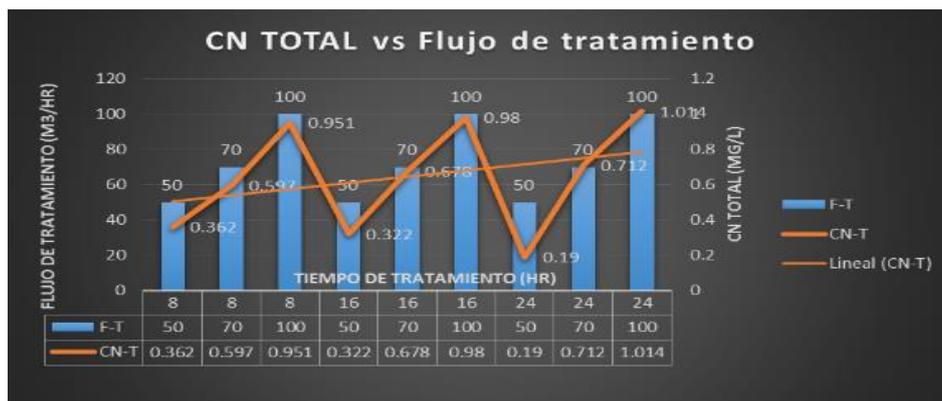
CIANURO TOTAL EN LA SALIDA DE LA SOLUCION TRATADA

TABLA N° 4.51

Leyes CianuroTotal a la salida del tratamiento en función al flujo tratado en un determinado periodo de tiempo.

PRUEBA	TIEMPO (h)	FLUJO (m3/h)	CN TOTAL EN LA SALIDA DEL TRATAMIENTO ppm
1	8	50	0.362
2	8	70	0.597
3	8	100	0.951
4	16	50	0.322
5	16	70	0.678
6	16	100	0.980
7	24	50	0.190
8	24	70	0.712
9	12	100	1.014

Fuente: Elaboración Propia



GRAFICA N° 4.21: Cianuro Total a la salida del tratamiento en función al flujo de tratamiento (m3/h) en PTARE en determinado espacio de tiempo (h) - Fuente: Elaboración

Propia

La elección de variables con mejores resultados fue la prueba N° 6 con un flujo de 100 m3 en un tiempo de 16 horas logrando observar el contenido de cianuro total de 0.98 ppm en la salida de la solución al finalizar el tratamiento ya que cumple con los límites máximos permisibles.

4.3. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Los datos obtenidos en el proceso de tratamiento de aguas de relave de la planta PTARE son: RESULTADOS COBRE OBTENIDO LUEGO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS EN EL DESARROLLO EXPERIMENTAL.

Tabla N° 4.52

Leyes de cobre disuelto y total al ingreso al tratamiento vs Leyes de cobre disuelto y total a la salida del tratamiento

TIEMPO (h)	DIA	FLUJO (m3/h)	LEY DE COBRE DISUELTO EN INGRESO AL TRATAMIENTO DE PLANTA PTARE (mg/L)	LEY DE COBRE TOTAL EN INGRESO AL TRATAMIENTO DE PLANTA PTARE (mg/L)	LEY DE COBRE DISUELTO A LA SALIDA DEL TRATAMIENTO (mg/L)	LEY DE COBRE TOTAL A LA SALIDA DEL TRATAMIENTO (mg/L)
8	1	50	12.190	12.310	0.107	0.100
16		50	12.419	12.730	0.093	0.060
24		50	12.678	12.990	0.071	0.051
8	2	70	13.210	13.420	0.276	0.170
16		70	13.190	13.942	0.246	0.139
24		70	13.123	14.000	0.199	0.110
8	3	100	12.700	12.781	0.561	0.560
16		100	12.655	12.630	0.542	0.512
24		100	12.540	12.210	0.533	0.501

Fuente: Elaboración Propia



GRAFICA N° 4.22: Leyes de cobre disuelto al ingreso al tratamiento vs Leyes de cobre disuelto a la salida del tratamiento - Fuente: Elaboración Propia



GRAFICA N° 4.23: Leyes de cobre total al ingreso al tratamiento (mg/l) vs Leyes de cobre total a la salida del tratamiento (mg/l) - Fuente: Elaboración Propia

RESULTADOS MANGANESO OBTENIDO LUEGO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS EN EL DESARROLLO EXPERIMENTAL.

Tabla N° 4.53

Leyes de Manganeso disuelto y total al ingreso al tratamiento vs Leyes de Manganeso disuelto y total a la salida del tratamiento

TIEMPO (h)	DIA	FLUJO (m³/h)	LEY DE MANGANESO DISUELTO EN INGRESO AL TRATAMIENTO DE PLANTA PTARE (mg/L)	LEY DE MANGANESO TOTAL EN INGRESO AL TRATAMIENTO DE PLANTA PTARE (mg/L)	LEY DE MANGANESO DISUELTO A LA SALIDA DEL TRATAMIENTO (mg/L)	LEY DE MANGANESO TOTAL A LA SALIDA DEL TRATAMIENTO (mg/L)
8	1	50	0.25	0.22	0.031	0.036
16		50	0.22	0.20	0.021	0.03
24		50	0.30	0.25	0.016	0.02
8	2	70	0.18	0.20	0.051	0.066
16		70	0.18	0.20	0.051	0.057
24		70	0.12	0.19	0.044	0.042
8	3	100	0.13	0.19	0.127	0.126
16		100	0.11	0.18	0.12	0.109
24		100	0.11	0.11	0.114	0.114

Fuente: Elaboración Propia



GRAFICA N° 4.24: Leyes de manganeso disuelto al ingreso al tratamiento (mg/l) vs Leyes de manganeso disuelto a la salida del tratamiento (mg/l) - Fuente: Elaboración Propia



GRAFICA N° 4.25: Leyes de manganeso total al ingreso al tratamiento (mg/l) vs Leyes de manganeso total a la salida del tratamiento (mg/l) - Fuente: Elaboración Propia

RESULTADOS FIERRO OBTENIDO LUEGO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS EN EL DESARROLLO EXPERIMENTAL

Tabla N° 4.54

Leyes de Fierro disuelto y total al ingreso al tratamiento vs Leyes de Fierro disuelto y total a la salida del tratamiento.

TIEMPO (h)	DIA	FLUJO (m3/h)	LEY DE FIERRO DISUELTO EN INGRESO AL TRATAMIENTO DE PLANTA PTARE (mg/L)	LEY DE FIERRO TOTAL EN INGRESO AL TRATAMIENTO DE PLANTA PTARE (mg/L)	LEY DE FIERRO DISUELTO A LA SALIDA DEL TRATAMIENTO (mg/L)	LEY DE FIERRO TOTAL A LA SALIDA DEL TRATAMIENTO (mg/L)
8	1	50	0.24	0.23	0.15	0.138
16		50	0.25	0.26	0.18	0.118
24		50	0.20	0.27	0.144	0.112
8	2	70	0.27	0.26	0.139	0.175
16		70	0.23	0.26	0.129	0.161
24		70	0.23	0.22	0.12	0.111
8	3	100	0.28	0.29	0.279	0.23
16		100	0.28	0.28	0.271	0.216
24		100	0.25	0.23	0.194	0.211

Fuente: Elaboración Propia



GRAFICA N° 4.26: Leyes de Fierro disuelto al ingreso al tratamiento (mg/l) vs Leyes de Fierro disuelto a la salida del tratamiento (mg/l) - Fuente: Elaboración Propia



GRAFICA N° 4.27: Leyes de Hierro total al ingreso al tratamiento (mg/l) vs Leyes de Hierro total a la salida del tratamiento (mg/l) - Fuente: Elaboración Propia

RESULTADOS PLOMO OBTENIDO LUEGO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS EN EL DESARROLLO EXPERIMENTAL

Tabla N° 4.55

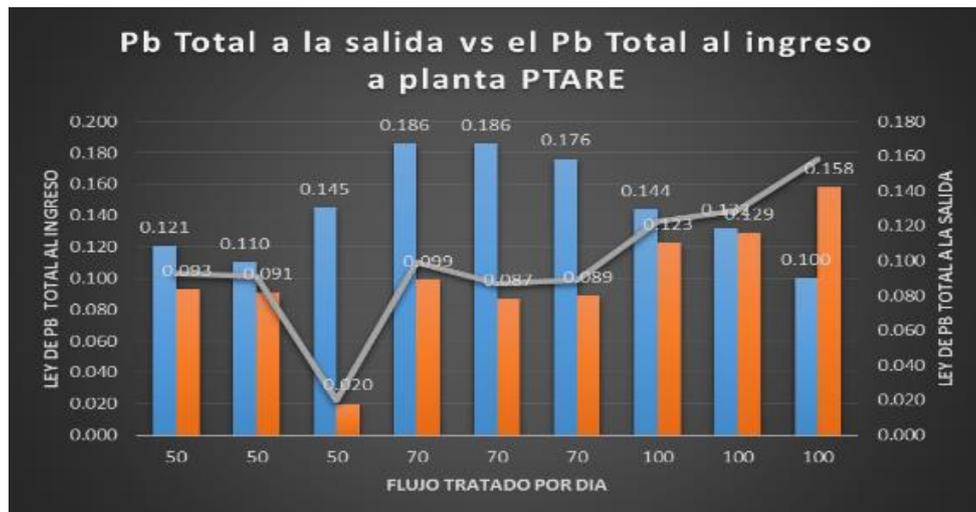
Leyes de Plomo disuelto y total al ingreso al tratamiento vs Leyes de Plomo disuelto y total a la salida del tratamiento

TIEMPO (h)	DIA	FLUJO (m³/h)	LEY DE PLOMO DISUELTO EN INGRESO AL TRATAMIENTO DE PLANTA PTARE (mg/L)	LEY DE PLOMO TOTAL EN INGRESO AL TRATAMIENTO DE PLANTA PTARE (mg/L)	LEY DE PLOMO DISUELTO A LA SALIDA DEL TRATAMIENTO (mg/L)	LEY DE PLOMO TOTAL A LA SALIDA DEL TRATAMIENTO (mg/L)
8	1	50	0.190	0.121	0.093	0.093
16		50	0.159	0.110	0.073	0.091
24		50	0.147	0.145	0.033	0.020
8	2	70	0.187	0.186	0.029	0.099
16		70	0.183	0.186	0.020	0.087
24		70	0.186	0.176	0.089	0.089
8	3	100	0.175	0.144	0.121	0.123
16		100	0.143	0.132	0.113	0.129
24		100	0.102	0.100	0.161	0.158

Fuente: Elaboración Propia



GRAFICA N° 4.28: Leyes de Plomo disuelto al ingreso al tratamiento (mg/l) vs Leyes de Plomo disuelto a la salida del tratamiento (mg/l) - Fuente: Elaboración Propia



GRAFICA N° 4.29: Leyes de Plomo total al ingreso al tratamiento (mg/l) vs Leyes de Plomo total a la salida del tratamiento (mg/l) - Fuente: Elaboración Propia

RESULTADOS ZINC OBTENIDO LUEGO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS EN EL DESARROLLO EXPERIMENTAL.

Tabla N° 4.56

Leyes de Zinc disuelto y total al ingreso al tratamiento vs Leyes de Zinc disuelto y total a la salida del tratamiento

TIEMPO (h)	DIA	FLUJO (m3/h)	LEY DE ZINC DISUELTO EN INGRESO AL TRATAMIENTO DE PLANTA PTARE (mg/L)	LEY DE ZINC TOTAL EN INGRESO AL TRATAMIENTO DE PLANTA PTARE (mg/L)	LEY DE ZINC DISUELTO A LA SALIDA DEL TRATAMIENTO (mg/L)	LEY DE ZINC TOTAL A LA SALIDA DEL TRATAMIENTO (mg/L)
8	1	50	0.290	0.320	0.054	0.057
16		50	0.288	0.302	0.014	0.056
24		50	0.197	0.220	0.004	0.064
8	2	70	0.171	0.277	0.025	0.079
16		70	0.167	0.257	0.033	0.068
24		70	0.176	0.234	0.023	0.051
8	3	100	0.187	0.229	0.111	0.138
16		100	0.160	0.198	0.109	0.113
24		100	0.155	0.190	0.107	0.107

Fuente: Elaboración Propia



GRÁFICA N° 4.30: Leyes de Zinc disuelto al ingreso al tratamiento (mg/l) vs Leyes de Zinc disuelto a la salida del tratamiento (mg/l) - Fuente: Elaboración Propia



GRÁFICA N° 4.31: Leyes de Zinc total al ingreso al tratamiento (mg/l) vs Leyes de Zinc total a la salida del tratamiento (mg/l) - Fuente: Elaboración Propia

RESULTADOS CIANURO TOTAL OBTENIDO LUEGO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS EN EL DESARROLLO EXPERIMENTAL.

Tabla N° 4.57

Ley de Cianuro total al ingreso al tratamiento vs Ley de cianuro total a la salida del tratamiento.

TIEMPO (h)	DIA	FLUJO (m³/h)	LEY DE CIANURO TOTAL AL INGRESO DEL TRATAMIENTO DE PLANTA PTARE (ppm)	LEY DE CIANURO TOTAL A LA SALIDA DEL TRATAMIENTO (ppm)
8	1	50	11.520	0.362
16		50	11.152	0.322
24		50	10.328	0.190
8	2	70	6.900	0.597
16		70	6.735	0.678
24		70	6.611	0.712
8	3	100	8.251	0.951
16		100	7.100	0.980
24		100	5.510	1.014

Fuente: Elaboración Propia



GRÁFICA N° 4.32: Leyes de Cianuro total al ingreso al tratamiento (ppm) vs Leyes de cianuro total a la salida del tratamiento (ppm) - Fuente: Elaboración Propia

4.4. EVALUACIÓN Y ANALISIS DE RESULTADOS

RESULTADOS NEGATIVOS

Los resultados obtenidos nos ayuda a determinar el flujo adecuado de tratamiento de aguas de relave en PTARE sin la variación de reactivos, ya que las pruebas desarrolladas nos indican que casi la totalidad de resultados en cuanto a las leyes de salida del tratamiento están dentro de los límites máximos permisibles con excepción de las pruebas N° 3, N° 6 Y N° 9 para la obtención de Cobre Disuelto y Cobre total, obteniéndose resultados que están por encima de los LMP, descartando los demás resultados de las pruebas realizadas a un flujo de tratamiento de 100 m³, ya que no asegura un adecuado tratamiento de aguas de relave.

TABLA N° 4.58

Resultados de pruebas 3, 6, 9 que exceden el LMP en cobre disuelto y total al salir del tratamiento de aguas de relaves

N° DE PRUEBA	TIEMPO (h)	FLUJO (m3/h)	LEY DE COBRE DISUELTO EN INGRESO AL TRATAMIENTO DE PLANTA PTARE (mg/L)	LEY DE COBRE TOTAL EN INGRESO AL TRATAMIENTO DE PLANTA PTARE (mg/L)	LEY DE COBRE DISUELTO A LA SALIDA DEL TRATAMIENTO (mg/L)	LEY DE COBRE TOTAL A LA SALIDA DEL TRATAMIENTO (mg/L)	LEY DE COBRE TOTAL A LA SALIDA DEL TRATAMIENTO LMP (mg/L)
3	8	100	12.700	12.781	0.561	0.560	0.500
6	16	100	12.655	12.630	0.542	0.512	0.500
9	24	100	12.540	12.210	0.533	0.501	0.500

Fuente: Elaboración Propia

Así mismo observamos en el resultado de la prueba N° 9 para la obtención de cianuro total se encuentra por encima de los Límites máximos permisibles (1 ppm) con lo cual se concuerda y descarta las pruebas ejecutadas a 100 m3 /hr

TABLA N° 4.59

Resultados de prueba 9 que excede el LMP en la cantidad de cianuro Total al salir de tratamiento de aguas de relaves

PRUEBA N° 9	TIEMPO (h)	FLUJO (m3/h)	LEY DE CIANURO TOTAL AL INGRESO DEL TRATAMIENTO DE PLANTA PTARE (ppm)	LEY DE CIANURO TOTAL A LA SALIDA DEL TRATAMIENTO (ppm)	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE DE CIANURO TOTAL (ppm)
	24	100	5.510	1.014	1.000

Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto se llega a observar que a un flujo de 100 m3/Hr en cualquiera de los tiempos seleccionados no cumpliría las condiciones necesarias para ejecutar el tratamiento de aguas de relaves a este flujo. Por otro lado observaremos buenos resultados en todas las demás pruebas.

RESULTADOS POSITIVOS

Los resultados obtenidos en las pruebas N°1, N°2, N°4, N°5, N°7, N° 8 serán positivas al momento de obtener una solución con los límites máximos permisibles dentro de los parámetros de operación.

PRUEBAS; N°1, N°4, N°7 TRATAMIENTO DE 50 m³/hr.

TABLA N° 4.60

Resultados de las pruebas 1, 4, 7 que están dentro de los LMP en valores de cobre y manganeso disueltos y total después del tratamiento de aguas de relave.

PRUEBA	TIEMPO (h)	FLUJO (m ³ /h)	COBRE DISUELT O A LA SALIDA (mg/L)	COBRE TOTAL A LA SALIDA (mg/L)	LMP Cu (mg/L)	MANGANESO DISUELT O A LA SALIDA (mg/L)	MANGANESO TOTAL A LA SALIDA (mg/L)	LMP Mn (mg/L)
1	8	50	0.107	0.100	0.500	0.031	0.036	-----
4	16	50	0.093	0.060		0.021	0.030	
7	24	50	0.071	0.051		0.016	0.020	

Fuente: Elaboración Propia

TABLA N° 4.61

Resultados de las pruebas 1, 4, 7 que están dentro de los LMP en valores de hierro y plomo disueltos y total después del tratamiento de aguas de relave

PRUEBA	TIEMPO (h)	FLUJO (m ³ /h)	FIERRO DISUELT O A LA SALIDA (mg/L)	FIERRO TOTAL A LA SALIDA (mg/L)	LMP Fe (mg/L)	PLOMO DISUELT O A LA SALIDA (mg/L)	PLOMO TOTAL A LA SALIDA (mg/L)	LMP Pb (mg/L)
1	8	50	0.150	0.138	2.000	0.093	0.093	0.200
4	16	50	0.180	0.118		0.073	0.091	
7	24	50	0.144	0.112		0.033	0.020	

Fuente: Elaboración Propia

TABLA N° 4.62

Resultados de las pruebas 1, 4,7 que están dentro de los LMP en valores de zinc disuelto y total; cianuro total después del tratamiento de aguas de relave.

PRUEBA	TIEMPO (h)	FLUJO (m3/h)	ZINC DISUELT O A LA SALIDA (mg/L)	ZINC TOTAL A LA SALIDA (mg/L)	LMP Zn (mg/L)	CIANURO TOTAL A LA SALIDA (ppm)	LMP CN (mg/L)
1	8	50	0.054	0.057	1.500	0.362	1.000
4	16	50	0.014	0.056		0.322	
7	24	50	0.004	0.064		0.190	

Fuente: Elaboración Propia

PRUEBAS; N°2, N°5, N°8 TRATAMIENTO DE 70 m3/hr.

TABLA N° 4.63

Resultados de las pruebas 2, 5, 8 que están dentro de los LMP en valores de cobre y manganeso disuelto y total después del tratamiento de aguas de relave. -

PRUEBA	TIEMPO (h)	FLUJO (m3/h)	COBRE DISUELT O A LA SALIDA (mg/L)	COBRE TOTAL A LA SALIDA (mg/L)	LMP Cu (mg/L)	MANGANESO DISUELT O A LA SALIDA (mg/L)	MANGANESO TOTAL A LA SALIDA (mg/L)	LMP Mn (mg/L)
2	8	70	0.276	0.170	0.500	0.051	0.066	-----
5	16	70	0.246	0.139		0.051	0.057	
8	24	70	0.199	0.110		0.044	0.042	

Fuente: Elaboración Propia

TABLA N° 4.64

Resultados de las pruebas 2,5,8 que están dentro de los LMP en valores de fierro y plomo disuelto y total después del tratamiento de aguas de relave.

PRUEBA	TIEMPO (h)	FLUJO (m3/h)	FIERRO DISUELT O A LA SALIDA (mg/L)	FIERRO TOTAL A LA SALIDA (mg/L)	LMP Fe (mg/L)	PLOMO DISUELT O A LA SALIDA (mg/L)	PLOMO TOTAL A LA SALIDA (mg/L)	LMP Pb (mg/L)
2	8	70	0.139	0.175	2.000	0.029	0.099	0.200
5	16	70	0.129	0.161		0.020	0.087	
8	24	70	0.120	0.111		0.089	0.089	

Fuente: Elaboración Propia

TABLA N° 4.65

Resultados de las pruebas 2, 5, 8 que están dentro de los LMP en valores de zinc disuelto y total; cianuro total después del tratamiento de aguas de relave

PRUEBA	TIEMPO (h)	FLUJO (m3/h)	ZINC DISUELT O A LA SALIDA (mg/L)	ZINC TOTAL A LA SALIDA (mg/L)	LMP Zn (mg/L)	CIANURO TOTAL A LA SALIDA (ppm)	LMP CN (mg/L)
2	8	70	0.025	0.079	1.500	0.597	1.000
5	16	70	0.033	0.068		0.678	
8	24	70	0.023	0.051		0.712	

Fuente: Elaboración Propia

Realizando una comparativa por el tema de tratamiento de flujo adecuado para generar una mayor cantidad de solución tratada que esté de acuerdo a la cantidad de reactivos utilizados con la finalidad de reducir el tiempo de exposición del personal a factores contaminantes por parte de reactivos determinaremos que el flujo optimo a tratar es de 70 m3/Hr para este mes aplicando una escala de tratamiento adecuado, siempre que se den las condiciones casi uniformes en las leyes Cu, Mn, Fe, Pb, Zn y CN al ingreso del tratamiento de planta PTARE.

TABLA N° 4.66

Cuadro Resumen de resultados de las leyes de metales obtenidas en el tratamiento de aguas que cumplen con los límites máximos permisibles requeridos por el MINAM en el D.S. 010 – 2010

TIEMPO (h)	DIA	FLUJO (m3/h)	LEY DE COBRE TOTAL EN INGRESO AL TRATAMIENTO DE PLANTA PTARE (mg/L)	LEY DE COBRE TOTAL A LA SALIDA DEL TRATAMIENTO (mg/L)	LEY DE COBRE TOTAL LIMITE MAXIMO PERMISIBLE (mg/L)
24	1	50	12.990	0.051	0.5
24	2	70	14.000	0.110	0.5
TIEMPO (h)	DIA	FLUJO (m3/h)	LEY DE MANGANESO TOTAL EN INGRESO AL TRATAMIENTO DE PLANTA PTARE (mg/L)	LEY DE MANGANESO TOTAL A LA SALIDA DEL TRATAMIENTO (mg/L)	LEY DE MANGANESO TOTAL LIMITE MAXIMO PERMISIBLE (mg/L)
24	1	50	0.246	0.020	---
24	2	70	0.191	0.042	---
TIEMPO (h)	DIA	FLUJO (m3/h)	LEY DE FIERRO DISUELTO EN INGRESO AL TRATAMIENTO DE PLANTA PTARE (mg/L)	LEY DE FIERRO DISUELTO A LA SALIDA DEL TRATAMIENTO (mg/L)	LEY DE FIERRO DISUELTO LIMITE MAXIMO PERMISIBLE (mg/L)
24	1	50	0.20	0.144	2
24	2	70	0.23	0.12	2
TIEMPO (h)	DIA	FLUJO (m3/h)	LEY DE PLOMO TOTAL EN INGRESO AL TRATAMIENTO DE PLANTA PTARE (mg/L)	LEY DE PLOMO TOTAL A LA SALIDA DEL TRATAMIENTO (mg/L)	LEY DE PLOMO TOTAL LIMITE MAXIMO PERMISIBLE (mg/L)
24	1	50	0.145	0.020	0.2
24	2	70	0.176	0.089	0.2
TIEMPO (h)	DIA	FLUJO (m3/h)	LEY DE ZINC TOTAL EN INGRESO AL TRATAMIENTO DE PLANTA PTARE (mg/L)	LEY DE ZINC TOTAL A LA SALIDA DEL TRATAMIENTO (mg/L)	LEY DE ZINC TOTAL LIMITE MAXIMO PERMISIBLE (mg/L)
24	1	50	0.220	0.064	1.5
24	2	70	0.234	0.051	1.5
TIEMPO (h)	DIA	FLUJO (m3/h)	LEY DE CIANURO TOTAL EN INGRESO AL TRATAMIENTO DE PLANTA PTARE (mg/L)	LEY DE CIANURO TOTAL A LA SALIDA DEL TRATAMIENTO (mg/L)	LEY DE CIANURO TOTAL LIMITE MAXIMO PERMISIBLE (mg/L)
24	1	50	10.328	0.190	1
24	2	70	6.611	0.712	1

Fuente: Elaboración Propia

Logrando así un tratamiento de aguas de relaves correcto, óptimo y ambientalmente responsable, consiguiendo una mejora en la planta PTARE, que se refleja en los costos de operación unitarios.

Mostraremos una diferencia entre los costos de los 2 últimos meses.

COSTOS DE TRATAMIENTO EN EL MES DE FEBRERO.

TABLA N° 4.67

Costos de tratamiento de aguas en PTARE – MES DE FEBRERO

Costo PTARE FEBRERO 2020							25 DIAS TRABAJADOS		
ITEM	Consumo		Costo Unitario		Costo Total		Reactivo consumido por día	Reactivo consumido por hora	Unidades
Caudal	11320	m3						18.87	M3
Peróxido de hidrogeno	61352	kg	1	USD / kg	61352.4	USD	102.25	79.27	L/HR
Hidrosulfuro de Sodio	2610	kg	0.76	USD / kg	1983.6	USD	104.40	4.35	KG/HR
Cal	8217	kg	0.13	USD / kg	1068.2	USD	328.66	13.69	KG/HR
Floculante	50	kg	4.67	USD / kg	235.6	USD	2.02	0.08	KG/HR
Cloruro Férrico	3086	kg	0.5	USD / kg	1542.8	USD	123.42	5.14	KG/HR
Energía eléctrica	5760	KW	0.084	USD / KW	483.8	USD			
Mano de obra	3	Obreros	970	Obrero	2910.0	USD			
Costo unitario de tratamiento					6.1	USD			/ m3

Podremos observar que los días trabajados en el mes de febrero del presente año son 25 días y el flujo tratado solamente es de 11320 m3 al mes de febrero con un costo operativo de 6.1 dólares/m3.

COSTOS DE TRATAMIENTO EN EL MES DE MARZO.

TABLA N° 4.68

Costos de tratamiento de aguas en PTARE – MES DE MARZO

Costo PTARE MARZO 2020						26 DIAS TRABAJADOS			
ITEM	Consumo		Costo Unitario		Costo Total	Reactivo consumido por día	Reactivo consumido por hora	Unidades	
Caudal	43680	m3					70.00	M3	
Peróxido de hidrogeno	69227	kg	1	USD / kg	69226.6	USD	110.94	86.00	L/HR
Hidrosulfuro de Sodio	2610	kg	0.76	USD / kg	1983.6	USD	100.38	4.18	KG/HR
Cal	12480	kg	0.13	USD / kg	1622.4	USD	480.00	20.00	KG/HR
Floculante	50	kg	4.67	USD / kg	235.6	USD	1.94	0.08	KG/HR
Cloruro Férrico	4443	kg	0.5	USD / kg	2221.4	USD	170.88	7.12	KG/HR
Energía eléctrica	5760	KW	0.084	USD / KW	483.8	USD			
Mano de obra	3	Obreros	970	Obrero	2910.0	USD			
Costo unitario de tratamiento					1.8	USD / m3			

Podremos observar que los días trabajados en el mes de marzo del presente año son 26 días y el flujo tratado solamente es de 43680 m3 al mes de marzo con un costo operativo de 1.8 dólares/m3.

Mediante esta comparativa podremos observar que los resultados obtenidos en la planta de tratamiento de aguas al elevar el flujo de tratamiento con el desarrollo de las pruebas experimentales han logrado resultados positivos para el ahorro de costos unitarios en el tratamiento

Ya que mediante la estabilización de parámetros de operación y el aumento del flujo de a 70 m3 tratados actualmente en planta PTARE, nos da una evaluación optima en cuanto a un tratamiento continuo subiendo el tratamiento en 50 m3/h sin perder la estabilidad de planta logrando una solución que cumpla con los estándares y los Límites Máximos

Permisibles que se necesitan para poder realizar el vertimiento o poder reutilizar el agua tratada para otras actividades como es el riego de vías

Ambientalmente se logra obtener la cantidad adecuada de metales en la solución tratada para poder reutilizar en el riego de vías o para el desarrollo de vertimiento sin generar un impacto ambiental negativo que pueda dañar los ecosistemas que colindan con las operaciones mineras y que necesitan un recurso hídrico adecuado.

CONCLUSIONES

PRIMERA: Se identificó un tiempo de residencia óptimo en la etapa de neutralización de 23.57 minutos, en la etapa de oxidación de 47.14 minutos; en la etapa de reducción de 23.57 minutos; en la etapa de coagulación de 23.57 minutos. Todos estos tiempos son considerados en el tratamiento de 70m³/hr de agua tratada. (Ver Tabla N° 4.24: Tiempo de residencia en cada proceso de tratamiento de aguas PAG. 79)

SEGUNDO: Se logró establecer mediante pruebas el flujo adecuado en el tratamiento de agua de relaves, obteniendo buenos resultados con el tratamiento de agua en un flujo de 50m³/h y 70m³/h durante el tratamiento. (Ver Tabla N° 4.66: Cuadro Resumen de resultados de las leyes de metales obtenidas en el tratamiento de aguas que cumplen con los límites máximos permisibles requeridos por el MINAM en el D.S. 010 – 2010 PAG. 124)

TERCERO: Se obtuvo el rango óptimo dentro de los límites máximos permisibles en la precipitación de metales como Cobre, Manganeso, Fierro, Plomo, Zinc. Así mismo en la destrucción de los complejos de cianuros formados en la solución de aguas de relaves. (Ver Tabla N° 4.66: Cuadro Resumen de resultados de las leyes de metales obtenidas en el tratamiento de aguas que cumplen con los límites máximos permisibles requeridos por el MINAM en el D.S. 010 – 2010 PAG. 124)

CUARTA: Se ha determinado la influencia del flujo de tratamiento de aguas de relaves en los costos operativos de planta PTARE, mediante la reducción costo unitario del proceso en el mes de marzo al aumentar el flujo de tratamiento de 20 m³/hr tratados en el mes de Febrero a 70 m³/h tratados en el mes de Marzo, logrando obtener un ahorro de 4.3 dólares/m³ que ascienden a un total de 32360 dólares ahorrados en la planta PTARE. (Ver Tabla N° 4.68: Costos de tratamiento de aguas en PTARE – MES DE MARZO PAG. 126)

QUINTA: Se ha logrado obtener una solución tratada que cumpla con todos los límites máximos permisibles y al mismo tiempo la reutilización del recurso hídrico para el riego de la relavera, para reducir la formación de polvo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Manual de Procedimientos de Análisis de Agua Volumen 1, Análisis Bacteriológico, Físicos y Químicos, SUNASS.
2. Teoría y Práctica de Purificación de Agua, Jorge Arboleda Valencia.
3. Misari, Fidel S. "Metalurgia del Oro". Editorial Cepect. (1993).
4. Glynn, Henry & Gary, Heinke. "Ingeniería Ambiental". Editorial Prentice Hall. (1996).
5. Levenspiel, Octave "Ingeniería de las Reacciones Químicas". Editorial Reverté. (1992).
5. T.W. Higgs Associates Ltd. "Technical Guide for the Environmental Management of Cyanide in Mining". British Columbia Technical and Research Comité on Reclamation. (1997).
6. Fresenius, W; Scheider, W; Bohnke, P; Poppinhaus, K; 1991. Manual de Disposición de Aguas Residuales, Origen, Descargas, Tratamiento y Análisis de las Aguas Residuales, CEPIS-LIMA.
7. Ingeniería de detalle de la planta de tratamiento de agua del depósito de relaves – U.M. TAMBOMAYO, Galmar Alarcón – HLC (2016)
8. Andía Yolanda, (2000). Tratamiento de agua, coagulación floculación. Lima. Evaluación de plantas y desarrollo tecnológico, SEDEPAL, S.A.
9. Memoria Descriptiva – Planta de Procesos Metalúrgicos U.M. Tambomayo (2015)
10. Revista Anuario Minero. Ministerio de Energía y Minas. Editorial Perú. (2001).
11. Subsector Minería, Dirección General de Asuntos Ambientales, Proyecto EMTAL. Lima. (1998).