

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE
RECURSOS NATURALES



EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL EFLUENTE
DE AGUA DE MINA DE LA UNIDAD OPERATIVA ARES

Tesis para optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

AUTOR:

Bach. JOAN MANUEL SIFUENTES JIMÉNEZ

ASESOR:

Dr. MAXIMO BACA NEGLIA

CALLAO – PERÚ

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. Baca', is written over the name of the advisor.

2020



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 004-2021-JST-FIARN-UNAC SIN CICLO DETESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

Siendo las 16:05 horas del viernes 16 de abril del 2021 se reunieron, vía Plataforma Virtual Google Meet, los docentes miembros del JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS, según la Resolución N° 034-2021-D-FIARN, para la sustentación de la Tesis "EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTE DE AGUA DE MINA DE LA UNIDAD OPERATIVA ARES" presentada por el Bachiller Joan Manuel Sifuentes Jiménez, con la finalidad de optar el título profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, conformado por:

Ms.C.	María Teresa Valderrama Rojas	Presidenta
Ing.	Abner Josué Vigo Roldán	Secretario
Lic.	Janet Mamani Ramos	Vocal
Dr.	Máximo Fidel Baca Neglia	Asesor

Siendo las 16:07 se dio inicio al acto público de sustentación de la tesis, de manera no presencial a través de la Plataforma Virtual Google Meet, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid19, a través del D.S. N° 0442020-PCM y lo dispuesto en el DU N° 026-2020 y en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N°039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las "Orientaciones para la continuidad del servicio educativo superior universitario", y de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente.

Luego de la exposición y la absolución de las preguntas formuladas por los miembros del Jurado, y efectuadas las deliberaciones pertinentes, el Jurado acordó dar por APROBADA la Tesis con la escala de calificación cualitativa MUY BUENA y calificación cuantitativa DIECISIETE (17), conforme a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 245-2018-CU del 30 de octubre del 2018.

Dándose por concluido el Acto de Sustentación de Tesis a las 17:25 horas del viernes 16 de abril del año en curso.

Ms.C. María Teresa Valderrama Rojas
Presidenta

Ing. Abner Josué Vigo Roldán
Secretario

Lic. Janet Mamani RamosDr.
Vocal

Máximo Fidel Baca Neglia
Asesor

DEDICATORIA

A la memoria de mi querida madre.

AGRADECIMIENTO

A mi esposa por su constante apoyo y exigencia, a mi padre por su paciencia, a los miembros del área de Medio Ambiente y Laboratorio de Investigaciones Metalúrgicas de la Unidad Operativa Ares por brindarme las facilidades para la toma de muestras y el desarrollo de las pruebas que me permitieron desarrollar la presente tesis.

A mi asesor Dr. Máximo Baca por su apoyo durante todo el proceso de elaboración de la presente tesis.

ÍNDICE

INTRODUCCION.-	11
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.-	13
1.1 Determinación del problema.-	13
1.2 Formulación del problema.-	14
1.3 Objetivos de la Investigación.-	14
1.4 Justificación de la Investigación.-.....	15
II. MARCO TEORICO.-.....	16
2.1 Antecedentes del estudio.-.....	16
2.2 Marco teórico o Marco Conceptual.-.....	19
2.3 Definición de términos básicos.-	19
III. VARIABLES E HIPOTESIS.-.....	23
3.1 Variables de la Investigación.-	23
3.2 Operacionalización de variables.-.....	23
3.3 Hipótesis General.-	24
IV. METODOLOGÍA.-.....	25
4.1 Tipo de Investigación.-	25
4.2 Diseño de la Investigación.-	25
4.3 Población y muestra.-	25
4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.-.....	26
4.5 Plan de análisis estadístico de datos.-	27
V. RESULTADOS.-.....	29
5.1 Resultados descriptivos.-	29
5.2 Resultados inferenciales.-	44

5.3	Otros resultados.-	49
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.-	57
6.1	Contrastación de la hipótesis.-	57
6.2	Contrastación de los resultados con estudios similares.-	57
	CONCLUSIONES.-	60
	RECOMENDACIONES	62
	REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS.-	63
	ANEXOS	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Efecto al disminuir el tamaño de las esferas	19
Tabla 2. Caracterización de aguas en interior mina.....	31
Tabla 3. Caracterización de efluentes en superficie	31
Tabla 4. Parámetros operacionales para las Pruebas de Jarras	34
Tabla 5. Prueba 1 con polímero A-110	34
Tabla 6. Prueba 2 con polímero AR-2414.....	35
Tabla 7. Prueba 3 con polímero A-110	35
Tabla 8. Prueba 4 con polímero AR-2414.....	36
Tabla 9. Prueba 5 con polímero A-110	37
Tabla 10. Prueba 6 con polímero AR-2414.....	37
Tabla 11. Prueba 7 con polímero A-110	38
Tabla 12. Prueba 8 con polímero AR-2414.....	39
Tabla 13. Prueba 9 con $Al_2(SO_4)_3$ y A-110	41
Tabla 14. Prueba 10 con $Al_2(SO_4)_3$ y A-110	42
Tabla 15. Prueba 11 con $Al_2(SO_4)_3$ y A-110	43
Tabla 16. Prueba 12 con $Al_2(SO_4)_3$ y A-110	43
Tabla 17. Concentración y dosificación de coagulante y floculante	44
Tabla 18. Concentración de TSS	44
Tabla 19. Concentración de TSS vs. LMP	45
Tabla 20. Test de Sedimentación.....	47
Tabla 21. Test de Sedimentación.....	49
Tabla 22. Límites Máximos Permisibles	50
Tabla 23. Datos: coagulante – Sulfato de Aluminio.....	54

Tabla 24. Datos floculante – A-110.....	55
Tabla 25. Consumo de reactivos.....	56
Tabla 26. Comparación de resultados.....	58
Tabla 27. Costos por Kg de cada reactivo	58
Tabla 28. Costos Laboratorio Metalúrgico.....	59
Tabla 29. Costos ARENAS SRL.....	59
Tabla 30. Costos TESIS	59
Tabla 31. Costos resumen.....	59

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Caudal de ingreso a Sistema de Tratamiento Físico Químico.....	32
Gráfico 2. Concentración de sólidos suspendidos totales	33
Gráfico 3. Prueba 1. TSS vs. Dosificación A-110.....	34
Gráfico 4. Prueba 2. TSS vs. Dosificación AR-2414	35
Gráfico 5. Prueba 3. TSS vs. Dosificación A-110.....	36
Gráfico 6. Prueba 4. TSS vs. Dosificación AR-2414	36
Gráfico 7. Prueba 5. TSS vs. Dosificación A-110.....	37
Gráfico 8. Prueba 6. TSS vs. Dosificación AR-2414	38
Gráfico 9. Prueba 7. TSS vs. Dosificación A-110.....	38
Gráfico 10. Prueba 8. TSS vs. Dosificación AR-2414	39
Gráfico 11. Concentración de Sólidos Totales Suspendidos A-110 vs- AR-2414.....	40
Gráfico 12. Concentración de Sólidos Totales Suspendidos A-110 vs- AR-2414.....	40
Gráfico 13. Concentración de Sólidos Totales Suspendidos A-110 vs- AR-2414.....	40
Gráfico 14. Concentración de Sólidos Totales Suspendidos A-110 vs- AR-2414.....	41
Gráfico 15. Prueba 9. Concentración de con $Al_2(SO_4)_3$ y A-110 vs. TSS	42
Gráfico 16. Prueba 10. Concentración de con $Al_2(SO_4)_3$ y A-110 vs. TSS	42
Gráfico 17. Prueba 11. Concentración de con $Al_2(SO_4)_3$ y A-110 vs. TSS	43
Gráfico 18. Prueba 12. Concentración de con $Al_2(SO_4)_3$ y A-110 vs. TSS	44
Gráfico 19. Concentración de TSS muestra vs. Prueba 12.....	45
Gráfico 20. Concentración de Sólidos Totales Suspendidos vs. LMP.....	46
Gráfico 21. Velocidad de sedimentación constante.....	48
Gráfico 22. Velocidad de sedimentación.....	48
Gráfico 23. Valores de pH.....	51

Gráfico 24. Valores de sólidos totales en suspensión.....	51
Gráfico 25. Valores de cianuro total.....	51
Gráfico 26. Valores de arsénico total	52
Gráfico 27. Valores de hierro disuelto	52
Gráfico 28. Valores de plomo total	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Equipo de Pruebas de Jarras.....	28
Figura 2. Esquema del Equipo de Pruebas de Jarras	28
Figura 3. Ubicación de puntos de muestreo	29
Figura 4. Diagrama de flujo de agua en interior mina.....	30
Figura 5. Punto 1. Ingreso actual sistema de tratamiento físico químico.....	53
Figura 6. Punto 2. Ingreso a primera cámara.....	53

INTRODUCCIÓN.-

En el presente trabajo de investigación se realizó la evaluación del sistema de tratamiento físico químico de los efluentes generados en la Unidad Operativa Ares (UOA) perteneciente a la Compañía Minera Ares, debido a que sin este tratamiento no se cumplirían con los Límites Máximos Permisibles (LMP), establecidos en la normativa ambiental vigente, para su vertimiento al ambiente. Para la evaluación se realizaron pruebas de laboratorio, principalmente Prueba de Jarras (PJ). Adicionalmente, se determinaron los tiempos de mezcla rápida y lenta, así como la velocidad de sedimentación de los sólidos presentes en el efluente minero, consumo de reactivos y costos.

Como punto de partida, se determinó la población y tamaño de la muestra, a partir de ello se identificaron los puntos de monitoreo en interior mina y superficie; en el caso del punto de monitoreo en superficie este se ubicó al ingreso del actual sistema de tratamiento físico químico de la UOA. La toma de muestras en interior mina tuvo por objetivo, obtener agua con una mayor concentración de sólidos y así poder realizar las pruebas de sedimentación a distintas concentraciones de sólidos suspendidos.

Al tener varias muestras con distintas concentraciones de sólidos se pudo realizar las PJ con distintas concentraciones de floculante y coagulante, con ello se obtuvieron las concentraciones o dosificaciones óptimas de floculante y coagulante. Por otro lado, se determinó la velocidad de sedimentación de los sólidos, para ello se utilizó una probeta graduada de 1 litro, la cual se encontraba debidamente marcada.

Todas las variables evaluadas se aplicaron para mejorar el diseño del sistema de tratamiento físico químico del efluente de interior mina.

Dentro de las limitaciones para el desarrollo del trabajo de investigación, se tuvo; el factor climático, por tener que realizar las pruebas en la propia Unidad Operativa de Ares que se encuentra sobre los 5,000 msnm y tener que utilizar los servicios de laboratorio de terceros para el caso de los análisis de metales.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Determinación del problema.-

En la actualidad, todo efluente que se genera durante la actividad minera; es decir, producto de las actividades de explotación y beneficio, debe recibir un tratamiento previo a su descarga a un cuerpo de agua. Esto en cumplimiento del D.S. N° 010-2010-MINAM Límites Máximos Permisibles para la Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas, publicado el 21 de agosto del 2010, que establece los valores de los parámetros físico químicos que debe cumplir el efluente para poder ser descargado al ambiente.

Debido a la existencia de legislación ambiental a nivel nacional y políticas ambientales internas por parte de la compañía Minera Ares, es que en la Unidad Operativa Ares (UOA) se toma la decisión de tratar el efluente proveniente de interior mina. Para ello, se diseñaron cámaras de sedimentación en interior mina que ayuden a reducir la concentración de sólidos totales suspendidos; sin embargo, no se tomó en cuenta los tiempos de retención ni el volumen generado de lodos, lo que generó resultados desfavorables para el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa actual.

Al obtener la dosis óptima de floculante y coagulante, y velocidad de sedimentación se mejoraron los parámetros de tratamiento del efluente de mina y con ello, se obtuvo una mejor eficiencia en el sistema actual, adicionalmente, se puede rediseñar el sistema de tratamiento físico químico del efluente de mina mejorando la calidad del efluente descargado al ambiente.

Se determinó el consumo de reactivos al conocer las dosis óptimas de floculante y coagulante. Con los parámetros evaluados se logró mejorar la eficiencia del sistema de tratamiento físico químico y con ello, el efluente de mina tendrá una concentración de sólidos menor a los 25 mg/L, permitiendo el cumplimiento de la legislación ambiental vigente y minimizando un potencial impacto negativo sobre el cuerpo receptor.

1.2 Formulación del problema.-

Frente a la situación de la calidad de los efluentes generados en la Unidad Operativa Ares que no permite su disposición final a un cuerpo receptor, generando un impacto ambiental negativo, es que se procede a formular el Problema con la siguiente pregunta:

¿La evaluación del sistema de tratamiento físico químico del efluente de mina va a permitir una mejor calidad del efluente y con ello el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa ambiental vigente?

1.3 Objetivos de la Investigación.-

1.3.1 Objetivo General.- Evaluar el sistema de tratamiento físico químico de los efluentes generados por las operaciones en interior mina en la Unidad Operativa Ares.

1.3.2 Objetivos específicos.-

- Caracterizar la descarga de efluente líquido generado por la actividad Minero Metalúrgica en la Unidad Operativa Ares.
- Disminuir la concentración de sólidos totales suspendidos por debajo del Valor Promedio Anual, 25 mg/L, en la descarga del efluente de mina, según lo establecido en el D.S. N° 010-2010-MINAM - Límites Máximos Permisibles para la descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero Metalúrgicas.
- Obtener la dosis óptima de coagulante y floculante para distintas concentraciones de sólidos en el efluente de mina.
- Determinar la velocidad de sedimentación de las partículas presentes en el efluente.
- Determinar los tiempos óptimos para la mezcla rápida (coagulación) y mezcla lenta (floculación).
- Reducir las zonas de pérdidas hidráulicas con el fin de evitar la ruptura de flóculos y la mala mezcla del coagulante y floculante.

1.4 Justificación de la Investigación.-

La UOA, por tener operaciones subterráneas, presenta uno de los mayores problemas ambientales que se dan en minería como es la generación de efluentes de mina, los cuales presentan un alto contenido de sólidos disueltos y partículas coloidales; por ende, no puede ser descargado directamente al ambiente ya que se estaría impactando negativamente la calidad de las aguas, incumpliendo con el D.S. N°010-2010-MINAM Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes mineros, es por ello que es necesario el tratamiento previo a su descarga al ambiente.

El vertimiento de un efluente con valores de sólidos suspendidos por debajo de la normativa ambiental brindará una mejor imagen de la compañía hacia las partes de interés, stakeholders, tanto internas como externas, beneficiando las relaciones comunidad – empresa, a su vez la imagen de la empresa a nivel corporativo se verá afectada positivamente y sobre todo se evitará un impacto negativo en los ecosistemas adyacentes a la zona de operación.

1.4.1. Justificación Legal.- Cumplir con los Límites Máximos Permisibles de descarga establecidos en el D.S. N°010-2010-MINAM y evitar posibles sanciones por parte del ente de fiscalización gubernamental.

1.4.2. Justificación Ambiental.- Minimizar el potencial impacto ambiental negativo sobre el cuerpo de agua receptor a través del tratamiento previo a su descarga, salvaguardando con ello la vida acuática y la salud de todo ser vivo que aproveche aguas abajo el recurso hídrico.

1.4.3. Justificación Económica.- En la actualidad la minería es la principal actividad económica del país y a su vez la que presenta mayores problemas socio ambientales, por lo tanto se debe realizar de una manera sostenible aplicando tecnologías amigables con el ambiente. Esto como parte del principio de sostenibilidad incluido en el marco de la Política Ambiental Nacional.

1.4.4. Justificación Teórica.- En la actualidad se cuenta con una vasta gama de estudios a nivel de ingeniería y ciencia básica que permite contar con los conocimientos teóricos y prácticos para aplicarlos en el desarrollo del presente trabajo de investigación, como es el caso del tratamiento físico químico.

II. MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes del estudio.-

2.1.1 Antecedentes nacionales.-

- a. La empresa Arenas SRL (2011), realizó pruebas de jarras con el objetivo de obtener los mejores reactivos que permitan precipitar los sólidos en el agua de mina, para ello realizaron pruebas comparativas que permitieron la selección de los reactivos.

La muestra tomada inicialmente para las pruebas de jarras presentó una turbidez de 470 NTU, luego que obtuvieron las concentraciones adecuadas para el coagulante y floculante la turbidez final fue de 7.23 NTU. Las dosificaciones fueron de 30ppm de coagulante AR-345 y 5ppm de floculante AR-2414.

- b. Similares pruebas fueron realizadas por el Laboratorio de Investigaciones Metalúrgicas de la U.O. Ares (2012), la diferencia con las pruebas de la empresa Arenas SRL fue principalmente que en este caso no se busco determinar los mejores reactivos, sino que, se utilizaron los reactivos determinados por la empresa Arenas SRL para definir las concentraciones de coagulante y floculante.

Las concentraciones obtenidas en las pruebas de jarras y que brindaron mejores resultados fueron de 1ppm para el coagulante AR-345 y 0.5ppm para el floculante AR-2414.

- c. En el Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Escopeta, la Cía. Minera Buenaventura (2005) plantea el diseño de pozas de sedimentación próximas a las bocaminas que captarán todas las filtraciones de agua de mina bombeadas que se generen de los trabajos de preparación y desarrollo de la mina.

Las aguas luego del proceso de sedimentación serán recirculadas para el laboreo minero, riego de vías, lavado de equipos, etc.

El diseño planteado permitirá no solo eliminar y/o disminuir la concentración de sólidos suspendidos, sino, que también los metales pesados críticos hasta por niveles por debajo de los límites máximos permisibles (LMP) establecidos en la normativa ambiental vigente.

- d. La compañía minera Consorcio Minero Horizonte en la Modificación del Plan de Cierre de la Unidad Económica Administrativa Culebrillas (2010), incluye dentro de

sus componentes la implementación de un sistema para agua de uso industrial que tiene como objetivo tratar las aguas provenientes de mina mediante la separación de sólidos para luego reaprovecharla o verterla al ambiente, cumpliendo los parámetros establecidos en la normativa ambiental vigente.

Similar objetivo al que se estableció la Cía Minera Buenaventura en su Estudio de Impacto Ambiental de su Proyecto Escopeta (2013), en ambos casos el problema viene a ser la concentración de sólidos suspendidos.

- e. Montesinos (2017) en su tesis de grado, tiene como propósito la identificación de la alternativa óptima de tratamiento de efluentes de mina tomando como base las características físico – químicas de las aguas de mina, la caracterización geoquímicas y evaluación en laboratorio de alternativas de tratamiento.

Las muestras de agua de mina utilizadas para el desarrollo de las pruebas presentaban una concentración de sólidos suspendidos muy baja, sin embargo, los pH marcaban aguas ácidas, por ende, el desarrollo de la tesis de Montesinos, M. (2017) se centra en la neutralización de las aguas, sin embargo, una de sus conclusiones es que si el agua de mina contiene altas concentraciones de sólidos suspendidos será necesario la implementación de pozas de sedimentación.

- f. Ururi (2018) en su tesis de grado, tiene como objetivo evaluar el proceso de sedimentación de las aguas residuales del circuito de pozas, utilizando la poliacrilamida aniónica como floculante en la Unidad Operativa Minera Halcón de Oro.

Por el tipo de proceso de minado para la recuperación del oro morrénico se empleó una gran cantidad de agua con alta carga de sólidos, concentraciones de hasta 13 500 NTU de turbidez, es por ello que se evaluó el proceso de sedimentación con poliacrilamida aniónica en las pozas de sedimentación ya implementadas y en uso, los mejores resultados lograron obtener una reducción del 99.9% de la turbidez en un tiempo de 30 minutos, turbidez final de 14.5 NTU.

2.1.2 Antecedentes internacionales.-

- a. Contreras y García (2015), en su tesis grado tiene como objetivo analizar la calidad físico - química del agua en la quebrada El Santuario por la explotación de hierro en el Municipio de Ubalá – Cundinamarca – Colombia, logrando identificar una

excedencia en los valores de sólidos suspendidos totales en comparación con su normativa ambiental a raíz de los vertimientos de la empresa Acerías Paz de Río.

Asimismo, al identificar el impacto sobre el cuerpo receptor se concluyó que las medidas implementadas en su Plan de Manejo Ambiental no vienen siendo efectivas y han generado un impacto negativo sobre el ecosistema acuático, recomendando la evaluación y mejora del tratamiento de las aguas de mina provenientes, en este caso, del depósito de desmonte.

- b. Caballero (2014), realiza la identificación y caracterización entre la salida de agua de mina de la única mina en operación y aquellas que han dejado de operar, estableció semejanzas y diferencias entre las descargas.

Concluyó que las aguas monitoreadas presentan valores relativamente constantes de sólidos totales suspendidos en comparación con otros efluentes mineros industriales del carbón, no generando un riesgo para el ambiente.

- c. Frías (2017), presenta el diseño de una laguna o poza de sedimentación a partir del levantamiento de la red de drenaje natural del área de trabajo de la cantera Tacarigua C.A., ubicada en la localidad de Gañango sector Mar Azul, Puerto Cabello, Estado Carabobo, Venezuela, donde identifica que por las actividades propias de movimiento de tierras se ha generado un cambio significativo sobre la morfología local. Estas acciones en conjunto con la falta de cobertura vegetal y en presencia de altas precipitaciones, favorecen en gran medida la erosión y arrastre de sólidos.

Al no contar la cantera con controles de esorrentía superficial, considerando un período de retorno de 10 años de 128.55mm y un área afectada 14.47 hectáreas se procede al diseño de la poza de sedimentación, cuyo objetivo es retener la mayor cantidad de sólidos suspendidos antes de descargar las aguas al ambiente.

Logró obtener una profundidad de 52.3m y un área teórica de 122.95m². Sin embargo, al obtener medidas poco viables se procedió a adecuar los cálculos a las profundidades máximas de los equipos disponibles en la cantera, y se obtuvo un área de 1 072.22m² con una profundidad de 6m.

2.2 Marco teórico o Marco Conceptual.-

2.2.1 Sistema de tratamiento físico químico.- Constituye un conjunto de procesos destinados a disminuir o eliminar aquellos coloides de un efluente líquido que pueden generar un impacto negativo sobre la calidad del recurso hídrico durante la descarga del efluente.

2.2.2 Sistema de dosificación de reactivos.- Conjunto de tanques y bombas dosificadoras donde se preparan los reactivos para luego ser adicionados al flujo de agua de mina que ingresa al sistema de tratamiento físico químico.

2.3 Definición de términos básicos.-

2.3.1 Material coloidal.- Partículas microscópicas en estado sólido que se encuentran dispersas en una sustancia. Algunos coloides se pueden identificar fácilmente al hacer pasar un haz de luz a través de ellos.

Las partículas coloidales se caracterizan por tener una gran superficie específica, es decir, una gran relación entre el área superficial y la masa. La Tabla 1 muestra el efecto de la disminución del tamaño de las esferas sobre el área superficial total y el tiempo de sedimentación requerido.

Tabla 1. Efecto al disminuir el tamaño de las esferas

Diámetro de la partícula (mm)	Escala de tamaños	Área superficial total *	Tiempo requerido para sedimentar **
10	Grava	3.15 cm ²	0.3 s
1	Arena gruesa	31.5 cm ²	3 s
0.1	Arena fina	315 cm ²	38 s
0.01	Sedimento	3 150 cm ²	33 min
0.001	Bacteria	3.15 m ²	55 horas
0.0001	Partícula coloidal	31.5 m ²	230 días
0.00001	Partícula coloidal	0.283 ha	6.3 años
0.000001	Partícula coloidal	2.83 ha	63 años

*Área de partículas del tamaño indicado, producida a partir de una partícula de 100 mm de diámetro y gravedad específica de 2.65.

**Cálculos basados en esferas con gravedad específica de 2.65 que sedimentan 30cm.

La separación de las sustancias coloidales no es sencilla y es necesario recurrir a métodos como la coagulación.

2.3.2 Coagulación.- Consiste en desestabilizar los coloides por neutralización de sus cargas, dando lugar a la formación de flóculos.

La coagulación de las partículas coloidales se consigue añadiendo al efluente un reactivo químico llamado coagulante. Durante el proceso de coagulación los factores que influyen son: el pH, la mezcla rápida, tipo y cantidad de coagulante.

2.3.3 Floculación.- Consiste en la captación mecánica de las partículas neutralizadas, dando lugar a flóculos de mayor peso y volumen, aumentando por tanto la velocidad de sedimentación.

Los factores que influyen en el proceso de floculación son: la coagulación previa, mezcla lenta y homogénea, temperatura del agua, características del agua y tipo de floculante.

2.3.4 Sedimentación.- Es un proceso de separación que se da entre dos fases, normalmente sólido – líquido, aunque también puede aplicarse en separaciones líquido – líquido, como es el caso de las mezclas agua – aceite y grasas.

2.3.5 Turbiedad.- Es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión, tales como arcillas, minerales, sedimentos, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, plancton y otros organismos microscópicos.

2.3.6 Color.- Es un parámetro organoléptico que indica la calidad del agua, está relacionado con las sustancias disueltas y las partículas en suspensión que contiene. La mayoría de los investigadores opinan que el color orgánico en el agua es de naturaleza coloidal.

El color existente en el agua no se deriva únicamente de la descomposición de productos naturales sino también de hidróxidos metálicos, como el del hierro y, además de compuestos orgánicos desconocidos presentes en los desechos domésticos e industriales.¹

2.3.7 Mezcla rápida.- La mezcla rápida es el aspecto físico de la coagulación, el conjunto de características externas que debe reunir la unidad para que la coagulación se de en óptimas condiciones y para que se lleven a cabo las reacciones químicas analizadas.

Los parámetros operacionales de la mezcla rápida son la intensidad de agitación que se debe impartir al agua para dispersar al coagulante, el cual se evalúa mediante el gradiente de velocidad, y el tiempo durante el cual debe aplicarse esta agitación al agua. La magnitud de estas variables dependerá del tipo de coagulación que se va a llevar a cabo: coagulación por adsorción o coagulación por barrido (OPS, 2005).

2.3.8 Floculación.- La floculación es el proceso mediante el cual las moléculas ya desestabilizadas entran en contacto y generan flóculos de mayor tamaño, facilitando la precipitación.

La floculación puede presentarse mediante dos mecanismos: floculación ortocinética y pericinética, según sea el tamaño de las partículas desestabilizadas (en general todas las partículas se ven afectadas por ambos mecanismos). Las partículas pequeñas ($<1\mu\text{m}$) están sometidas a floculación pericinética, motivada por el movimiento browniano, mientras que las que presentan un tamaño mayor, están afectadas principalmente por el gradiente de velocidad del líquido, predominando en ella la floculación ortocinética.

2.3.9 Sedimentación.- Se entiende por sedimentación la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua. Estas partículas deberán tener un peso específico mayor que el fluido.

La remoción de partículas en suspensión en el agua puede conseguirse por sedimentación o filtración. De allí que ambos procesos se consideren como complementarios.

La sedimentación remueve las partículas más densas, mientras que la filtración remueve aquellas partículas que tienen una densidad muy cercana a la del agua o que han sido resuspendidas y, por lo tanto, no pudieron ser removidas en el proceso anterior.

La sedimentación es, en esencia, un fenómeno netamente físico y constituye uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación.

2.4 Normatividad legal.- La normatividad ambiental vigente en el Perú y aplicable a la elaboración del presente trabajo de tesis se indica a continuación:

- Constitución Política de 1993.
- Ley General del Ambiente. Publicada el 15 de octubre del 2005.
- D.S. N° 040-2014-EM. Reglamento de Protección y Gestión Ambiental para las Actividades de Explotación, Beneficio, Labor General, Transporte y Almacenamiento Minero. Publicado el 05 de noviembre del 2014.
- D.S. N° 068-2001-PCM. Reglamento de la Ley sobre Conservación y Aprovechamiento Sostenible de la Diversidad Biológica. Publicado el 21 de junio del 2001.
- Ley N° 29338. Ley de los Recursos Hídricos, publicada el 27 de marzo del 2019.
- D.S. N° 001-2010-AG. Reglamento de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos. Publicado el 24 de marzo del 2010.
- D.S. N° 010-2010-MINAM. Aprueban Límites Máximos Permisibles para la Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas. Publicado el 21 de agosto del 2010.
- R.M. N° 030-2011-MINAM. Aprueban Términos de Referencia conforme a los cuales se elaborará el Plan de Implementación para el Cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles LMP para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas, así como el procedimiento de evaluación de dicho plan. Publicada el 22 de enero del 2011.
- D.S. N° 024-2016-EM. Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Actividades Mineras. Publicado el 26 de julio del 2016.

III. VARIABLES E HIPOTESIS

3.1 Variables de la Investigación.-

3.1.1 Variable Independiente:

X = “SISTEMA DE TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO DE EFLUENTE”

La variable independiente “Sistema de Tratamiento Físico Químico de Efluente” hace referencia a toda la infraestructura requerida para el tratamiento del efluente minero a través de un proceso físico químico basado en coagulación, floculación y sedimentación previo a su descarga al ambiente, dicho efluente es generado por la operación de minado en interior mina. Dentro de la variable independiente existen ciertos indicadores operacionales que se deben conocer para un tratamiento eficiente del efluente.

3.1.2 Variable Dependiente:

Y = “CALIDAD DEL EFLUENTE DE MINA”

La variable dependiente “Calidad del Efluente de Mina” se encuentra directamente relacionada a los parámetros de carácter físico-químicos establecidos en la normativa ambiental vigente sobre los Límites Máximos Permisibles para efluentes mineros metalúrgicos que garantizan la no afectación de las fuentes de agua natural donde se descarga el efluente tratado.

3.2 Operacionalización de variables.-

Para demostrar y comprobar la hipótesis a formular, debemos operacionalizar las variables a través de los indicadores de cada una de las variables.

3.2.1 Variable Independiente: X = “SISTEMA DE TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO DE EFLUENTE”

Indicadores Operacionales de la Variable Independiente:

- Gradiente de Mezcla (Seg⁻¹) X₁
- Gradiente de Floculación (Seg-1) X₂
- Tiempo de Mezcla (Seg) X₃
- Tiempo de Floculación (Min) X₄
- Concentración de Coagulante (mg/l) X₅
- Concentración de Floculante (mg/l) X₆

- Dosis de Coagulante (ppm) X₇
- Dosis de Floculante (ppm) X₈
- Tiempo de sedimentación X₉
- Velocidad de Sedimentación (m/h) X₁₀

3.2.2. Variable Dependiente: Y = “CALIDAD DE LOS EFLUENTES”

Indicadores Operacionales de la Variable Dependiente:

- Turbiedad Residual (NTU) Y₁
- pH Y₂
- Concentración de Sólidos Y₃
- Volumen de Sólidos Y₄
- Concentración de Fe (mg/L) Y₅
- Concentración de Zn (mg/L) Y₆
- Concentración de Mn (mg/L) Y₇
- Concentración de Al (mg/L) Y₈

3.3 Hipótesis General.-

“LA EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO DEL EFLUENTE DE AGUA DE MINA VA A MEJORAR LA CALIDAD DEL EFLUENTE TRATADO, CUMPLIENDO CON ELLO LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL VIGENTE”.

IV. METODOLOGÍA

4.1 Tipo de Investigación.-

La investigación es experimental. En ese sentido existe una relación del tipo Causa – Efecto, $Y = f(x)$, por lo que las variables están íntimamente relacionadas, según la relación:

(Variable Independiente “X” → Variable Dependiente “Y”)

Dado que durante el experimento una o más indicadores de la variable independiente afectan una o más indicadores de la variable dependiente.

4.2 Diseño de la Investigación.-

Para el desarrollo del trabajo de investigación, se realizaron las Pruebas de Jarras donde se mantuvieron fijos los indicadores de la Variable Independiente, y como resultado de ello, se demostró que los valores de los indicadores de la Variable Dependiente son los adecuados para lograr un efluente con una calidad óptima para poder ser vertido al ambiente, para lo cual se fue necesario medir los valores de la variable dependiente a través de sus indicadores para ver el efecto que tiene la variable independiente sobre él.

4.3 Población y muestra.-

4.3.1 Población- En el presente estudio se requería evaluar el sistema de tratamiento físico químico del efluente minero, es por ello, que la población vino a ser todo el volumen de agua generada en la actividad de explotación minera (labores de perforación, servicios auxiliares y afloramientos) y que ingresa al sistema de tratamiento físico químico para su posterior descarga al ambiente.

4.3.2 Muestra- Viene a ser los volúmenes de agua puntuales que se tomaron para la realización de las pruebas de jarras. En cada punto de muestreo se colectó aproximadamente 10 litros de agua, tanto en interior mina como en superficie.

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.-

Las Técnicas e Instrumentos de recolección de datos que se aplicaron para el presente trabajo de Tesis son específicas para cada momento de la propia investigación:

- Primero, en su etapa de caracterización de los efluentes generados en la unidad minera a través de su aspecto de cantidad (caudal o aforo) y calidad (parámetros físico – químicos). Para desarrollar estas actividades se realizó la toma de muestras en interior mina y a la salida del agua de mina en superficie, las muestras fueron enviadas a laboratorio para su análisis físico químico. Los caudales fueron medidos en superficie aprovechando la presencia de un canal de concreto, se utilizó el método de flotación.
- Segundo, en su etapa experimental, los efluentes mineros fueron tratados a través de las Pruebas de Jarras, lo cual permitió recolectar datos durante la manipulación de la variable independiente, concentración de reactivos.

Materiales a utilizar

Para la realización de la presente investigación y lograr óptimos resultados, se contó con la siguiente información, materiales y equipos:

- Efluente de mina generado en la UOA.
- Equipo de medición Multiparámetro (pH, CE, Temperatura), modelo HQ 40d – HACH.
- Útiles de escritorio (cuaderno, lápiz, cinta adhesiva, regla, papel milimetrado, etc).
- Materiales de laboratorio (vasos precipitados, probetas graduadas, pipeta, etc).
- Equipos de laboratorio (turbidímetro portátil, agitador magnético, balanza digital, estufa, equipo de prueba de jarras).
- Material bibliográfico referente al tema de investigación.
- Base de datos de los monitoreos realizados al efluente de mina.
- Normas legales aplicables al tema de estudio.
- Equipo de protección personal (Mameluco, chaleco, casco de seguridad, lentes, guantes, respirador, zapatos de seguridad).

4.5 Plan de análisis estadístico de datos.-

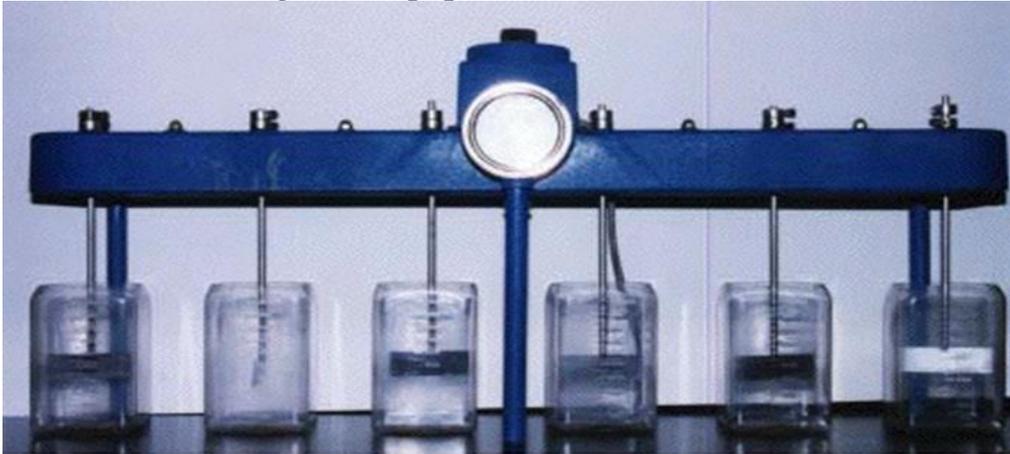
Luego de realizar las pruebas de jarras y otras pruebas paralelas, se obtuvieron valores de la concentración óptima de reactivos, concentración de sólidos, velocidad de sedimentación y consumo de reactivos. Con toda la información resultante de las pruebas se trabajó en la elaboración de las tablas con los valores de cada una de las variables respectivas; esta data fue procesada en hojas de cálculo tal como el MICROSOFT EXCEL, de modo que el procesamiento de la información fue lo más sencillo posible y quedó disponible para los requerimientos del presente trabajo, los mismos que nos permitieron demostrar las variaciones esperadas y por ende la demostración de la Hipótesis.

Se generaron tablas y gráficas con el objetivo de identificar y evidenciar las mejoras en las variables del tratamiento del efluente de mina. Dentro de las gráficas se tuvieron valores límites, los cuales estuvieron acorde a lo establecido en el D.S. N°010-2010-MINAM; estos valores nos permitieron saber que variables se encuentran excedidas y que tanto ha sido la eficiencia del tratamiento del efluente de mina.

Entre las ecuaciones que se utilizaron se tiene: porcentaje de sólidos, velocidad de sedimentación y las establecidas para los diseños de plantas de tratamiento.

Las técnicas de Pruebas de Jarras es un procedimiento común de laboratorio para determinar las condiciones óptimas de funcionamiento para el tratamiento de aguas. Este método permite realizar ajustes en el pH; las variaciones en la dosis de coagulante o polímero, alternando velocidades de mezclado; la prueba de coagulante o diferentes tipos de polímeros, a pequeña escala, con el fin de predecir el funcionamiento de una operación a gran escala de tratamiento. Una prueba de jarras simula los procesos de coagulación y floculación que fomentan la eliminación de los coloides en suspensión y materia orgánica que puede conducir a problemas de turbidez, olor y sabor.

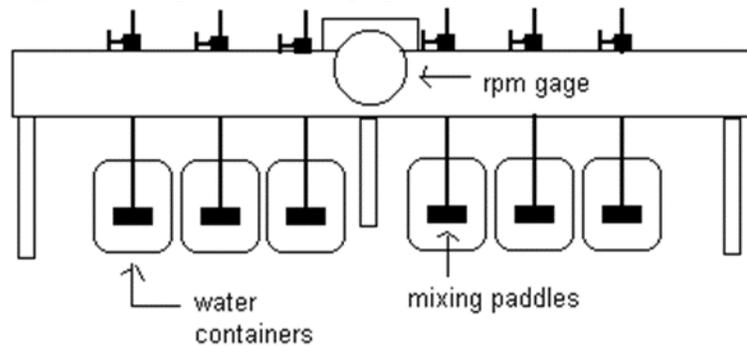
Figura 1. Equipo de Pruebas de Jarras



Nota: Equipo de jarra de la marca PHIPPS BIRD™.

El aparato de prueba de jarras (ver Figura 1) contiene seis paletas que remueven el contenido de seis vasos de 1 ó 2 litros. Un vaso actúa como un control, mientras que las condiciones de funcionamiento pueden variar entre los restantes cinco. Un medidor de RPM en la parte superior central del dispositivo permite el control uniforme de la velocidad de mezclado en todos los contenedores. (Ver Figura 2).

Figura 2. Esquema del Equipo de Pruebas de Jarras



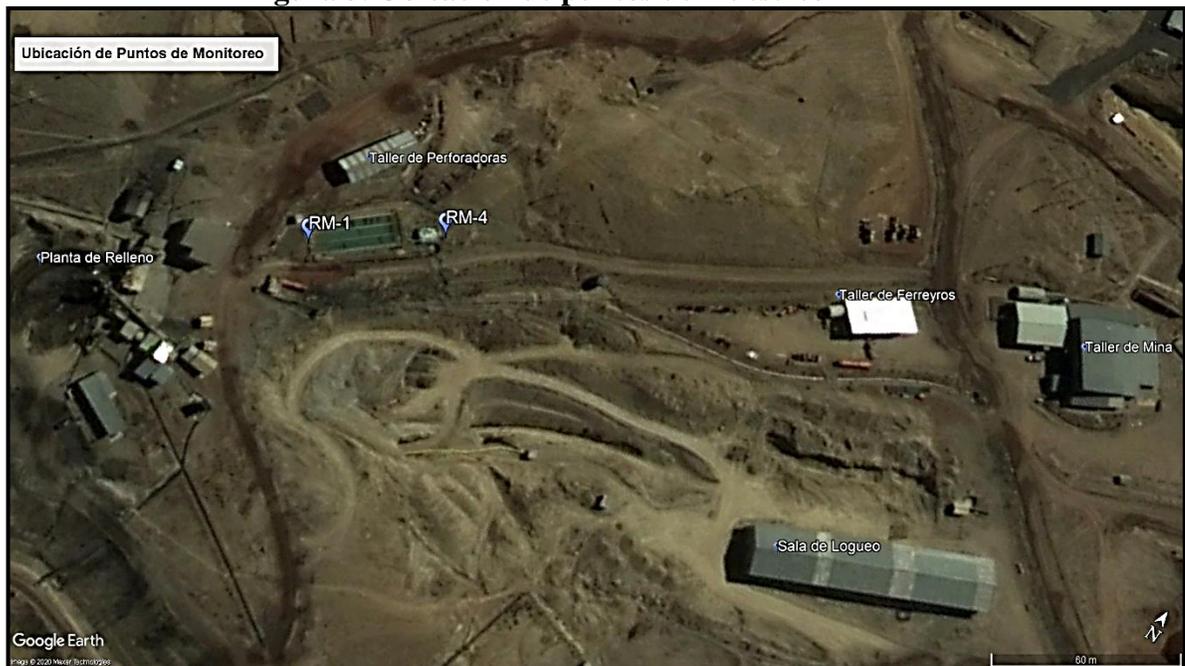
V. RESULTADOS

5.1 Resultados descriptivos.-

Medición de caudales y parámetros físico químicos.- Como primera etapa se realizó la caracterización de los efluentes generados en la Unidad Operativa Ares; para ello se procedió a la medición de caudales y de parámetros fisicoquímicos (sólidos totales suspendidos – TSS, pH, conductividad y temperatura) al ingreso y salida del actual sistema de tratamiento físico químico (**ver Figura 3, Ubicación de puntos de muestreo**) durante un período de 14 días. Si bien las mediciones se realizaron en superficie, fue necesario ingresar a interior mina para conocer los distintos aportantes de sólidos y el flujo de las aguas (**ver figura 4, Diagrama de flujo de agua en interior mina**), asimismo, se realizó la medición de los parámetros fisicoquímicos para identificar las condiciones de calidad de las aguas en interior mina. Los parámetros monitoreados fueron en base a la data histórica que en algún momento se ha encontrado fuera de los límites máximos permisibles, establecidos en la normativa ambiental vigente.

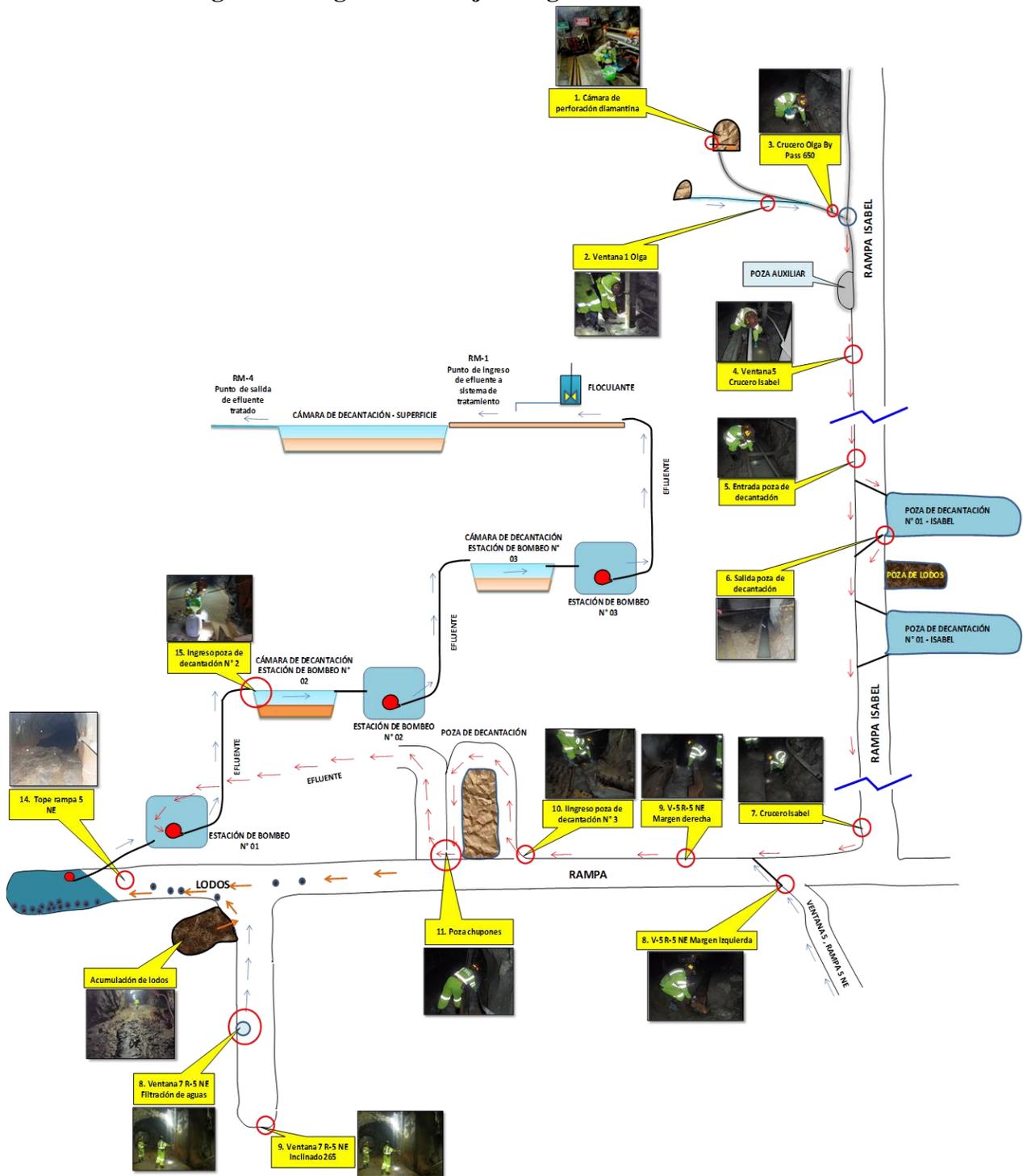
Los resultados obtenidos durante las mediciones en interior mina y superficie se indican en la tabla 2 y 3 respectivamente.

Figura 3. Ubicación de puntos de muestreo



Fuente: Google Earth

Figura 4. Diagrama de flujo de agua en interior mina



Fuente: Elaboración propia

En interior mina se realizó la medición de los parámetros de cianuro wad y total debido a que el método de minado es “Corte y Relleno Ascendente” y para ello se utiliza el relave cianurado detoxificado como relleno hidráulico en las labores de minado.

Tabla 2. Caracterización de aguas en interior mina

N°	Descripción	pH	Conduc. (µs/cm)	TSS (mg/l)	CN total (mg/l)	CN wad (mg/l)	Cu (mg/l)	Fe (mg/l)	Pb (mg/l)	Zn (mg/l)
1	Punto de perforación diamantina	7.49	241	4800	<0.02	<0.01	0.07	8.55	0.18	0.15
2	V-1 Olga	7.12	80	32	<0.02	<0.01	0.03	0.34	<0.02	<0.01
3	Cx Olga By pass 650	5.51	101	74	<0.02	<0.01	0.02	0.37	0.02	0.06
4	V-5 Cx Isabel	6.96	106	450	<0.02	<0.01	0.03	1.51	0.08	0.02
5	Poza de decantación N° 1 Entrada	7.27	118	441	<0.02	<0.01	0.02	1.26	0.04	0.02
6	Poza de decantación N° 1 Salida	6.79	129	42	<0.02	<0.01	0.02	0.69	0.02	0.02
7	Cx Isabel	6.98	122	404	<0.02	<0.01	0.02	1.44	<0.02	0.03
8	V-5 R-5 NEMargen izquierda	4.60	220	15	<0.02	<0.01	0.03	3.34	0.04	0.12
9	V-5 R-5 NEMargen derecha	6.94	126	448	<0.02	<0.01	0.02	1.44	0.02	0.03
10	Antes de ingreso Poza decantación N° 3	6.64	141	350	<0.02	<0.01	0.02	1.15	<0.02	0.04
11	Poza chupones	6.72	141	80	<0.02	<0.01	<0.01	0.90	<0.02	0.03
12	V-7 R-5 NEInclinado 265	3.87	341	55	<0.02	<0.01	0.02	1.34	0.04	0.10
13	V-7 R-5 NEFiltración de aguas	4.77	204	11	<0.02	<0.01	0.07	3.81	0.03	0.09
14	Tope rampa 5 NE	5.02	290	40	<0.02	<0.01	0.02	1.57	<0.02	0.09
15	Ingreso poza decantación N° 2	7.00	159	325	<0.02	<0.01	0.02	1.51	<0.02	0.04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Caracterización de efluentes en superficie

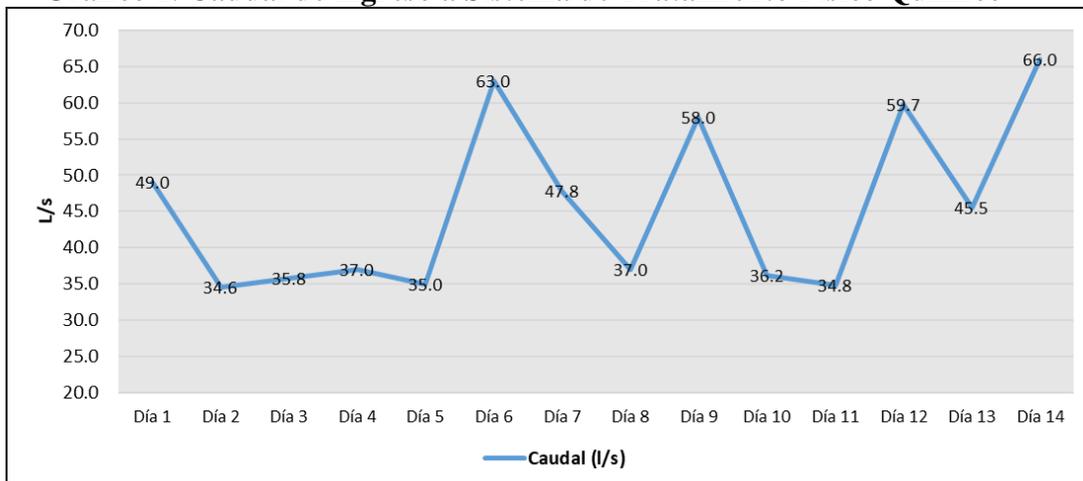
Fecha	Ingreso (RM-1)					Salida (RM-4)			
	Caudal (l/s)	TSS (mg/l)	pH	Temp. (°C)	Cond. (uS/cm)	TSS (mg/l)	pH	Temp. (°C)	Cond. (uS/cm)
Día 1	49.0	321	6.96	11.5	176.3	41	7.2	11.3	168.5
Día 2	34.6	435	7.57	12.3	154.7	39	6.1	10.6	143.6
Día 3	35.8	624	7.19	12.7	167.3	47	6.2	11.8	171.1
Día 4	37.0	486	6.31	12.9	171.9	42	7.2	11.6	163.7
Día 5	35.0	347	6.50	11.3	169.4	39	6.2	11.7	168.1
Día 6	63.0	648	7.20	11.5	169.8	48	7.1	11.0	166.3
Día 7	47.8	685	6.49	10.1	174.5	45	6.5	10.0	168.9
Día 8	37.0	650	6.98	12.5	171.4	42	6.9	12.1	184.3
Día 9	58.0	638	6.31	12.6	174.3	46	6.4	12.0	170.1
Día 10	36.2	640	7.21	12.3	163.5	41	7.2	12.0	159.2
Día 11	34.8	310	7.11	12.2	175.3	43	7.1	12.1	148.2
Día 12	59.7	240	7.31	11.4	169.3	38	7.2	11.5	143.6
Día 13	45.5	324	6.19	11.6	167.1	39	6.2	11.3	161.7
Día 14	66.0	421	7.84	12.7	171.7	42	7.2	11.6	168.5

Fuente: Elaboración propia

Nota:

- RM-1: ingreso hacia actual sistema de tratamiento físico químico, el flujo proviene de la cámara de bombeo N° 3 en interior mina.
- RM-4: salida de efluente tratado hacia su descarga al ambiente.

Gráfico 1. Caudal de ingreso a Sistema de Tratamiento Físico Químico



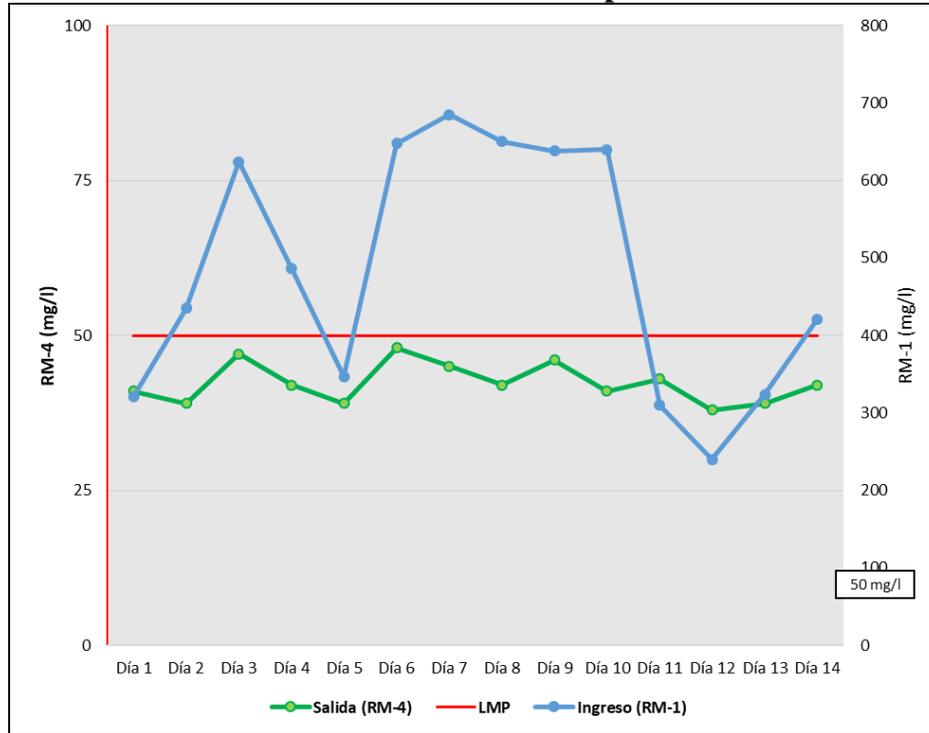
Fuente: Elaboración propia.

Es importante tener presente que tanto los caudales registrados y concentraciones de TSS no permanecen constantes, tal como se registra en la tabla 3, las razones son principalmente las siguientes:

- Bombeo de agua desde los niveles más profundos en interior mina.
- Limpieza de cunetas y/o pozas, asimismo mantenimiento de vías.
- Perforaciones diamantinas y de los frentes de avance.
- Construcción de chimeneas con el método de raise boring.
- Recarga de acuíferos por lluvias.
- Profundización de las labores.

De la tabla 3 se puede evidenciar que actualmente las concentraciones de TSS a la salida del sistema de tratamiento físico químico se encuentran muy cerca al LMP establecido en la normativa ambiental, 50 mg/l. **(ver gráfico 2, Concentración de sólidos suspendidos totales)**

Gráfico 2. Concentración de sólidos suspendidos totales



Fuente: Elaboración propia.

Nota:

- RM-1: ingreso hacia actual sistema de tratamiento físico químico, el flujo proviene de la cámara de bombeo N° 3 en interior mina.
- RM-4: salida de efluente tratado hacia su descarga al ambiente.
- LMP: límite máximo permisible para efluentes mineros industriales.

5.1.1 Pruebas de Jarras.- En paralelo a la medición de caudales se procedió a la toma de muestras a distintas concentraciones de sólidos totales suspendidos, en total se realizaron 12 Pruebas de Jarras donde se determinó las concentraciones óptimas de coagulante y floculante. La metodología desarrollada para las Pruebas de Jarras se indica en el Anexo N° 1.

Para las pruebas de jarras se trabajó con el sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) como coagulante, y con los polímeros A-110 y AR-2414 como floculantes. Actualmente en la UOA se viene utilizando como único reactivo en el tratamiento del efluente de mina el polímero AR-2414 obteniéndose concentraciones de TSS cercanos al LMP (**ver gráfico 2, Concentración de sólidos suspendidos totales**).

Antes de iniciar con las pruebas de jarras se establecieron parámetros operacionales respecto al tiempo y RPM para la mezcla rápida y lenta, asimismo, el tiempo de sedimentación (**ver tabla 4, Parámetros operacionales para las Pruebas de Jarras**).

Estos parámetros permanecieron constantes para el desarrollo de las pruebas en base a la bibliografía y otros estudios realizados.

Tabla 4. Parámetros operacionales para las Pruebas de Jarras

	Tiempo	RPM
Mezcla rápida	5 seg.	300
Mezcla Lenta	10 min.	50
Tiempo de sedimentación	10 min.	-

Fuente: Elaboración propia.

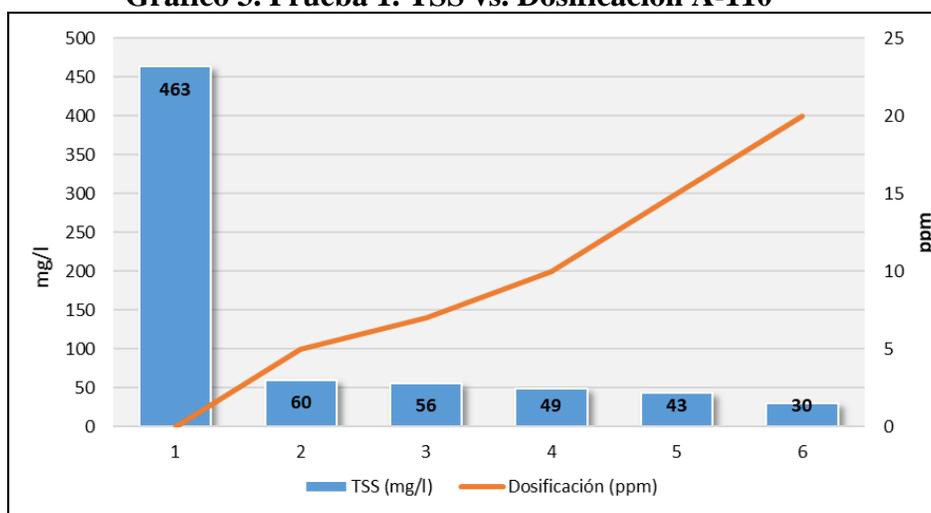
El desarrollo de las pruebas de jarras se dividió en dos etapas; en la primera se realizaron 08 pruebas de jarras donde se determinó que el floculante (polímero) con mayor eficiencia en la reducción de los sólidos suspendidos totales (TSS) es el A-110. Los resultados obtenidos en las pruebas se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 5. Prueba 1 con polímero A-110

Floculante	Concentración (%)	Dosificación (ppm)	pH	Conduc. (uS/cm)	Temp. (°C)	TSS (mg/l)	Turbidez (NTU)
Muestra	-	-	6.80	870	11.2	463	460.0
A-110	0.5	5	7.13	864	12.0	60	59.6
		7	7.00	865	12.0	56	54.1
		10	7.08	864	12.1	49	47.5
		15	7.12	864	12.1	43	42.7
		20	7.12	865	12.2	30	28.9

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3. Prueba 1. TSS vs. Dosificación A-110



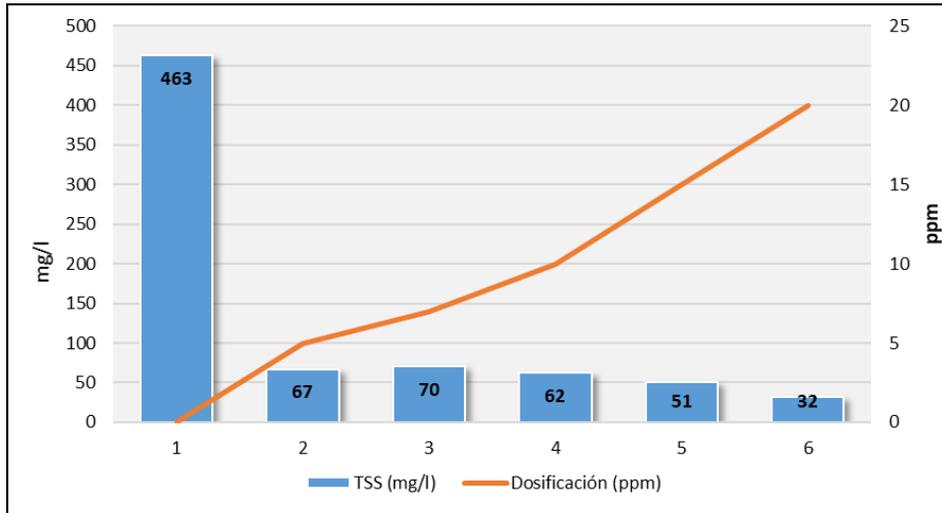
Fuente: elaboración propia.

Tabla 6. Prueba 2 con polímero AR-2414

Floculante	Concentración (%)	Dosificación (ppm)	pH	Conduc. (uS/cm)	Temp. (°C)	TSS (mg/l)	Turbidez (NTU)
Muestra	-	-	6.80	870	11.2	463	460.0
AR-2414	0.5	5	7.22	864	11.8	67	66.5
		7	7.04	865	12.0	70	67.7
		10	7.1	864	12.2	62	60.2
		15	7.15	864	12.1	51	58.6
		20	7.16	865	12.3	32	31.3

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 4. Prueba 2. TSS vs. Dosificación AR-2414



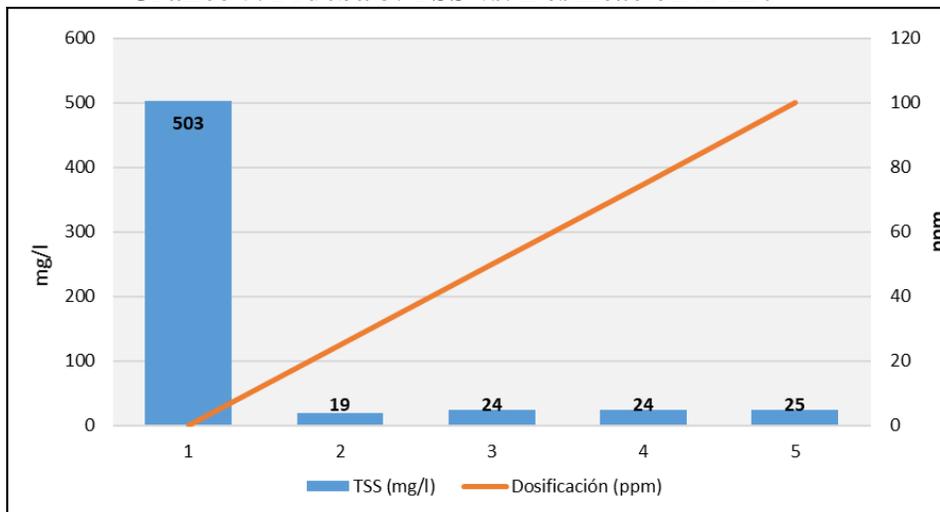
Fuente: elaboración propia.

Tabla 7. Prueba 3 con polímero A-110

Floculante	Concentración (%)	Dosificación (ppm)	pH	Conduc. (uS/cm)	Temp. (°C)	TSS (mg/l)	Turbidez (NTU)
Muestra	-	-	5.60	688	5.6	503	499.0
A - 110	0.5	25	5.91	684	8.1	19	18.6
		50	6.03	684	7.6	24	22.9
		75	6.04	685	7.5	24	22.7
		100	6.05	684	7.6	25	24.1

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 5. Prueba 3. TSS vs. Dosificación A-110



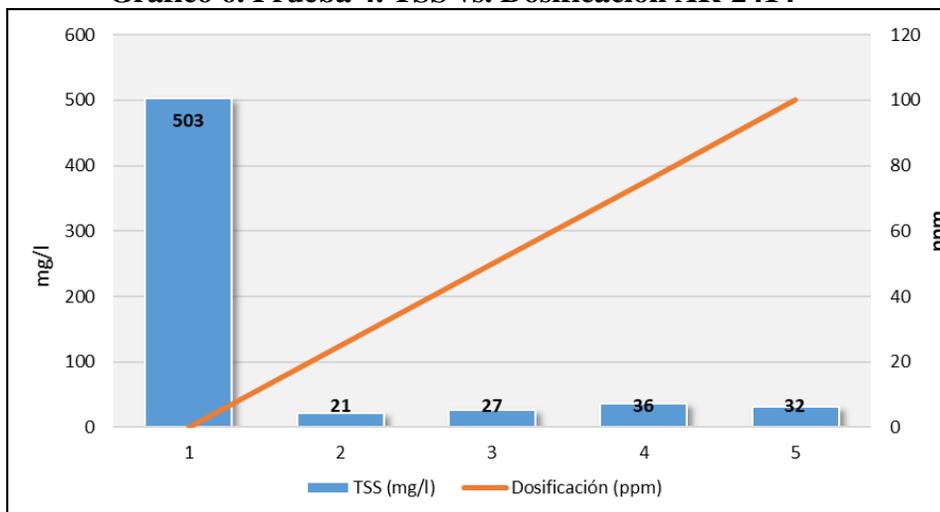
Fuente: elaboración propia.

Tabla 8. Prueba 4 con polímero AR-2414

Floculante	Concentración (%)	Dosificación (ppm)	pH	Conduc. (uS/cm)	Temp. (°C)	TSS (mg/l)	Turbidez (NTU)
Muestra	-	-	5.60	688	5.6	503	499.0
AR - 2414	0.5	25	6.16	684	10.7	21	21.4
		50	6.24	684	10.3	27	25.0
		75	6.28	685	10.4	36	32.4
		100	6.31	684	10.5	32	27.2

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 6. Prueba 4. TSS vs. Dosificación AR-2414



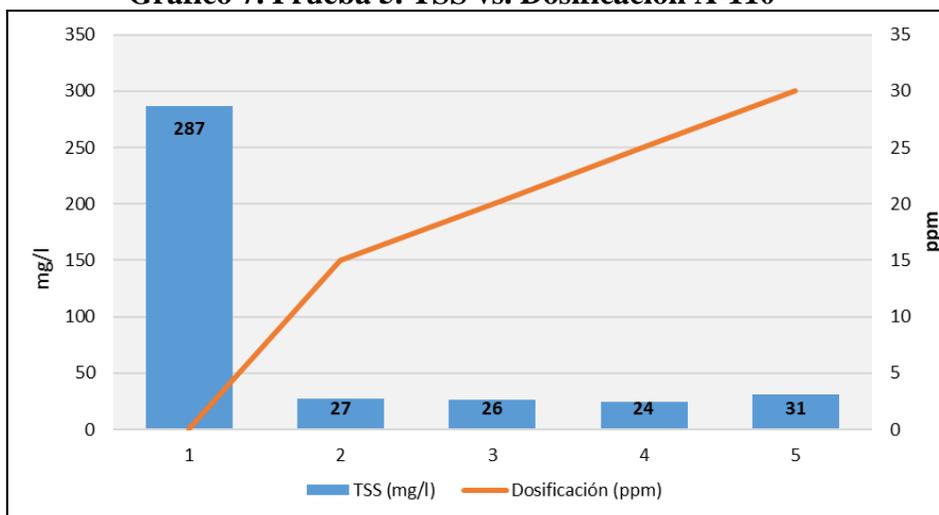
Fuente: elaboración propia.

Tabla 9. Prueba 5 con polímero A-110

Floculante	Concentración (%)	Dosificación (ppm)	pH	Conduc. (uS/cm)	Temp. (°C)	TSS (mg/l)	Turbidez (NTU)
Muestra	-	-	6.22	560	8.8	287	291.0
A - 110	1.0	15	6.56	557	9.3	27	26.4
		20	6.47	557	9.2	26	22.2
		25	6.44	556	9.1	24	21.8
		30	6.45	557	9.2	31	25.5

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 7. Prueba 5. TSS vs. Dosificación A-110



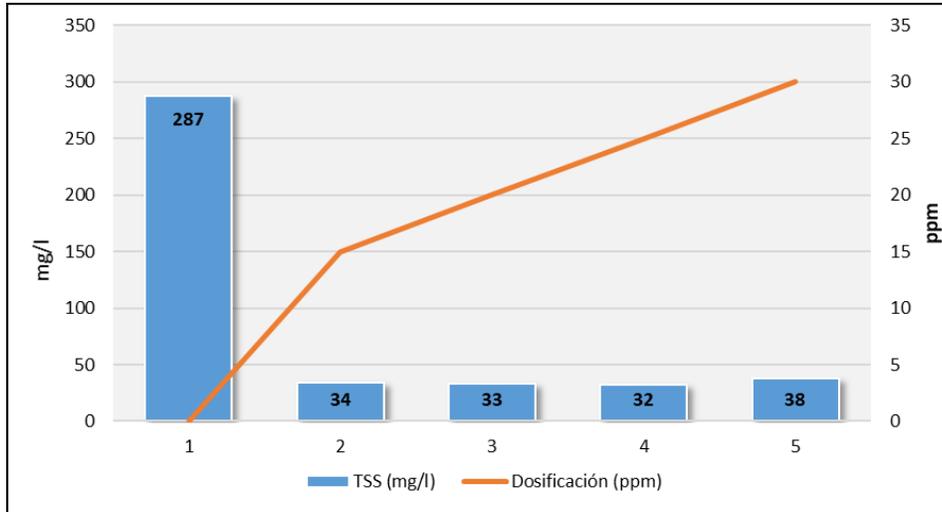
Fuente: elaboración propia.

Tabla 10. Prueba 6 con polímero AR-2414

Floculante	Concentración (%)	Dosificación (ppm)	pH	Conduc. (uS/cm)	Temp. (°C)	TSS (mg/l)	Turbidez (NTU)
Muestra	-	-	6.22	560	8.8	287	291.0
AR - 2414	1.0	15	6.30	557	10.1	34	32.2
		20	6.33	557	9.9	33	30.8
		25	6.38	556	10.0	32	29.7
		30	6.43	557	9.9	38	35.3

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 8. Prueba 6. TSS vs. Dosificación AR-2414



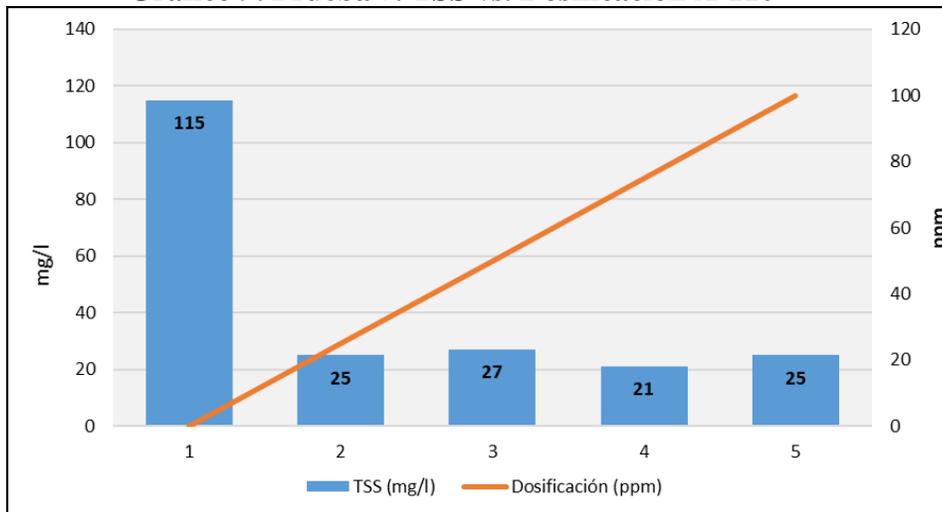
Fuente: elaboración propia.

Tabla 11. Prueba 7 con polímero A-110

Floculante	Concentración (%)	Dosificación (ppm)	pH	Conduc. (uS/cm)	Temp. (°C)	TSS (mg/l)	Turbidez (NTU)
Muestra	-	-	6.34	465	5.0	115	112.0
A - 110	1.0	25	6.70	461	7.5	25	20.9
		50	6.72	462	7.0	27	24.8
		75	6.73	461	6.8	21	18.9
		100	6.73	461	7.0	25	22.1

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 9. Prueba 7. TSS vs. Dosificación A-110



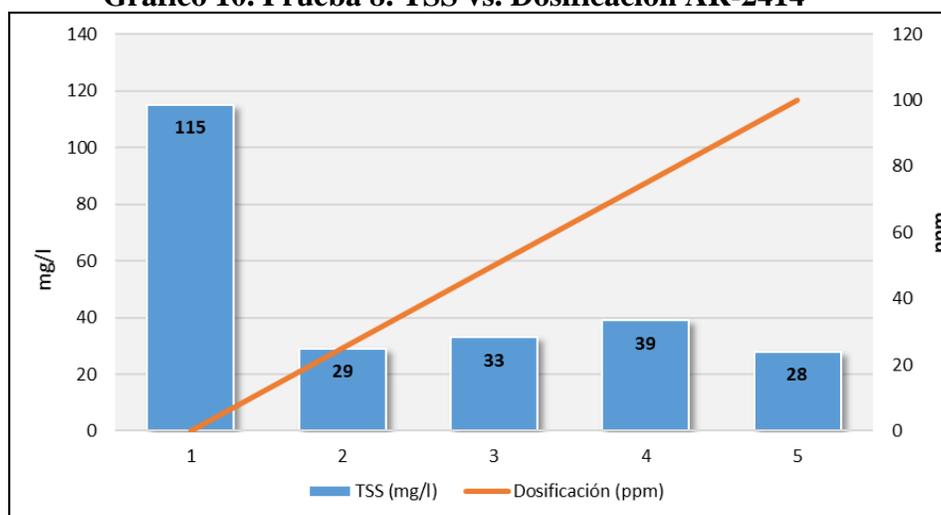
Fuente: elaboración propia.

Tabla 12. Prueba 8 con polímero AR-2414

Floculante	Concentración (%)	Dosificación (ppm)	pH	Conduc. (uS/cm)	Temp. (°C)	TSS (mg/l)	Turbidez (NTU)
Muestra	-	-	6.34	465	5.0	115	112.0
AR - 2414	1.0	25	6.46	461	9.4	29	26.6
		50	6.50	462	9.5	33	31.6
		75	6.30	461	9.7	39	35.5
		100	6.58	461	9.5	28	25.4

Fuente: elaboración propia.

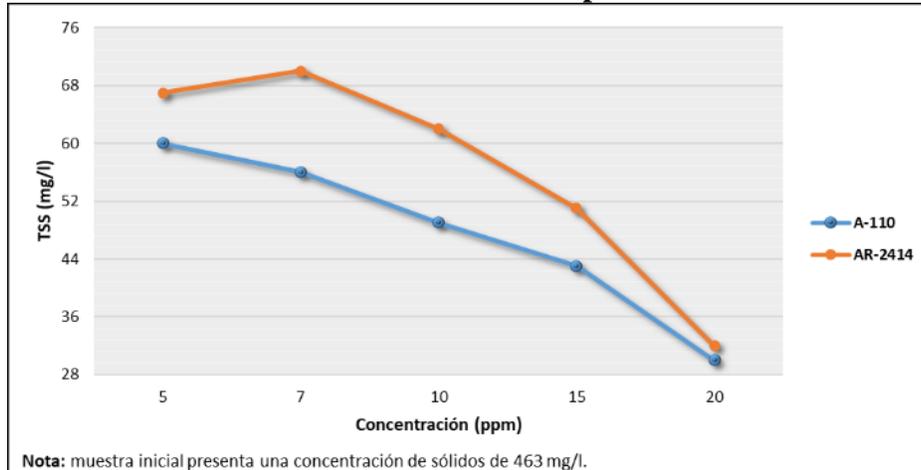
Gráfico 10. Prueba 8. TSS vs. Dosificación AR-2414



Fuente: elaboración propia.

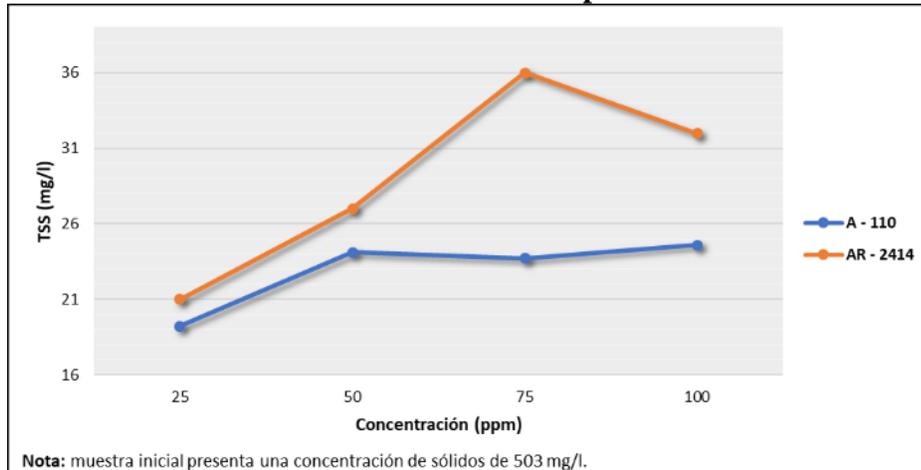
Para la determinación del polímero A-110 como mejor floculante en comparación al AR-2414, se tomó la eficiencia en la reducción de la concentración de TSS como parámetro determinante; ello a partir de los datos obtenidos en las primeras 08 pruebas de jarras, con lo que se procedió a generar gráficas que permitieron visualizar la diferencia entre ambos polímeros. Las gráficas generadas se muestran a continuación.

Gráfico 11. Concentración de Sólidos Totales Suspendedos A-110 vs- AR-2414



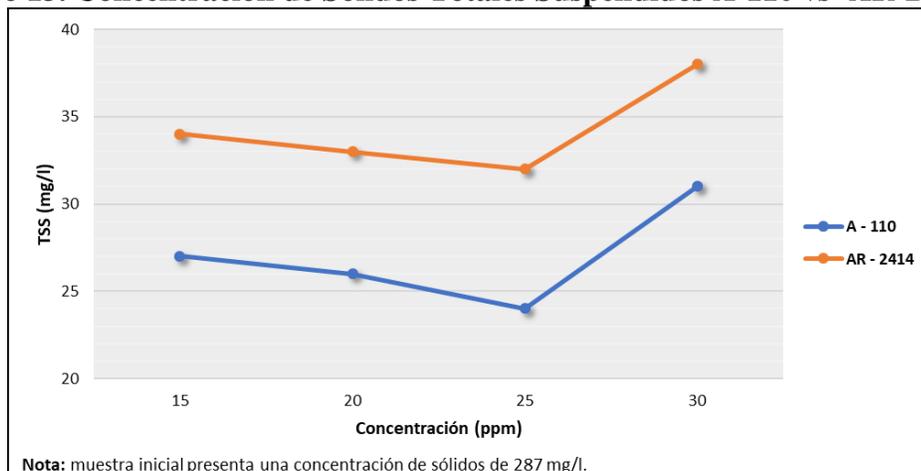
Fuente: elaboración propia.

Gráfico 12. Concentración de Sólidos Totales Suspendedos A-110 vs- AR-2414



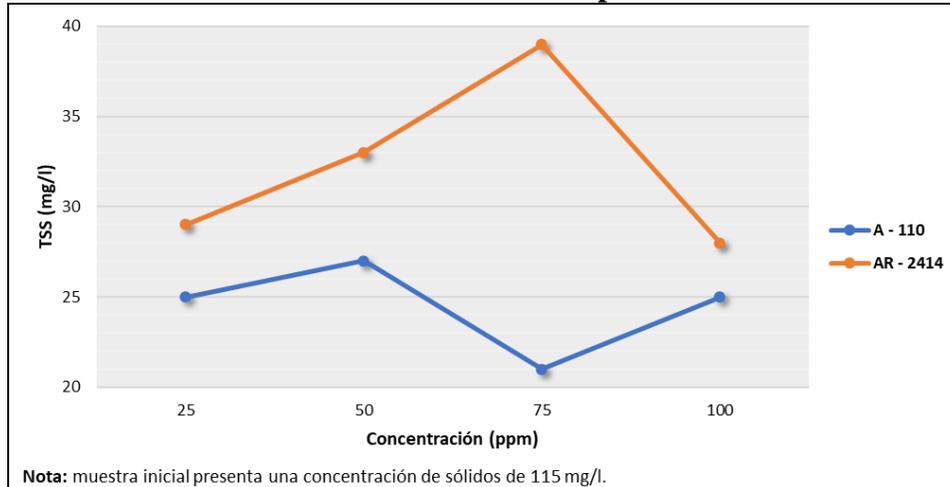
Fuente: elaboración propia.

Gráfico 13. Concentración de Sólidos Totales Suspendedos A-110 vs- AR-2414



Fuente: elaboración propia.

Gráfico 14. Concentración de Sólidos Totales Suspendidos A-110 vs- AR-2414



Fuente: elaboración propia.

Tal como se puede visualizar en los gráficos del 11 al 14, el polímero A-110 actúa como un floculante con mayor eficiencia en la reducción de la concentración de TSS en todas las pruebas realizadas.

Una vez determinado el polímero A-110 como floculante, se procedió a la segunda etapa de las pruebas de jarras donde se realizaron 04 pruebas con sulfato de aluminio como coagulante. La muestra inicial para todas las 04 pruebas presentó una concentración de 450 mg/l en TSS.

La concentración inicial para el sulfato de aluminio fue de 0.5% con una dosificación de 3 ppm, esto en base a la revisión bibliográfica que indica concentraciones entre 0.5 - 2.0% para el tratamiento de aguas industriales se tomó la decisión de iniciar con el menor valor del rango. Luego la concentración de sulfato de aluminio se elevó de 0.5% a 1.0% con una dosificación de 10 ppm.

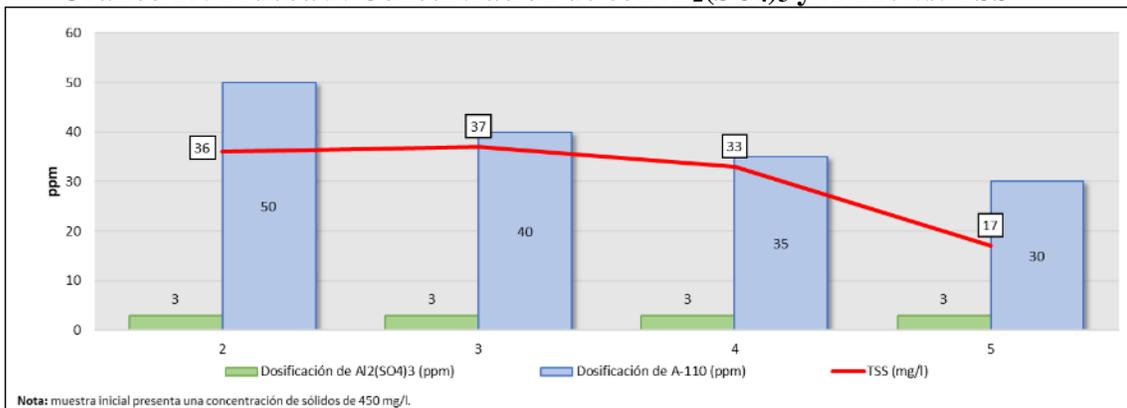
De las pruebas realizadas se obtuvo la dosis óptima para el coagulante y floculante, logrando reducir la concentración inicial de sólidos en un 97.6%. Los resultados se detallan en las tablas 13 al 16.

Tabla 13. Prueba 9 con $Al_2(SO_4)_3$ y A-110

Coagulante	Concentración de $Al_2(SO_4)_3$ (%)	Dosificación de $Al_2(SO_4)_3$ (ppm)	Floculante	Concentración de A-110 (%)	Dosificación de A-110 (ppm)	pH	Conduc. (uS/cm)	Temp. (°C)	TSS (mg/l)	Turbidez (NTU)
Muestra	-	-	-	-	-	6.82	406	6.0	450	445.7
Sulfato de Aluminio	0.5	3	A - 110	0.5	50	6.67	403	8.3	36	28.7
		3			40	6.65	402	8.1	37	29.9
		3			35	6.65	401	8.0	33	25.9
		3			30	6.66	401	8.0	17	15.5

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 15. Prueba 9. Concentración de con $Al_2(SO_4)_3$ y A-110 vs. TSS



Fuente: elaboración propia.

De la prueba 9, se puede evidenciar que existe una disminución considerable de la concentración de TSS con respecto a la muestra inicial de 450 mg/l de sólidos, teniendo como menor valor de TSS 17 mg/l.

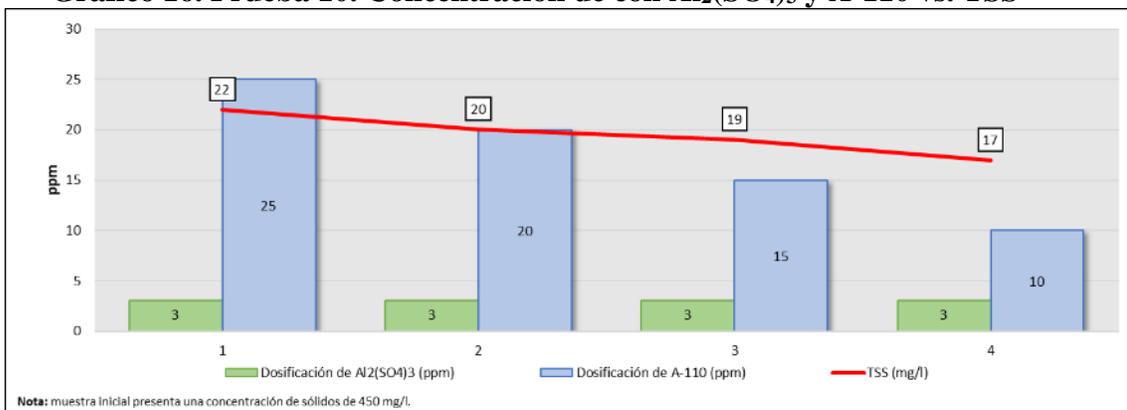
Asimismo, se evidencia una tendencia a la baja en la concentración de sólidos, es por lo que se continua con la prueba 10.

Tabla 14. Prueba 10 con $Al_2(SO_4)_3$ y A-110

Coagulante	Concentración de $Al_2(SO_4)_3$ (%)	Dosificación de $Al_2(SO_4)_3$ (ppm)	Floculante	Concentración de A-110 (%)	Dosificación de A-110 (ppm)	pH	Conduc. (uS/cm)	Temp. (°C)	TSS (mg/l)	Turbidez (NTU)
Muestra	-	-	-	-	-	6.82	406	6.0	450	445.7
Sulfato de Aluminio	0.5	3	A - 110	0.5	25	6.66	401	9.2	22	16.8
		3			20	6.66	401	9.3	20	15.7
		3			15	6.67	402	9.2	19	16.6
		3			10	6.65	403	9.2	17	15.6

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 16. Prueba 10. Concentración de con $Al_2(SO_4)_3$ y A-110 vs. TSS



Fuente: elaboración propia.

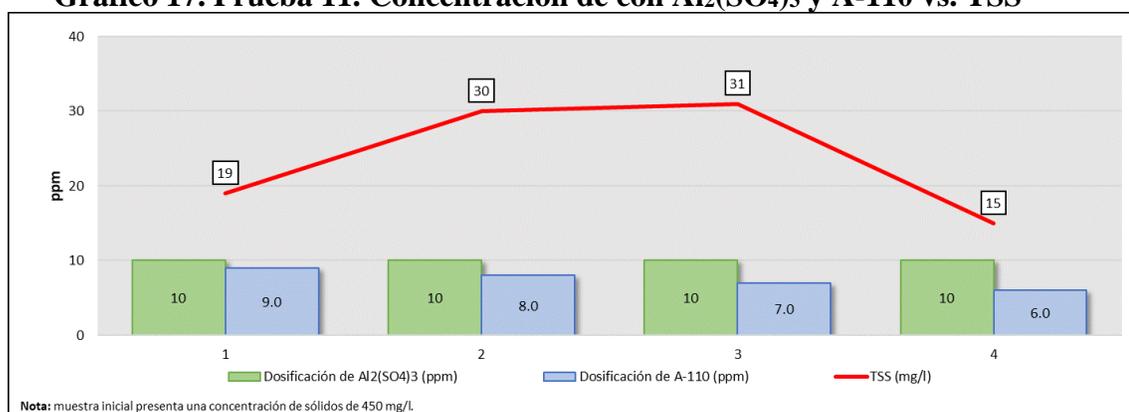
Los resultados de la prueba 10 evidencia mejores resultados en la concentración final de TSS cuando se dosifica 3 ppm de sulfato de aluminio y 10 ppm de A-110. Se continúa evidenciando la misma tendencia a la baja respecto a la concentración de TSS.

Tabla 15. Prueba 11 con $Al_2(SO_4)_3$ y A-110

Coagulante	Concentración de $Al_2(SO_4)_3$ (%)	Dosificación de $Al_2(SO_4)_3$ (ppm)	Floculante	Concentración de A-110 (%)	Dosificación de A-110 (ppm)	pH	Conduc. (uS/cm)	Temp. (°C)	TSS (mg/l)	Turbidez (NTU)
Muestra	-	-	-	-	-	6.82	406	6.0	450	445.7
Sulfato de Aluminio	1.00	10	A - 110	0.5	9.0	6.65	402	8.9	19	15.9
		10			8.0	6.64	403	8.8	30	23.8
		10			7.0	6.61	401	8.9	31	25.7
		10			6.0	6.60	402	8.9	15	12.1

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 17. Prueba 11. Concentración de con $Al_2(SO_4)_3$ y A-110 vs. TSS



Fuente: elaboración propia.

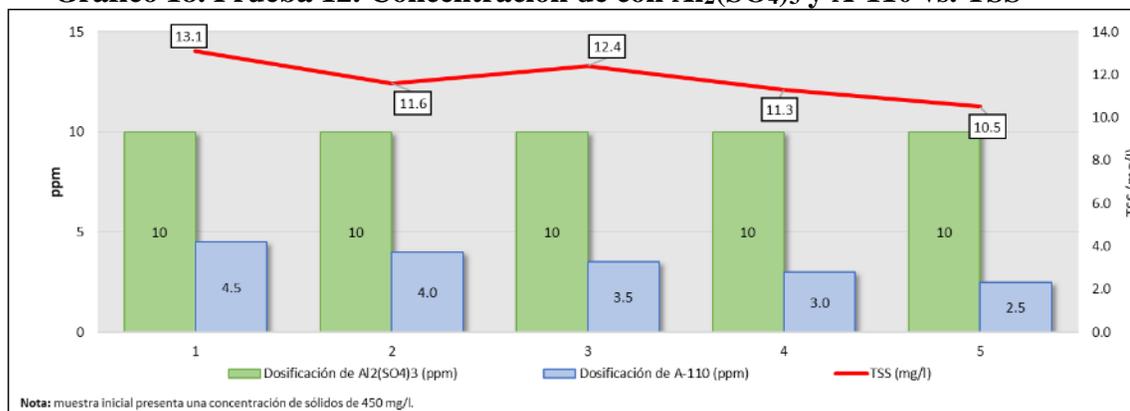
En la prueba 11, se obtuvo una menor concentración de TSS igual a 15 mg/l al utilizar sulfato de aluminio y A-110 a concentraciones de 1.0% y 0.5% y dosificaciones de 10 ppm y 6.0 ppm respectivamente. La última prueba se trabajó reduciendo aún más la dosificación del floculante A-110 y manteniendo constante la del sulfato de aluminio.

Tabla 16. Prueba 12 con $Al_2(SO_4)_3$ y A-110

Coagulante	Concentración de $Al_2(SO_4)_3$ (%)	Dosificación de $Al_2(SO_4)_3$ (ppm)	Floculante	Concentración de A-110 (%)	Dosificación de A-110 (ppm)	pH	Conduc. (uS/cm)	Temp. (°C)	TSS (mg/l)	Turbidez (NTU)
Muestra	-	-	-	-	-	6.82	406	6.0	450	445.7
Sulfato de Aluminio	1.0	10	A - 110	0.5	4.5	6.77	401	8.3	13.1	11.5
		10			4.0	6.77	402	8.5	11.6	9.46
		10			3.5	6.77	403	8.5	12.4	10.6
		10			3.0	6.78	400	8.4	11.3	9.22
		10			2.5	6.78	402	8.4	10.5	8.95

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 18. Prueba 12. Concentración de con $Al_2(SO_4)_3$ y A-110 vs. TSS



Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos en la prueba 12 nos muestran valores de TSS muy por debajo del LMP de 50 mg/l y de los valores actuales que se vienen manejando en la operación del sistema de tratamiento físico químico de agua de mina en la UOA.

5.2 Resultados inferenciales.-

5.2.1 Pruebas de Jarras.-

La menor concentración de TSS que se logró obtener en la prueba 12 fue de 10.5 mg/l, la concentración y dosificación adicionada de sulfato de aluminio y A-110 se indica en la tabla 17.

Tabla 17. Concentración y dosificación de coagulante y floculante

		Concentración (%)	Dosificación (ppm)
Coagulante	$Al_2(SO_4)_3$	1.0	10.0
Floculante	A-110	0.5	2.5

Fuente: elaboración propia.

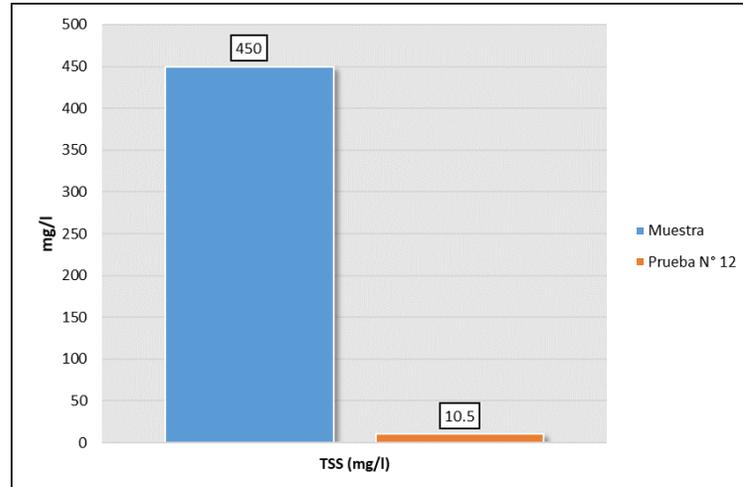
La reducción de TSS en el efluente de mina de la UOA se reduce en un 97.6%, de 450 mg/l a 10.5 mg/l con la adición de sulfato de aluminio y A-110 (ver tabla 18).

Tabla 18. Concentración de TSS

	TSS (mg/l)	Turbidez (NTU)
Muestra	450	445.7
Prueba N° 12	10.5	8.92

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 19. Concentración de TSS muestra vs. Prueba 12



Fuente: elaboración propia.

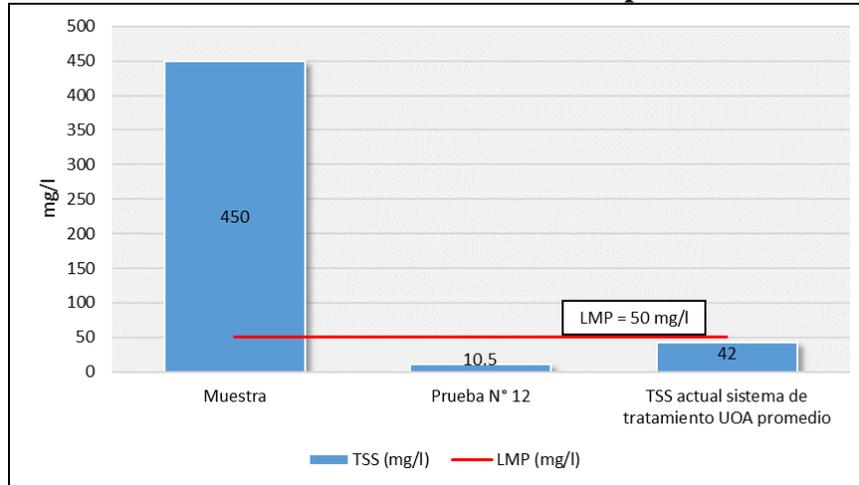
Comparando el resultado obtenido en la prueba 12 con los actuales valores que se manejan en la operación del sistema de tratamiento físico químico de la UOA y LMP's, se evidencia que la concentración de 10.5 mg/l va a permitir que el sistema de tratamiento físico químico funcione con un mayor rango de confianza en casos que por razones propias de la operación minera el ingreso de sólidos al sistema de tratamiento físico químico sea mayor a 450 mg/l (**ver gráfico 20. Concentración de sólidos totales suspendidos vs. LMP**).

Tabla 19. Concentración de TSS vs. LMP

	TSS (mg/l)	LMP (mg/l)
Muestra	450	50
Prueba N° 12	10.5	50
TSS actual sistema de tratamiento UOA promedio	42	50

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 20. Concentración de Sólidos Totales Suspendedos vs. LMP



Fuente: elaboración propia.

5.2.2 Test de sedimentación.-

Luego de haber realizado las pruebas de jarras y obtenido las concentraciones óptimas de coagulante y floculante, se requiere conocer la velocidad de sedimentación (V_s) de los sólidos a través del criterio de sedimentación vertical, para ello se realizó una prueba experimental en laboratorio con una muestra de efluente de 1 litro, a una concentración de TSS de 450 mg/l. El procedimiento seguido para la determinación de la velocidad de sedimentación se indica en el Anexo N° 5.

Los resultados obtenidos del test de sedimentación se muestran en la tabla N° 20.

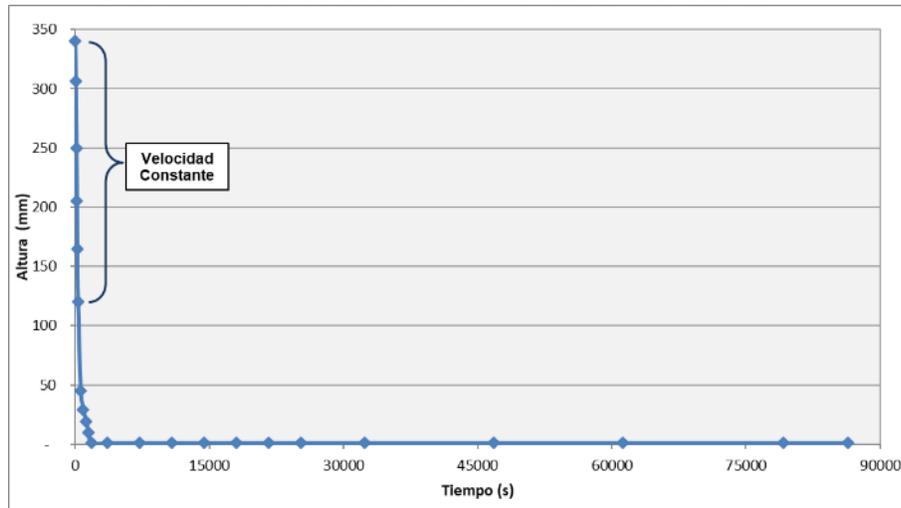
Tabla 20. Test de Sedimentación

Tiempo (s)	Tiempo (min)	Altura (mm)	Gradiente (mm)	Velocidad (mm/s)	Velocidad (m/s)
0	0	-	340	-	-
60	1	34	306	0.567	0.000567
120	2	90	250	0.750	0.000750
180	3	135	205	1.125	0.001125
240	4	175	165	0.972	0.000972
300	5	220	120	0.917	0.000917
600	10	295	45	0.983	0.000983
900	15	311	29	0.518	0.000518
1200	20	321	19	0.357	0.000357
1500	25	330	10	0.275	0.000275
1800	30	339	1	0.226	0.000226
3600	60	339	1	0.188	0.000188
7200	120	339	1	0.094	0.000094
10800	180	339	1	0.047	0.000047
14400	240	339	1	0.031	0.000031
18000	300	339	1	0.024	0.000024
21600	360	339	1	0.019	0.000019
25200	420	339	1	0.016	0.000016
32400	540	339	1	0.013	0.000013
46800	780	339	1	0.010	0.000010
61200	1020	339	1	0.007	0.000007
79200	1320	339	1	0.006	0.000006
86400	1440	339	1	0.004	0.000004

Fuente: elaboración propia.

Para la determinación de V_s es necesario conocer la zona donde la velocidad se mantiene constante, por ello fue necesario generar una gráfica que nos permita visualizar dicha zona (**ver gráfico 21. Velocidad de sedimentación constante**).

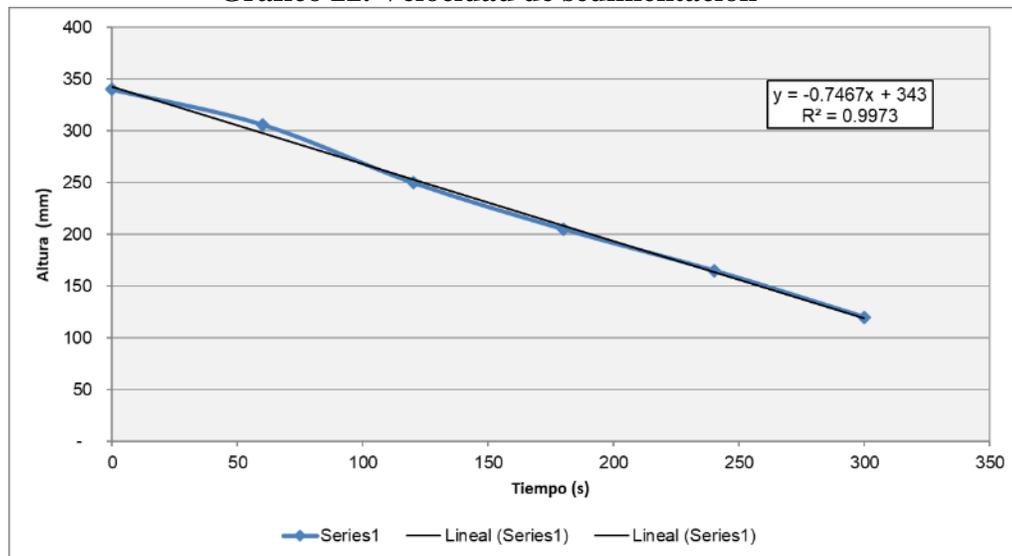
Gráfico 21. Velocidad de sedimentación constante



Fuente: elaboración propia.

Del gráfico 21, se puede apreciar que la velocidad se mantiene constante en la zona donde la tangente permanece constante y eso se da entre una altura de 120 – 340 mm. Seguidamente se procede a generar una gráfica que nos permita obtener una ecuación para determinar la V_s (ver gráfico 22. Velocidad de sedimentación).

Gráfico 22. Velocidad de sedimentación



Fuente: elaboración propia.

En la gráfica 22, fue necesario realizar una regresión lineal para obtener la ecuación que permita determinar la V_s , la cual queda determinada por:

$$H = 0.7467t + 343$$

Conociendo que:

$$v = -\frac{dH}{dt}$$

Se tiene que la Vs es:

$$V = 0.7467 \text{ mm/s}$$

$$V = 2.688 \text{ m/h}$$

5.3 Otros resultados.-

5.3.1 Peso seco.-

Luego que se determinó la velocidad de sedimentación de los sólidos, se procedió a determinar el peso seco en la muestra con una concentración inicial de TSS de 450 mg/l. Para ello fue necesario filtrar la muestra, seguidamente se procedió a colocar el papel filtro con los sólidos capturados sobre una luna de reloj previamente tarada en la balanza, luego se lleva los sólidos húmedos al horno y se procede a pesar obteniéndose:

$$\text{Peso seco} = 0.32 \text{ g}$$

5.3.2 Porcentaje de sólidos.-

Para la determinación del porcentaje de sólidos en la muestra inicial se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Concentración de sólidos (\%)} = \frac{\text{Peso seco}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

La determinación del peso de la muestra se realiza con el pesaje de la probeta vacía y probeta con muestra, los resultados se muestran en la tabla 21.

Tabla 21. Test de Sedimentación

Peso inicial de la probeta + muestra	g	1657.6
Tara de la probeta	g	670.2
Volumen de la probeta	ml	1000.0
Peso Seco	g	0.32
Peso de la muestra	g	987.40
Densidad de muestra	g/ml	0.99
Concentración de Sólidos	%	0.032

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Concentración de sólidos (\%)} = \frac{0.32}{987.4} \times 100$$

$$\text{Concentración de sólidos (\%)} = 0.032\%$$

La metodología utilizada para la determinación del porcentaje de sólidos (%) se muestra en el Anexo N° 6.

5.3.3 Comparación con los Límites Máximos Permisibles.-

Al tratarse de un efluente minero, es de suma importancia comparar los resultados obtenidos con los establecidos en el D.S. 010-2010-MINAM Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas.

El análisis de los parámetros se realizó en el laboratorio químico metalúrgico interno de la UOA y en un laboratorio externo acreditado por el INACAL. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 22, asimismo el reporte del laboratorio externo se indica en el Anexo N° 7.

Tabla 22. Límites Máximos Permisibles

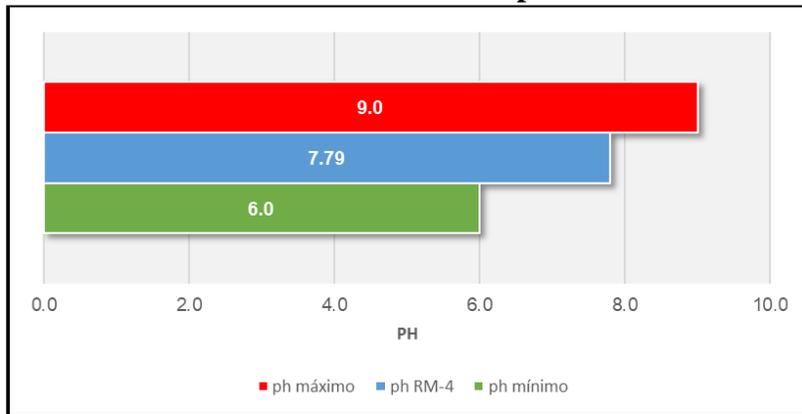
Parámetro	Unidad	RM-1	RM-4	D.S. N° 010-2010-MINAM			
				Límite en cualquier momento		Límite para el promedio anual	
pH		7.78	7.79	6	9	6	9
Sólidos totales en suspensión *	mg/l	450	10.5	50		25	
Aceites y grasas	mg/l	<0.5	<0.5	20		16	
Cianuro total *	mg/l	<0.02	<0.02	1		0.8	
Arsénico total	mg/l	0.036	0.0192	0.1		0.08	
Cadmio total	mg/l	<0.002	<0.002	0.05		0.04	
Cromo hexavalente	mg/l	<0.01	<0.01	0.1		0.08	
Cobre total *	mg/l	0.02	<0.02	0.5		0.4	
Hierro (disuelto) *	mg/l	1.51	1.09	2		1.6	
Plomo total *	mg/l	<0.02	<0.02	0.2		0.16	
Mercurio total	mg/l	0.0002	<0.0001	0.002		0.0016	
Zinc total *	mg/l	0.04	<0.02	1.5		1.2	

Fuente: elaboración propia.

(*) Parámetros analizados en laboratorio químico metalúrgico de la UOA.

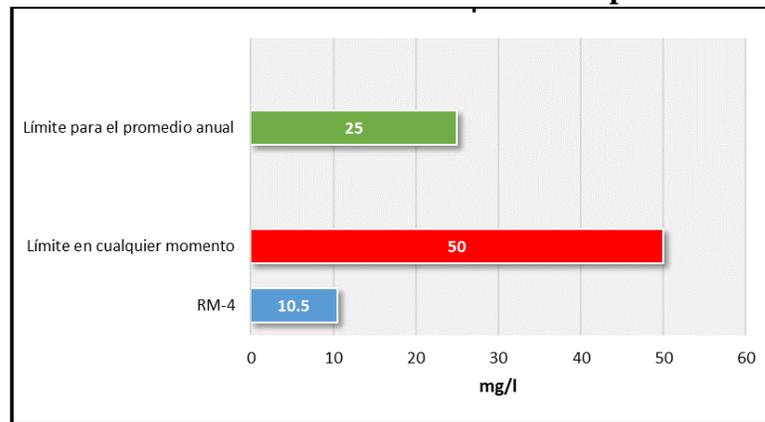
Los valores obtenidos de los parámetros medidos se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa ambiental.

Gráfico 23. Valores de pH



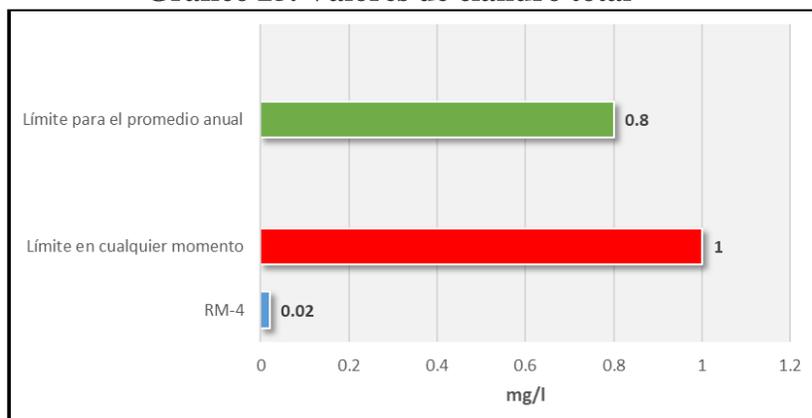
Fuente: elaboración propia.

Gráfico 24. Valores de sólidos totales en suspensión



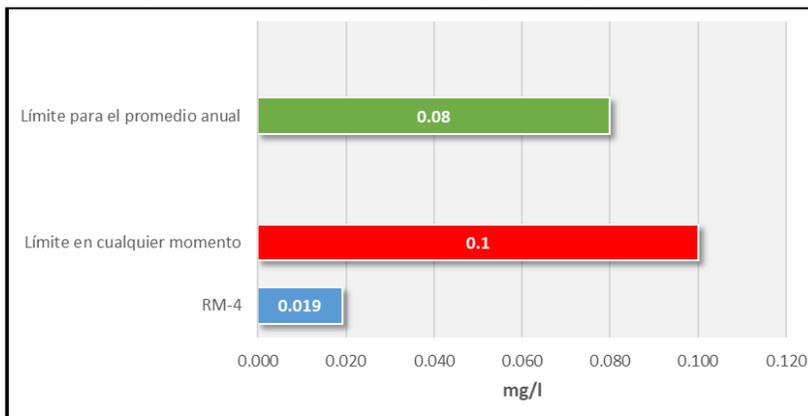
Fuente: elaboración propia.

Gráfico 25. Valores de cianuro total



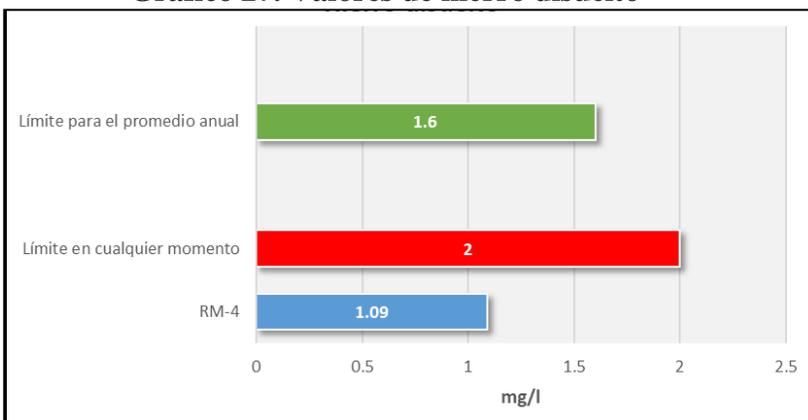
Fuente: elaboración propia.

Gráfico 26. Valores de arsénico total



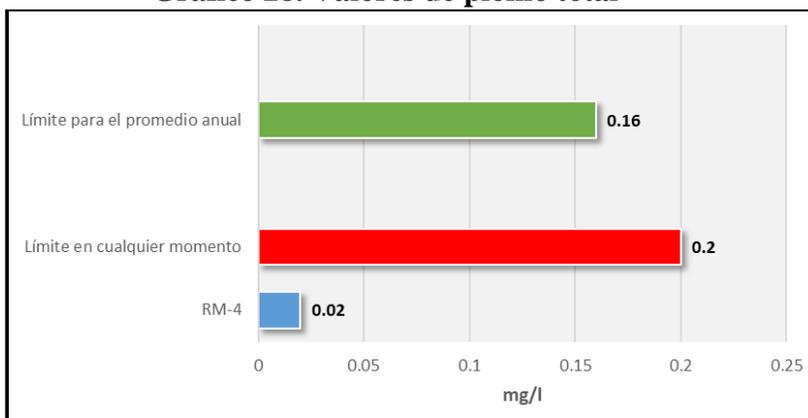
Fuente: elaboración propia.

Gráfico 27. Valores de hierro disuelto



Fuente: elaboración propia.

Gráfico 28. Valores de plomo total



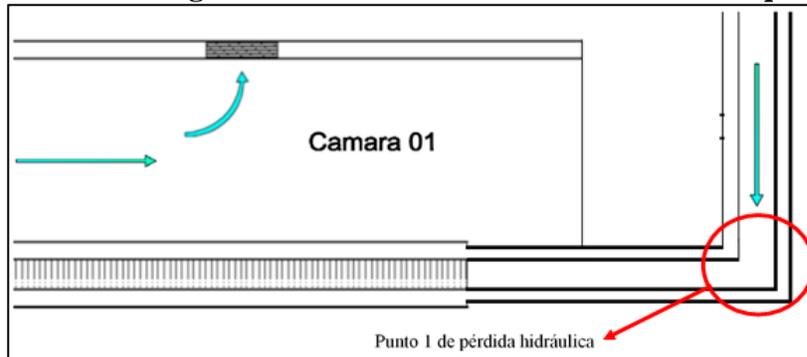
Fuente: elaboración propia.

5.3.4 Zona de pérdidas hidráulicas.-

Luego de concluidas las pruebas de jarras se evaluó el actual sistema de tratamiento físico químico con el objetivo de identificar las zonas de pérdidas hidráulicas que causan la rotura de los flóculos, para ello se realizó la observación directa en campo de todo el sistema de tratamiento físico químico de la UOA, encontrándose 02 zonas principales de pérdidas hidráulicas.

El primer punto (figura 5) donde se identificó la pérdida hidráulica se ubica al ingreso del actual sistema de tratamiento físico químico de la UOA, a unos 15m aproximadamente de la zona de adición de floculante, en dicha zona, el flujo de ingreso proveniente de interior mina choca violentamente con el muro de concreto del canal de ingreso en un ángulo de 90°, produciendo la rotura de los flóculos formados.

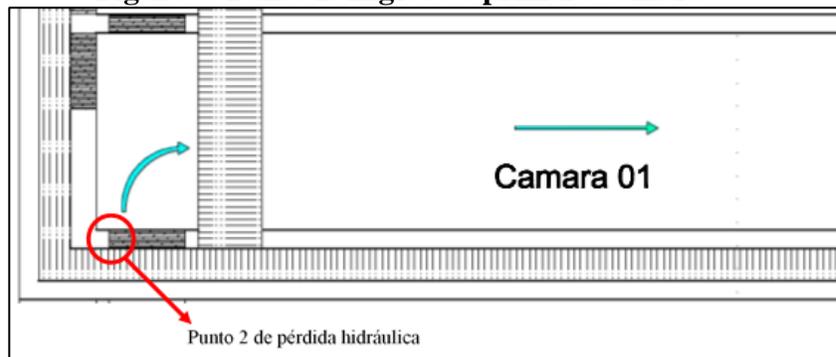
Figura 5. Punto 1. Ingreso actual sistema de tratamiento físico químico



Fuente: Elaboración propia

El segundo punto de pérdida hidráulica (figura 6), se ubica a unos 28m del punto de ingreso, igualmente se genera la rotura de los flóculos que se han podido volver a formar desde el primer punto hasta el ingreso a la primera cámara de decantación.

Figura 6. Punto 2. Ingreso a primera cámara



Fuente: Elaboración propia

5.3.5 Dosificación de coagulante y floculante a sistema de tratamiento físico químico de agua de mina de UOA.-

Tanto para el coagulante (sulfato de aluminio) como para el floculante (A-110) se debe calcular el flujo volumétrico con el uso de la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{m}{C}$$

Donde:

m = flujo másico

C = concentración

Q = flujo volumétrico

De la fórmula indicada se requiere calcular previamente el flujo másico, teniendo en cuenta la dosificación (ppm) y caudal promedio (m³/h).

a) Cálculo de la dosificación del coagulante – Sulfato de aluminio

En la tabla 23, se muestran los datos requeridos para los cálculos respectivos.

Tabla 23. Datos: coagulante – Sulfato de Aluminio

Coagulante	Sulfato de Aluminio
Concentración (%)	1.0
Dosificación (ppm)	10
Caudal promedio del efluente	164.52 m3/h

Fuente: elaboración propia.

En primer lugar, se procede a calcular el flujo másico:

$$10 \text{ ppm} = 10 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times 164.52 \frac{\text{m}^3}{\text{H}} = 1645.2 \frac{\text{g}}{\text{H}}$$

$$1645.2 \frac{\text{g}}{\text{H}} = 1.6452 \frac{\text{Kg}}{\text{H}}$$

Seguidamente, se procede al cálculo del flujo volumétrico:

$$Q = \frac{1.6452 \text{ Kg/H}}{0.01 \text{ Kg/L}}$$

$$Q = 164.52 \frac{\text{L}}{\text{H}}$$

Del resultado obtenido, se tiene que la bomba dosificadora para el sulfato de aluminio debe ser regulada a un flujo de 164.52 L/H.

b) Cálculo de la dosificación del floculante – A-110

En la tabla N° 24, se muestran los datos requeridos para los cálculos respectivos.

Tabla 24. Datos floculante – A-110

Floculante	A-110
Concentración (%)	0.5
Dosificación (ppm)	2.5
Caudal promedio del efluente	164.52 m ³ /h

Fuente: elaboración propia.

En primer lugar, se procede a calcular el flujo másico:

$$2.5 \text{ ppm} = 2.5 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times 164 \frac{\text{m}^3}{\text{H}} = 411.3 \frac{\text{g}}{\text{H}}$$

$$411.3 \frac{\text{g}}{\text{H}} = 0.4113 \frac{\text{Kg}}{\text{H}}$$

Seguidamente, se procede al cálculo del flujo volumétrico:

$$Q = \frac{0.4113 \text{ Kg/H}}{0.005 \text{ Kg/L}}$$

$$Q = 82.26 \frac{\text{L}}{\text{H}}$$

Del resultado obtenido, se tiene que la bomba dosificadora para el A-110 debe ser regulada a un flujo de 82.26 L/H.

c) Consumo diario de coagulante y floculante.-

El consumo diario de reactivos se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{Consumo de reactivo} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{día}} \right) = Q \times D \times 0.0864$$

Donde:

Q = caudal promedio (L/s)

D = dosificación (mg/L)

Consumo para el coagulante – Sulfato de Aluminio

$$\text{Consumo de reactivo} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{día}} \right) = 45.7 \frac{\text{L}}{\text{s}} \times 10 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0.0864$$

$$\text{Consumo de reactivo} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{día}} \right) = 39.48 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}$$

Consumo para el floculante – A-110

$$\text{Consumo de reactivo } \left(\frac{\text{Kg}}{\text{día}}\right) = 45.7 \frac{\text{L}}{\text{s}} \times 2.5 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0.0864$$

$$\text{Consumo de reactivo } \left(\frac{\text{Kg}}{\text{día}}\right) = 9.87 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}$$

Como resumen, en la tabla N° 25 se muestra en consumo diario y mensual de reactivos.

Tabla 25. Consumo de reactivos

	Consumo (Kg)	
	Diario	Mensual
Sulfato de aluminio	39.48	1184.4
A-110	9.87	296.1

Fuente: elaboración propia.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Contratación de la hipótesis.-

Los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas permiten reafirmar la hipótesis inicial del presente informe, la cual es la siguiente:

“LA EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO DEL EFLUENTE DE AGUA DE MINA VA A MEJORAR LA CALIDAD DEL EFLUENTE TRATADO, CUMPLIENDO CON ELLO LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL VIGENTE”.

El mayor problema en la operación actual del sistema de tratamiento físico químico del efluente de mina de la UOA es la concentración de sólidos totales suspendidos presente en la descarga del efluente al ambiente, que presenta valores muy cercanos al límite máximo permisible de 50 mg/l, sin embargo, luego de haber realizado las pruebas de jarras y haber obtenido las concentraciones óptimas de coagulante, floculante, tiempos de mezcla rápida y lenta, se ha logrado una concentración final de TSS de 10.5 mg/l, valor muy por debajo del LMP, incluso de los 25 mg/l que es el valor límite de promedio anual establecido en la normativa ambiental vigente.

Los valores referidos a metales totales y disuelto (hierro) todos se encuentran muy por debajo de los LMP, asimismo, la concentración de cianuro total y el valor de pH se encuentran dentro de los establecido.

Los valores de los parámetros establecidos en el D.S. 010-2010-MINAM se muestran en la tabla 22.

6.2 Contratación de los resultados con estudios similares.-

Previo a las pruebas de jarras realizadas en la presente investigación se llevaron a cabo 02 estudios para la mejora del sistema de tratamiento físico químico, por parte de la empresa ARENAS SRL y el Laboratorio de Investigaciones Metalúrgicas de la UOA. Ambos estudios utilizaron como coagulantes y floculantes reactivos industriales que se usan principalmente como insumos químicos en el proceso de concentración de minerales.

El informe presentado por la empresa ARENAS SRL se detalla en el Anexo N° 8 y, el correspondiente al informe del Laboratorio de Investigaciones Metalúrgicas de la UOA en el Anexo N° 9.

Considerando la concentración de sólidos totales suspendidos – TSS, los resultados obtenidos en el presente informe son muy similares a los de la empresa ARENAS SRL, considerando la medida de la turbidez.

Tabla 26. Comparación de resultados

		Coagulante	Floculante	TSS (ppm)	Turbidez (NTU)
		AR-345	AR-2414		
ARENAS SRL	Concentración (%)	0.1	0.05	-	7.23
	Dosificación (ppm)	30.0	5.0		
TESIS	Concentración (%)	1	0.5	10.5	8.92
	Dosificación (ppm)	10	2.5		

Fuente: elaboración propia.

Respecto a los costos asociados al consumo mensual de reactivos, se tiene en inicio el costo por kilogramo de cada reactivo según el mercado nacional, ver tabla 27.

Tabla 27. Costos por Kg de cada reactivo

	Costo (USD/kg)	Presentación
AR-345	1.82	Cilindro de 270 kg
AR-2414	5.20	Sacos de 25 Kg
Sulfato de Aluminio	0.82	Sacos de 25 Kg
A-110	296.10	Sacos de 25 Kg

Fuente: elaboración propia en base a costos del mercado nacional.

De los estudios realizados previamente por el Laboratorio Metalúrgico y la empresa ARENAS SRL, se tienen costos calculados en base a un caudal promedio de 103 608 m³/mes; sin embargo, para el presente estudio el caudal promedio ha sido de 118 454 m³/mes, y es por ello que se ha actualizado los consumos y costos de los estudios previos (ver tablas 28 y 29).

Tabla 28. Costos Laboratorio Metalúrgico

LABORATORIO METALÚRGICO					
Polímero		Consumo x mes (kg)	Costo (USD/mes)	Consumo actualizado (Kg/mes)	Costo actualizado (USD/mes)
Coagulante	AR-345	622.08	1132.19	711.22	1294.42
Floculante	AR-2414	103.68	539.14	118.54	616.39
			USD 1,671.33		USD 1,910.81

Fuente: elaboración propia en base a estudio del Laboratorio Metalúrgico.

Tabla 29. Costos ARENAS SRL

ARENAS SRL					
Polímero		Consumo x mes (kg)	Costo (USD/mes)	Consumo actualizado (Kg/mes)	Costo actualizado (USD/mes)
Coagulante	AR-345	540.00	982.80	617.38	1123.63
Floculante	AR-2414	125.00	650.00	142.91	743.14
			USD 1,632.80		USD 1,866.76

Fuente: elaboración propia en base a estudio de ARENAS SRL.

Para el actual estudio, los costos por el consumo de reactivos mensual, se muestra en la tabla 30.

Tabla 30. Costos TESIS

TESIS				
Polímero		Consumo x mes (kg)	Costo (USD/kg)	Costo (USD/mes)
Coagulante	Sulfato de aluminio	1184.40	0.82	969.05
Floculante	A-110	296.10	3.2	947.52
				USD 1,916.57

Fuente: elaboración propia.

Como resumen de los costos de los 03 estudios realizados se tiene la tabla 31.

Tabla 31. Costos resumen

	Costo (USD/mes)
Laboratorio Metalúrgico	USD 1,910.81
ARENAS SRL	USD 1,866.76
Tesis	USD 1,916.57

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

- De la caracterización del efluente minero en distintos puntos en interior mina y superficie se concluyó que el pH no genera un problema sobre el tratamiento, si bien en ciertos puntos monitoreados el pH se encontraba por debajo de 7, pH ácido, este se elevaba al llegar a superficie por la mezcla con flujos de agua naturales y otros que entran en contacto con el relleno hidráulico que tiene un pH alcalino.
- Se logró disminuir la concentración de sólidos totales suspendidos por debajo del valor promedio anual de 25 mg/l establecido en el D.S. 010-2010-MINAM, llegando incluso a 10.5 mg/l.
- En base a las pruebas de jarras realizadas, las dosis óptimas de coagulante (sulfato de aluminio) y floculante (A-110) obtenidas fueron de 10ppm y 2.5ppm respectivamente, para una muestra con una concentración inicial de sólidos suspendidos totales de 450 mg/l.
- Se determinó la velocidad de sedimentación en 2.688 m/h para una concentración de TSS inicial de 450 mg/l a partir del test de sedimentación vertical.
- Se determinó como tiempos óptimos para la mezcla rápida y mezcla lenta en 5 segundos y 10 minutos respectivamente, y se establecieron como velocidad de mezcla 300 y 50 RPM para cada mezcla. Tanto los tiempos óptimos como las velocidades de mezclan son dependientes entre sí, es decir, si uno varía el otro también lo hará.
- Con los tiempos óptimos y velocidades establecidas para la mezcla rápida y lenta se garantizó la mezcla tanto del coagulante como floculante con el agua de mina, y a su vez la formación de flóculos y sedimentación de los mismos.
- De lo inspeccionado en campo del actual sistema de tratamiento físico químico de la UOA se identificaron 02 zonas donde se produce las pérdidas hidráulicas, en estas zonas se produce el golpe de agua en un ángulo de 90° luego de adicionar el floculante generando la rotura de los flóculos.
- Si bien los costos por el consumo mensual de reactivos en el presente estudio se encuentran ligeramente por encima de los otros 02 estudios, 0.3% por encima del Laboratorio Metalúrgico y 2.67% de ARENAS SRL, es necesario también tomar en

cuenta el costo ambiental respecto a los posibles cambios y/o residuos que puedan generar los reactivos en las aguas tratadas, esto principalmente al uso de los reactivos AR-2414 y AR-345 que son polímeros utilizados en el proceso metalúrgico de recuperación de minerales. En el caso del sulfato de aluminio, es bien conocido que este reactivo es amigable con el medio ambiente, razón por la cual es utilizado en el tratamiento del agua potable.

RECOMENDACIONES

- La caracterización de las aguas de mina debe realizarse con frecuencia, con el objetivo de conocer las características de las aguas y poder determinar el comportamiento de los parámetros físico químicos, con ello garantizar el adecuado tratamiento de las aguas dando cumplimiento de la calidad del efluente de mina en base a los parámetros establecidos en el D.S. 010-2010-MINAM.
- Las pruebas de jarras se deben realizar de manera periódica con el objetivo de conocer las concentraciones adecuadas de coagulante y floculante según la concentración de TSS del agua de mina que ingresa al sistema de tratamiento físico químico de la UOA; con ello se puede llegar incluso a implementar un sistema automatizado de dosificación de reactivos.
- La velocidad de sedimentación debe ser calculada a la par que se realizan las pruebas de jarras, con ello se podrán obtener valores más certeros y mejorar aún más los parámetros de tratamiento.
- El ingreso del agua de mina al sistema de tratamiento físico químico, post a la adición del coagulante y floculante, se debe realizar a través de un canal parshall de tal forma que el flujo de ingreso hacia la primera cámara de sedimentación sea laminar y no turbulento, garantizando la no rotura de los flóculos formados.
- La adición del sulfato de aluminio se debe realizarse en el punto de llegada del agua de mina bombeada de interior mina a superficie y a través de una tubería en forma de quena que se coloque de forma transversal al canal de concreto de ingreso al sistema de tratamiento físico químico.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS

- Cárdenas, Y. (2000). **SEDAPAL – Tratamiento de Agua: Coagulación y Floculación.** Lima – Perú.
- Caballero, A. (2009). **Análisis Comparativo entre la Salida y la Descarga de Efluentes Provenientes de las Minas de Carbón de Río Turbio – Santa Cruz.** Argentina. Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (2007). **Guía para el Diseño de Plantas de Tratamiento.** Buenos Aires – Argentina.
- Flandes, E. (2009). **Prueba de Jarras.** Veracruz – México.
- Golder Associates Perú S.A. (2000). **Estudio de Impacto Ambiental de Beneficio Ares.** Lima – Perú.
- Lagares, P. & Puerto, J. (2001). **Población y Muestra: Técnicas de Muestreo.** Sevilla – España.
- Maldonado, V. (2005). **Manual de Operación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable – SEDAM.** Huancayo – Perú.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006). **D.S. N° 011-2006-VIVIENDA, Normas Técnicas del Reglamento Nacional de Edificaciones - RNE.** Lima – Perú.
- Montesinos, M. (2017). **Caracterización de Efluentes de Mina para la Elección de la Alternativa Óptima de Tratamiento.** Lima – Perú.
- Organismo Panamericano para la Salud (2005). **Guía para el Diseño de Desarenadores y Sedimentadores.** Lima – Perú.
- Pedroza, E. (2001). **Canal Parshall – Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.** D.F. – México.
- Pérez, J & Cánepa de Vargas, L. **Coagulación – OMS.** México.
- Pérez, L. (2005). **Teoría de la Sedimentación.** Paraguay.
- Romero, M. (2002). Universidad Rafael Landívar – Facultad de Ingeniería. **Boletín Electrónico N° 8, Tratamientos Utilizados en Potabilización de Agua.** Guatemala.

- Santander, M., Paiva, M., Silva, R., Rubio, J. (2011). **Tratamiento de Riles del Sector Minero – Metalúrgico y Reutilización de las Aguas.** Copiapó – Chile, Porto Alegre – Brasil.
- SEGECO S.A. (2007). **Modificación del Estudio de Impacto Ambiental para el Recrecimiento del Depósito del Relaves de la Planta de Beneficio Ares.** Lima – Perú.
- Zapana, R. (2014). **Estudio de Remoción de Arsénico del Agua del Río Sama – Tacna, empleando Fe y Ácido Cítrico.** Tacna – Perú.

ANEXOS

Anexo N° 1

Pruebas de Jarras

Materiales y equipos requeridos

- Equipo de prueba de jarras, modelo Minimix Laboratory Mixer - EC Engineering.
- Turbidímetro portátil, modelo 2100 P – HACH.
- Espectrofotómetro portátil, modelo DR / 2010 – HACH.
- Equipo de medición Multiparámetro (pH, CE, temperatura), modelo HQ 40d – HACH.
- Equipo agitador de hélice, modelo Eurostar – IKA Werke.
- Equipo agitador magnético, modelo Cimarec 2 – Thermolyne.
- Balanza digital, modelo FX – 3000i, A & D.
- 01 probeta de 500ml.
- 04 jarras de 500ml.
- 06 vasos precipitados de 1000ml.
- 06 vasos precipitados de 100ml.
- 06 jeringas hipodérmicas de 5ml.
- 06 jeringas hipodérmicas de 50ml.
- Soluciones de sulfato de aluminio, A-110 y AR-2414 a distintas concentraciones.
- Cronómetro.

Metodología para la dosis óptima de coagulante y floculante

1. Como primer punto determinar los parámetros fisicoquímicos pH, conductividad, temperatura, turbidez y TSS en la muestra del efluente de mina.
2. Realizar el llenado de las jarras con el efluente de mina, utilizar la probeta para la medición correcta del volumen de efluente.
3. Seleccionar un rango de dosis a aplicar de coagulante. Colocar los volúmenes de coagulante que se van a agregar en cuatro vasos pequeños.
4. Succionar el contenido de cada vaso con una jeringa hipodérmica. Con las dosis completas colocar cada jeringa junto a la jarra correspondiente.
5. Proceder al encendido del equipo y seleccionar 300 rpm. Inyectar el contenido de cada jeringa con coagulante en la jarra correspondiente, realizar la inyección lo más rápido posible. Mantener la velocidad por 5 segundos (mezcla rápida).
6. Repetir los pasos 3 y 4 para la adición del floculante.

7. Adicionar el contenido de las jeringas con floculante y seguidamente disminuir la velocidad hasta 50 rpm, mantener esta velocidad durante 10 minutos (mezcla lenta).
8. Detener la agitación y retirar las paletas de la jarra, para simular la etapa de sedimentación durante un tiempo aproximado de 10 minutos.
9. Tomar una muestra de agua de cada jarra con ayuda de las jeringas y disponer la muestra en la celda de lectura del turbidímetro. Las muestras deben ser tomadas lo más rápido posible con el fin de evitar distintos tiempos de sedimentación entre jarras.
10. Realizar la medición de turbidez y TSS, agitar las muestras antes de realizar las lecturas respectivas.
11. Medir los demás parámetros de pH, conductividad y temperatura.
12. Anotar los resultados obtenidos y llevarlos a una plantilla de Excel. Seleccionar como dosis óptima aquella que produce la mayor remoción de sólidos.

Anexo N° 2

Hoja de Datos de Seguridad – Sulfato de Aluminio



HOJA DE SEGURIDAD

PRODUCTO

SULFATO DE ALUMINIO TIPO A

1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO QUÍMICO

NOMBRE DEL PRODUCTO:	Sulfato de Aluminio tipo A.
PROCEDENCIA:	Turquía
VIGENCIA DEL PRODUCTO:	3 años en las condiciones de almacenamiento indicadas.
APLICACIÓN:	Sal inorgánica utilizada principalmente como agente coagulante y floculante primario en el tratamiento de aguas de consumo humano, agua de piscinas y aguas residuales. Se caracteriza por agrupar los sólidos suspendidos en el agua y acelerar la sedimentación, contribuyendo a la disminución de la carga bacteriana, así como a la remoción del color y sabor.

2. COMPOSICIÓN/ INFORMACIÓN DE LOS COMPONENTES

DESCRIPCIÓN QUÍMICA:	Sulfato de Aluminio
Al₂O₃:	17% Min.
NÚMERO CAS:	10043-01-3
EINECS/ELINCS:	233-135-0

3. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

RESUMEN PARA CASOS DE EMERGENCIA:

¡PRECAUCIÓN! PUEDE CAUSAR IRRITACIÓN A LOS OJOS, PIEL Y EL TRACTO RESPIRATORIO. ES HIGROSCÓPICO (ABSORBE LA HUMEDAD DEL AIRE) SE ESPERA SUPONGA UN PELIGRO LEVE DURANTE LA USUAL MANIPULACIÓN INDUSTRIAL.

EFFECTOS POTENCIALES A LA SALUD:

INGESTIÓN

La ingestión de grandes cantidades puede causar irritación gastrointestinal. Se espera suponga leve daño por ingestión.

CONTACTO CON LOS OJOS

El polvo puede causar irritación mecánica.

Más información: www.quimicosgoicochea.com. E-mail: qgventas@quimicosgoicochea.com

Oficina Principal: Av. Néstor Gambetta 150 – CALLAO Tel.: (01) 614-4400
Sucursal Arequipa: Calle Victor F. Lira N° 107 Parque Industrial Tel.: (054) - 214417
Sucursal Trujillo: Mz. C - Lt 13 y 14 Remanso de Valdivia – Huanchaco Tel.: (044) - 659438



HOJA DE SEGURIDAD

PRODUCTO

SULFATO DE ALUMINIO

INHALACIÓN

Puede causar irritación al tracto respiratorio. Peligro leve durante la usual manipulación industrial.

CONTACTO CON LA PIEL

Puede causar irritación a la piel. Peligro leve durante la usual manipulación industrial.

EXPOSICIÓN CRÓNICA

No hay información disponible.

4. MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

INGESTIÓN

Si la víctima está consciente y alerta de 2-4 vasos de agua. No provocar el vómito. Nunca dar nada por la boca a una persona inconsciente. De atención médica inmediatamente.

CONTACTO CON LOS OJOS

Lave los ojos y párpados con abundante agua por lo menos 15 minutos. Levantando los párpados superior e inferior ocasionalmente. Acudir al médico inmediatamente.

INHALACIÓN

Saque a la víctima al aire fresco. Si no respira, de respiración artificial. Si la respiración es dificultosa, suministre oxígeno. De atención médica inmediatamente.

CONTACTO CON LA PIEL

Lave inmediatamente con agua por al menos 15 minutos. Mientras retira la ropa y zapatos contaminados. De atención médica si la irritación se desarrolla o persiste. Lavar la ropa antes de reutilizar.

5. MEDIDAS PARA EXTINCIÓN DE INCENDIOS

INFORMACIÓN GENERAL

Como en cualquier incendio, utilizar equipo respiratorio independiente con demanda de presión MSHA/NIOSH (Aprobado o equivalente) y equipo protector completo.

RIESGOS ESPECIALES DE INCENDIO

No combustible. En caso de incendio se desprenden gases tóxicos e irritantes (SO_x)

MEDIO DE EXTINCIÓN

Usar spray de agua, químico seco, dióxido de carbono ó espuma apropiada.

Más información: www.quimicosgoicochea.com. E-mail: qgventas@quimicosgoicochea.com

Oficina Principal: Av. Néstor Gambetta 150 – CALLAO Telf.: (01) 614-6400
Sucursal Arequipa: Calle Victor F. Lira N° 107 Parque Industrial Telf.: (054) - 214417
Sucursal Trujillo: Mz. C - Lt 13 y 14 Remanso de Valdivia – Huanchaco Telf.: (044) - 659418

HOJA DE SEGURIDAD

PRODUCTO

SULFATO DE ALUMINIO

6. MEDIDAS DE DESCARGAS Y DERRAMES

METODO DE LIMPIEZA O RECOGIDA

Recoger el producto en un recipiente de seguridad de acero inoxidable o de plástico para su posterior recuperación, cumpliendo con las medidas de protección personal (apartado 8). Lavar los restos no recuperables con abundante agua.

PRECAUCIONES MEDIOAMBIENTALES

Evitar la entrada del producto en el alcantarillado, o en aguas superficiales o subterráneas. El sulfato de aluminio se destina a potabilización y depuración de aguas; se trata de un producto no tóxico ni peligroso.

PRECAUCIONES PERSONALES

Utilizar equipo de protección, evitando la inhalación, el contacto con la piel y los ojos. Usar guantes de PVC, gafas de protección y botas impermeables. Limitar la intervención a personal calificado provisto de las protecciones adecuadas. Ver apartado 8.

7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

MANIPULACIÓN

Evitar el contacto directo con el producto. Observar las medidas de protección personal previstas en el punto 8, respetando siempre las reglas generales de seguridad e higiene industrial.

No mezclar con materiales incompatibles.

ALMACENAMIENTO

Evitar su almacenaje próximo a productos incompatibles. El producto tiene carácter ácido por lo que se evitará el contacto con otros productos que tengan carácter básico, al contacto con lejías cloradas puede descomponerlas liberando gases clorados.

Conservar a temperatura ambiente y protegido de la humedad para garantizar su calidad.

Productos incompatibles: acero galvanizado, Al, Cu, Zn y aleaciones de estos metales.

En contacto con metales es muy corrosivo y se desprende hidrogeno en el proceso de ataque que puede ser explosivo mezclado con aire.

ENVASES

Resistentes a ácidos: acero revestido, acero inoxidable, plásticos (PE y PP).

Más información: www.quimicosgoicochea.com. E-mail: qgventas@quimicosgoicochea.com

Oficina Principal: Av. Néstor Gambetta 150 – CALLAO Tel.: (01) 614-6400
Sucursal Arequipa: Calle Victor F. Lina N° 107 Parque Industrial Tel#: (054) - 214417
Sucursal Trujillo: Mt. C - Lt 13 y 14 Remanso de Valdivia – Huancho Tel#: (044) - 659418

HOJA DE SEGURIDAD

PRODUCTO

SULFATO DE ALUMINIO

8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN / EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL

CONTROLES DE INGENIERÍA

Utilizar ventilación adecuada para mantener concentraciones bajas del producto en el aire.

LÍMITES DE EXPOSICIÓN

Nombre Químico	ACGIH	NIOSH	OSHA – Final PELs
Sulfato de Aluminio	2 mg/m ³ TWA (como Al) (listado como sales solubles de aluminio)	2 mg/m ³ TWA (como Al) (listado como sales solubles de aluminio)	No listado

PROTECCIÓN PARA LOS OJOS

Utilice gafas protectoras adecuadas o gafas de seguridad para químico como se describe en la protección de ojos y cara de acuerdo al OSHA's (Reglamento 29 en CFR1910.133) o Estándar Europeo EN 166.

PROTECCIÓN RESPIRATORIA

Seguir el reglamento de respirador OSHA que se encuentra en 29 CFR 1910.134 o el Standard Europeo EN 149. Utilizar los respiradores aprobados por NIOSH/MSHA o el estándar Europeo EN 149 si se exceden los límites de exposición, o si se experimentan irritación u otros síntomas.

PROTECCIÓN PARA LA PIEL

Usar guantes protectores adecuados para prevenir la exposición de la piel.

Usar vestimenta protectora adecuada para prevenir la exposición de la piel.

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Nombre Químico	Sulfato de Aluminio
Sinónimos	Sulfato de Aluminio Tipo A, Tipo 1
Formula Molecular	Al ₂ (SO ₄) ₃ ·14H ₂ O
Apariencia	Sólido en grano- polvo blanco ó ligeramente beige

Más información: www.quimicosgoicochea.com. E-mail: qgventas@quimicosgoicochea.com

Oficina Principal: Av. Néstor Gambetta 150 – CALLAO Telf.: (01) 614-4400
 Sucursal Arequipa: Calle Victor F. Lina N° 107 Parque Industrial Telf.: (054) - 214417
 Sucursal Trujillo: Mt. C - Lt 13 y 14 Remanso de Valdivia – Huancheco Telf.: (044) - 659418

HOJA DE SEGURIDAD

PRODUCTO

SULFATO DE ALUMINIO

Solubilidad en agua	70 g en 100g de agua a 20°C
Solubilidad en otros disolventes	Insoluble o parcialmente soluble en disolventes orgánicos.
Densidad aparente	1.00 g/cc
Olor	Inodoro
Sabor	Astringente y ligeramente dulce
pH	3.0 – 3.6 al 1% solución
Peso Molecular:	342.1358 g/mol
Gravedad Especifica /Densidad:	2.7 (Agua=1)
Temperatura de descomposición	85°C
Punto de inflamación	El producto no es inflamable
Granulometría:	0 – 1 mm
Otros datos	Producto higroscópico. Se apelmaza en contacto con la humedad o por el calor.

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad:

Estable bajo condiciones normales de presión y temperatura. Higroscópico: absorbe humedad o agua del aire.

Condiciones a Evitar:

Generación de polvo, exposición al agua o a la humedad.

Incompatibilidades:

No se han identificado incompatibilidades importantes con materiales y contaminantes comunes.

Productos Peligrosos de Descomposición:

Óxidos de azufre, óxido de aluminio

Más información: www.quimicosgoicochea.com. E-mail: qventas@quimicosgoicochea.com

Oficina Principal: Av. Néstor Gambetta 150 – CALLAO Tel.: (01) 614-6400
 Sucursal Arequipa: Calle Victor F. Urea N° 107 Parque Industrial Teléf.: (054) - 214417
 Sucursal Trujillo: Mt. C - Lt 13 y 14 Remanso de Valdivia – Huanchaco Teléf.: (044) - 659418

HOJA DE SEGURIDAD

PRODUCTO

SULFATO DE ALUMINIO

11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

LD50 /LC50	Test de Draize, conejo, ojo: 10mg/24H Severo
	Oral, ratón: LD50=6207 mg/kg
Efectos locales:	Irritante para la piel, ojos y vías respiratorias
Efectos específicos	Mutágenos: aberraciones cromosómicas en Lymphocytes humans in vitro: Negativo.
	Cancerígenos: no se ha observado ningún efecto cancerígeno en animales.

13. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Ecotoxicidad: En organismos acuáticos	CE 50 (Daphnia: daphnia magna)/24 h: 13 mg/l CL 50 (Peces-Brachydanio rerio)/24 h: 26 mg/l como Al
Bioacumulación	No bioacumulable
Degradabilidad	Abiótica. En el medio ambiente acuático se transforma en productos poco solubles.

12. CONSIDERACIONES SOBRE LA DISPOSICIÓN DEL PRODUCTO

Los residuos y envases contaminados deben ser tratados de acuerdo con las leyes y regulaciones oficiales vigentes.

Los residuos del producto se deben entregar a un gestor autorizado.

14. INFORMACIÓN DE TRANSPORTE

Transporte por tierra

USDOT

Mercancía no peligrosa según los criterios de la reglamentación del transporte

Transporte marítimo por barco

IMDG

Mercancía no peligrosa según los criterios de la reglamentación del transporte

Más Información: www.quimicosgoicochea.com. E-mail: qgventas@quimicosgoicochea.com

Oficina Principal: Av. Néstor Gambetta 150 – CALLAO Tel.: (01) 614-6400

Sucursal Arequipa: Calle Victor F. Lina N° 107 Parque Industrial Tel.: (054) - 214417

Sucursal Trujillo: Mz. C - Lt 13 y 14 Remanso de Valdyle – Huanchaco Tel.: (044) - 659418



HOJA DE SEGURIDAD

PRODUCTO

SULFATO DE ALUMINIO

Transporte aéreo

IATA/ICAO

Mercancía no peligrosa según los criterios de la reglamentación del transporte

15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD:

Frases R: R41: Riesgo de causar serios daños en los ojos

R36/37/38: Irrita los ojos, la piel y las vías respiratorias

Frases S: S22: No respirar el polvo

S26: En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua y consultar al médico.

S28: En caso de entrar en contacto con la piel, lavar inmediatamente con abundante agua.

S37/39: Utilizar guantes apropiados y un sistema de protección de ojos/cara.

16. INFORMACIÓN ADICIONAL

La información de esta hoja de seguridad de producto fue obtenida de fuentes serias y es digna de confianza, sin embargo no constituye garantía tácita, ni explícita.

Las condiciones de manejo, uso almacenamiento y disposición están más allá de nuestro control y conocimiento por esta razón, QUÍMICOS GOICOCHEA S.A.C. no asume responsabilidad, ni implicaciones por pérdidas, daños, lesiones o gastos debidos al manejo, almacenamiento, uso o disposición de este producto.

No se entiende ninguna garantía concerniente a la adecuación del producto para el fin particular del usuario. El usuario debe aplicar su propio criterio para determinar si el producto es adecuado o no para sus fines.

Más Información: www.quimicosgoicochea.com. E-mail: qgventas@quimicosgoicochea.com

Oficina Principal: Av. Néstor Gumbetta 150 – CALLAO Tel.: (01) 614-4400

Sucursal Arequipa: Calle Victor F. Lira N° 107 Parque Industrial Tel.: (054) - 214417

Sucursal Trujillo: Mt. C - Lt 13 y 14 Remanso de Valdivia – Huancho Tel.: (044) - 659418



HOJA DE SEGURIDAD

PRODUCTO

SULFATO DE ALUMINIO

EN CASO DE EMERGENCIA COMUNICARSE:	
TELÉFONOS	01-6144400 Anexos: 125/128
CORREOS	reportaciones@quimicosgoicochea.com operaciones@quimicosgoicochea.com
FECHA DE CREACION	01/06/2017
FECHA DE REVISION	01/06/2017

Más Información: www.quimicosgoicochea.com. E-mail: qgventas@quimicosgoicochea.com

Oficina Príncipe: Av. Néstor Gambetta 150 – CALLAO Tel.: (01) 614-6400
Sucursal Arequipa: Calle Victor F. Lima N° 107 Parque Industrial Teléf.: (054) - 214417
Sucursal Trujillo: Mz. C - L1 13 y 14 Remanso de Valdivia – Huanchaco Teléf.: (044) - 659438

Anexo N° 3

Hoja de Datos de Seguridad – A-110

CYTEC

Technology ahead of its time™

MSDS: 0003960
Fecha: 02/20/2003
Supersede: 04/07/2000

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

1. IDENTIFICACION DE LA SUSTANCIA/PREPARADO Y DE LA SOCIEDAD/EMPRESA

Nombre del producto: **SUPERFLOC® A-110 PWG Flocculant**
Descripcion del Producto: Poliacrilamida aniónica
Uso: Flocculante

CYTEC INDUSTRIES B.V., BOTLEKWEG 175, 3197 KA BOTLEK-ROTTERDAM, HAVENS 4501, HOLANDA
TELEFONO DE EMERGENCIA: EN HOLANDA: 0181-295600; FUERA DE HOLANDA: 31-181-295600

® Indica Marca Registrada en E.U.A. Fuera de E.U.A., la marca puede estar registrada, pendiente o ser una Marca Registrada. La marca es o se puede utilizar bajo licencia.

2. COMPOSICION/INFORMACION SOBRE LOS COMPONENTES

INGREDIENTES PELIGROSOS

No hay componentes peligrosos

Vea la Sección 16 para el Texto de la Frase de Riesgo del Ingrediente

3. IDENTIFICACION DE LOS PELIGROS

RIESGOS HUMANOS Y AMBIENTALES
ninguno

4. PRIMEROS AUXILIOS

Ingestión:

No se anticipa que el material sea lesivo por ingestión. No son necesarias medidas especiales de primeros auxilios.

Contacto con la piel:

Lavarse inmediatamente con abundante agua y jabón.

Contacto con los ojos:

Enjuagar inmediatamente con abundancia de agua por lo menos durante 15 minutos.

Inhalación:

No se anticipa que el material sea lesivo por inhalación. Retirar la víctima al aire libre.

5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

MEDIOS DE EXTINCION

Utilizar agua, bióxido de carbono o un agente químico seco.

EQUIPAMIENTO PROTECTOR

Los bomberos y otras personas que pudieran estar expuestas deben usar aparatos respiratorios autónomos.

PELIGROS ESPECIALES

El polvo puede ser explosivo si se mezcla con el aire en proporciones críticas y en la presencia de una fuente de ignición.

6. MEDIDAS QUE DEBEN TOMARSE EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

Precauciones individuales:

Referirse a la Sección 8 (Protección Personal/Controles de Exposición) para el Equipo de Protección Personal Apropriado

Métodos de limpieza:

Resbaladizo cuando está mojado. Barrer y colocarlo en recipientes para descarte. Enjuagar con agua el área del derrame. Si permanece resbaladizo, aplicar más compuesto para barrido en seco. Evitar que el líquido ingrese a desagües sanitarios.

7. MANIPULACION Y ALMACENAMIENTO

Manipulación

Mantener buena limpieza para controlar las acumulaciones de polvo.

Almacenamiento

Para evitar la degradación del producto y la corrosión del equipo, no utilizar contenedores ni equipo de hierro, cobre o aluminio.

TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO: Almacenar a 4 - 32 °C

RAZON: Integridad

8. CONTROLES DE EXPOSICION Y PROTECCION PERSONAL

PARAMETROS DE CONTROL - Límites

No se han establecido valores

Disposiciones de ingeniería:

Generalmente no hacen falta controles de ingeniería si se siguen buenas prácticas de higiene.

Protección respiratoria:

No se recomienda ninguno.

Protección de los ojos:

Usar protección ocular/ facial.

PROTECCION DE LA PIEL:

Evitar contacto con la piel.
Usar guantes impermeables.

Consejos adicionales:

Antes de comer, beber o fumar, lavarse la cara y las manos minuciosamente con jabón y agua.

9. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Color:	blancuzco
Aspecto:	sólido
Olor:	inoloro
Temperatura de ebullición/rango	No aplicable
Temperatura de fusión:	No disponible
Presión de vapor:	No aplicable
Gravedad Específicas:	0.75 - 0.95
Densidad de vapor:	No aplicable
% VOLATIL (Por peso):	10 - 13(agua)
pH:	5 - 7(solución acuosa)
Saturación en Aire (% en Vol.):	No disponible
Indice de evaporación:	No aplicable
SOLUBILIDAD EN EL AGUA:	Limitado por la viscosidad
Contenido orgánico volátil:	No disponible
Punto de inflamación:	No aplicable
LIMITES DE INFLAMABILIDAD	No aplicable
(% Por Vol):	
Temperatura de autoignición:	No disponible
Temperatura de descomposición:	no disponible
Coefficiente de reparto (n-octanol/agua):	No disponible

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad:	Estable
Condiciones a evitar:	No conocidos
Polimerización:	No ocurrirá
Condiciones a evitar:	No conocidos
Materias a evitar:	No hay una incompatibilidad específica.
Productos de descomposición peligrosos:	dióxido de carbono Monóxido de carbono amoníaco óxidos de nitrógeno

11. INFORMACION TOXICOLOGICA

Efectos potenciales sobre la salud

SUSTANCIA/PREPARADO

Toxicidad aguda

Oral	rata	DL50 Aguda	>5000 mg/kg
dermal	conejo	DL50 Aguda	>10000 mg/kg
Inhalación	rata	CL50 Aguda 4 hr	No hay datos

EFFECTOS LOCALES EN PIEL Y OJOS

Irritación Aguda	dermal	No irritante
Irritación Aguda	ojo	No irritante

SENSITIZACION ALERGICA

Sensibilización	dermal	No sensibilizante
Sensibilización	Inhalación	No sensibilizante

GENOTOXICIDAD**Ensayos para Mutaciones Genéticas**

Prueba Salmonella Ensayo	No hay datos
--------------------------	--------------

DATOS SOBRE LA TOXICIDAD DE LOS INGREDIENTES PELIGROSOS**12. INFORMACIONES ECOLOGICAS**

Nocivo para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.

Este material no se clasifica como peligroso para el ambiente.

Toda la información ecológica provista se realizó en un producto estructuralmente similar.

La toxicidad aguda prueba conducido usando ambientalmente el agua representativa dio los resultados siguientes:

RESULTADOS DE PRUEBAS EN ALGAS

Test: Inhibición de Crecimiento (OECD 201)

Duración: 72 hr

Especie: Alga Marina (*Skeletonema costatum*)
2276 mg/l IC50

Prueba: Inhibición de Crecimiento (OECD 201)

Non-Printing Label 72 hr.

Especie: Alga verde (*Selenastrum capricornutum*)
>100 mg/l IC50

RESULTADOS DE PRUEBA EN PECES

Test: Toxicidad aguda, agua dulce (OECD203)

Duración: 96 hr.

Especie: Pez sol azulado (*Lepomis macrirus*)
180 mg/l LC50

Prueba: Toxicidad aguda, agua dulce (OECD203)

Duración: 96 hr

Especie: Trucha Arco Iris (*Oncorhynchus mykiss*)
130 mg/l LC50

Prueba: Toxicidad aguda, agua dulce (OECD203)

Duración: 96hr

Especie: Gobio Cabezón (Pimephales promelas)
670 mg/l LC50

Prueba: Toxicidad aguda, agua dulce (OECD203)

Duración: 96 hr

Especie: Pez Zebra (Brachydanio rerio)
>100 mg/l LC50

RESULTADOS DE PRUEBAS EN INVERTEBRADOS

Test: Inmovilización Aguda (OECD 202)

Duración: 10 días

Especie: Crustáceo Marino anfibio (Corophium volutator)
1415 mg/l EC50

Prueba: Inmovilización Aguda (OECD 202)

Duración: 48 hr

Especie: Mosca de Agua (Daphnia magna)
>100 mg/l EC50

Prueba: Inmovilización Aguda (OECD 202)

Duración: 48 hr

Especie: Crustáceo Marino (Acartia Tonsa)
342 mg/l EC50

DEGRADACION

Test: Botella Cerrada (OECD 301D)

Duración: 28 días **Procedimiento:** Biodegradabilidad lista
<70 %

Prueba: Método del Frasco Agitado con agua de mar (OECD 306)

Duración: 28 días **Procedimiento:** Biodegradabilidad en agua de mar
1.7 %

13. CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACION

CYTEC está a favor del reciclaje, recuperación y reuso de materiales siempre que sea posible. Si es necesario disponer algún material, CYTEC recomienda que los materiales orgánicos, especialmente cuando estos estén clasificados como residuos peligrosos sean destruidos por tratamiento térmico ó incineración en plantas autorizadas. Deben observarse todas las reglamentaciones locales y nacionales.

14. INFORMACION RELATIVA AL TRANSPORTE

Esta sección proporciona la información de clasificación de envío básica. Refiérase a las regulaciones de transporte apropiadas para los requisitos específicos.

ADR/RID

Clase NO ES APLICABLE/NO ESTA REGULADO

IMO

Denominación adecuada de envío: NO ES APLICABLE/NO ESTA REGULADO

ICAO / IATA

Denominación adecuada de envío: NO ES APLICABLE/NO ESTA REGULADO

Instrucciones de Empaque/Máxima cantidad neta por paquete:

Avión de pasajeros: -

Avión de carga: -

15. INFORMACION REGLAMENTARIA**MARCADO Y ROTULACION DEL EU:**

Símbolo(s): Ninguno exigido

FRASES DE RIESGO:

ninguno

FRASES DE SEGURIDAD:

S82 - Los derrames son muy resbalozos cuando estan mojados.

INFORMACION DE INVENTARIO**Union(EU) Europeo:**

Todos los componentes de este producto están incluidos en el Inventario Europeo de Sustancias Químicas Existentes (sigla en inglés EINECS) o son polímeros cuyos componentes están en el EINECS, en cumplimiento con la Directiva del Consejo 67/548/EEC y sus modificaciones.

Estados Unidos (los E.E.U.U.):

Todos los componentes de este producto están incluidos en el Inventario del TSCA en cumplimiento del Acta de Control de Sustancias Tóxicas, 15 U.S.C. 2601 et. seq.

Canada:

Componentes de este producto han sido reportados a Environment Canada de acuerdo con la sección 66 y/o 81 del Acto de Protección de Canadian Environmental (1999) y están incluidas en la Lista de Sustancias Domésticas.

16. OTRAS INFORMACIONES

RAZON DE LA EMISION: Sección 1 modificada
Sección 12 modificada
Sección 15 modificada

Información del Componente (FRASES DE RIESGO)

Randy Deskin, Ph.D., DABT +1-973-357-3100

Esta información es dada sin garantía o representación alguna. No asumimos ninguna responsabilidad legal por la misma, ni tampoco damos permiso, inducimiento, o recomendación alguna para practicar cualquier invento patentado sin una licencia. Esta información le es proporcionada solamente para su consideración, investigación, y verificación. Antes de usar cualquier producto, lea su etiqueta.

Anexo N° 4

Hoja de Datos de Seguridad – AR-2414

<i>FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD</i> de acuerdo con el Directiva 93/112/CEE		ARENAS S.R.L.
FLOCULANTE AR-2414		
Versión 1 Fecha de revision: 21.05.2017		Fecha: 16.03.2018
1. IDENTIFICACION DE LA SUBSTANCIA / PREPARADO Y DE LA SOCIEDAD/EMPRESA		
Información del Producto		
Nombre del producto	:	FLOCULANTE AR-2414
COMPañIA	:	ARENAS S.R.L. Los Olivos Lima
Teléfono	:	521-6672
Telefax	:	521-4615
2. COMPOSICION / INFORMACION SOBRE LOS COMPONENTES		
Caracterizacion química:		
Descripcion:	:	Copolímero de amida acrilica y acrilato de sodio.
3. IDENTIFICACION DE LOS PELIGROS		
No se conocen riesgos particulares.		
4. PRIMEROS AUXILIOS		
Contacto con los ojos	:	Lavar largo tiempo con mucha agua; eventualmente buscar ayuda medica.
Contacto con la piel	:	Lavar con agua y jabon. Deshacerse de la ropa contaminada.
Ingestión	:	En caso de malestar acudir al medico.
5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS		
Peligros específicos para la lucha contra el fuego.	:	En caso de incendio: monoxido de carbono, oxidode nitrogeno
Equipo de protección especial para los bomberos	:	Medidas especiales no son necesarias.
Medios de extinción adecuados	:	Agua pulverizada, espuma, dióxido de carbono, agentes extintores secos.
1/5		

FLOCULANTE AR-2414

Versión 1 Fecha de revision: 21.05.2017

Fecha: 16.03.2018

6. MEDIDAS QUE DEBEN TOMARSE EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

- Precauciones individuales : Producto derramado genera con agua o humedad gran peligro de resbalamiento
- Precauciones para la protección del medio ambiente : Remover con un material absorbente. Lavar y enviar los pequeños restos al sistema de canalización con mucha agua y adicionar al tratamiento biológico de aguas servidas.

7. MANIPULACION Y ALMACENAMIENTO

Manipulación

- Advertencia para la manipulación segura : Ante generación de polvo, asegurar una buena ventilación, eventualmente aspiración.

Almacenamiento

- Exigencias técnicas para almacenes y recipientes : Medidas especiales no son necesarias.

8. CONTROLES DE EXPOSICION Y PROTECCION PERSONAL

Componentes con valores límite a controlar en el lugar de trabajo

- Base : MAK
Observaciones: : No aplicable.

Protección personal

- Protección respiratoria : Con formación de polvo.
Protección de los ojos : Lentes de protección
Medidas de higiene : Para la manipulación de productos químicos atender las usuales normas de precaución y reglas de limpieza

9. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Cuadro de presentación

- Estado físico : Polvo.
Color : blanco.
Olor : inoloro

Información adicional

FLOCULANTE AR-2414

Versión 1 Fecha de revision: 21.05.2017

Fecha: 16.03.2018

Temperatura de ablandamiento	:	No aplicable.
Comienzo de ebullición	:	No aplicable.
Punto de destello	:	> 200 °C Método: DIN 51758
Temperatura de ignicion	:	no determinado
Límite de explosión, superior	:	No aplicable.
Densidad aparente	:	~0,675 g/cm ³
Solubilidad en agua	:	a 20,0 °C Soluble bajo incremento de viscosidad.
pH	:	7 - 9 a 5,0 g/l (20,0 °C)
Viscosidad, dinámica	:	5 g/l 10% NaCl: > 200 mPa.s a 20,0 °C

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Descomposición térmica	:	Descomposición por encima de 200 °C.
------------------------	---	--------------------------------------

11. INFORMACION TOXICOLOGICA

Toxicidad oral aguda	:	LD50 Ratón. Dosi: > 5000 mg/kg Método: investigacion preliminar una solución al 5%
Iritación de la piel	:	conejo Método: OECD Nr. 404 No irritante.
Iritación de los ojos	:	conejo Método: OECD Nr. 405 No irritante.
Sensibilización	:	Meerschweinchen Resultado: 0% (0/20) Método: OECD Nr. 406 No sensibilizante.

12. INFORMACIONES ECOLOGICAS

Informaciones sobre eliminación (permanencia y degradabilidad)

Biodegradabilidad	:	No permitir que el producto concentrado alcance las vias de agua sin
-------------------	---	--

FLOCULANTE AR-2414

Versión 1 Fecha de revision: 21.05.2017

Fecha: 16.03.2018

un tratamiento biologico de las aguas servidas. Las soluciones diluidas de aplicacion especifica deben ser consideradas como no contaminantes del agua, motivado por las características específicas del producto (sustantividad elevada, floculacion con lodos activos). De acuerdo a su estructura altamente polimerizada no se presenta un valor apreciable de degradacion biologica. Por la sustentividad propia del producto se alcanza un alto grado de eliminacion en instalaciones biologicas de depuracion de aguas servidas, ya que se fija a los lodos activos.

- Toxicidad de bacterias : EC50 Ps. Putida > 2000 mg/l
Tiempo de exposición: 24,00 h
Método: DEV L 8
- Toxicidad de bacterias : MHK > 2000 mg/l
- Toxicidad de peces : LC50 Leuciscus idus > 150 mg/l
Tiempo de exposición: 96,00 h
Método: OECD Nr. 203

13. CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACION

- Producto : Desechar según las prescripciones de las autoridades locales, como por ejm., en una adecuada instalación de incineración.
- Envases contaminados : Embalajes no danados pueden ser, luego de una limpieza adecuada, nuevamente utilizados bajo responsabilidad propia.

14. INFORMACION RELATIVA AL TRANSPORTE

- Información adicional : No se trata de mercaderia peligrosa de acuerdo ala reglamente- tacion de transporte vigente.

15. INFORMACION REGLAMENTARIA

Etiquetado de acuerdo con la Directiva CEE

- Consejo general : Not to be classified according to EEC - guidelines

Regulamentos nacionais

- Clasificacion segun Vbf : No aplicable.

FLOCULANTE AR-2414

Versión 1 Fecha de revision: 21.05.2017

Fecha: 16.03.2018

Clase de riesgo para el agua: : 1, levemente peligroso para las aguas (Clasificación propia).

TA Luft (Alemania) : No aplicable.

16. OTRAS INFORMACIONES

monomero residual: acido : Amida acrilica < 0,05%
acrilico

La información proporcionada en esta Ficha de Datos de Seguridad, es la más correcta de que disponemos a la fecha de su publicación. La información suministrada, está concebida solamente como una guía para la seguridad en el manejo, uso, procesado, almacenamiento, transporte, eliminación y descarga, y no debe ser considerada como una garantía o especificación de calidad. La información se refiere únicamente al material especificado, y no puede ser válida para dicho material, usado en combinación con otros materiales o en cualquier proceso, a menos que sea indicado en el texto.

Anexo N° 5

Velocidad de Sedimentación

Materiales y equipos requeridos

- Turbidímetro portátil, modelo 2100 P – HACH.
- Espectrofotómetro portátil, modelo DR / 2010 – HACH.
- Balanza digital, modelo FX – 3000i, A & D.
- 02 probetas de 1000 ml.
- 01 vaso precipitado de 50ml.
- Regla de acero graduada.
- Cronómetro.
- Cinta adhesiva.
- Papel milimetrado.

Metodología para la determinación de la velocidad de sedimentación (V_s)

1. Pesar las probetas de 1 000 ml y tarar la balanza, registrar el peso.
2. Verter las muestras del efluente de agua de mina, con diferentes concentraciones de sólidos, a las probetas de 1 000 ml y pesarlas.
3. Homogenizar cada muestra agitando fuertemente la probeta, aislando previamente con los tapones, tomando en cuenta que las alturas iniciales en ambos casos sea la misma.
4. Dejar reposar y tomar como primer dato la altura inicial que se aprecia para un tiempo cero.
5. Anotar el tiempo de sedimentación con la ayuda de un cronómetro y la altura del sedimento por medio de un papel milimetrado colocado a lo largo de la probeta. Tomar el valor de la altura primero cada 1 minuto, 5, 30 y 60 minutos respectivamente.
6. Anotar la altura de la interfase en un tiempo infinito (al día siguiente).
7. Realizar los cálculos respectivos.

Anexo N° 6

Porcentaje de sólidos en muestra inicial

Materiales y equipos requeridos

- Filtro a presión.
- Microbalanza de 3 dígitos, modelo UM-X2, Mettler Toledo.
- Papel kraft
- Estufa a una temperatura de 105 °C.
- Pizeta de 500 ml.

Metodología para la determinación del porcentaje de sólidos

1. Pesar la probeta de 1 000ml y proceder a tarar la balanza.
2. Verter la muestra en la probeta y pesarla.
3. Colocar el papel kraft en el filtro a presión.
4. Verter la muestra en el filtro y empezar la filtración.
5. Llevar el papel kraft con la muestra húmeda a la estufa, a una temperatura de 105 °C aproximadamente, durante 15 – 20 minutos.
6. Retirar el papel kraft con la muestra seca, dejar enfriar.
7. Pesar el papel kraft, utilizar la microbalanza de tres dígitos, anotar el peso seco.
8. Realizar los cálculos respectivos.

Anexo N° 6
Resultados laboratorio J. Ramón

COMPAÑÍA MINERA ARES S.A.C.
U.O. ARES

**INFORME DE MONITOREO
ESPECIAL DE
EFLUENTES INDUSTRIALES**

Mayo 2019

Elaborado por:	<i>Informe de Monitoreo N° CO13050027</i>
	<i>Inf. de Ensayo N° MA13050550</i>
	

INDICE

	Pág.
ÍNDICE.....	0
INTRODUCCIÓN.....	1
Capítulo I : OBJETIVOS.....	2
Capítulo II : MARCO NORMATIVO.....	3
Capítulo III : MONITOREO Y ENSAYO	
3.1 CALIDAD DE AGUA	
3.1.1 Estaciones de Monitoreo.....	4
3.1.2 Parámetros de Campo.....	4
3.1.3 Parámetros de Ensayo.....	5
3.1.4 Metodología para la Determinación de Ensayos en Laboratorio.....	5
3.1.5 Equipos de Laboratorio.....	6
Capítulo IV : RESULTADOS	
4.1 Calidad de Agua.....	7
Capítulo V : COMENTARIOS.....	8
ANEXOS.....	9

INTRODUCCIÓN

En cumplimiento a la normativa ambiental vigente para el Sub Sector Minería, traducida en el DS N° 040-2014-EM: Reglamento de Protección y Gestión Ambiental para las Actividades de Explotación, Beneficio, Labor General, Transporte y Almacenamiento Minero, publicado el 05 de noviembre del 2014 y así mismo poner en práctica su política ambiental, COMPAÑÍA MINERA ARES S.A.C. solicita a J. RAMÓN DEL PERÚ S.A.C. la elaboración del Informe de Monitoreo Especial de Efluente Industrial en U.O. Ares.

El muestreo en campo de aguas se llevó a cabo el 21 de Mayo del 2019 por personal de COMPAÑÍA MINERA ARES S.A.C. – U.O. ARES, siguiendo los procedimientos establecidos en el Protocolo de Monitoreo Ambiental vigente.



Milagros Ramirez Arroyo
Jefe de Operaciones Medio Ambiente
CQP 689

Capítulo I: OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Efectuar la evaluación de la Calidad de Agua en las estaciones especificadas previamente en U.O. Ares, según lo establecido en el Protocolo de Monitoreo Ambiental vigente.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Reportar los resultados de los parámetros de campo: pH, Temperatura, Conductividad y Oxígeno disuelto; obtenidos en las estaciones de monitoreo establecidas.
- Realizar el ensayo en laboratorio de cada una de las muestras recolectadas en las estaciones de monitoreo de calidad de agua.
- Evaluar los resultados obtenidos en cada una de las estaciones de monitoreo de calidad de aguas y realizar la comparación con la normatividad vigente aplicable a cada condición.

Capítulo II: MARCO NORMATIVO

En el siguiente cuadro se muestran las normas ambientales vigentes aplicables al Sector Minero – Ministerio de Energía y Minas, las cuales sustentan el monitoreo de calidad de agua realizado en U.O. Ares.

Cuadro N° 2.1.- Normatividad Vigente

Norma Legal	Título	Fecha de Publicación
Norma Jurídica Suprema	Constitución Política del Perú.	30/12/1993
DL N° 28611	Ley General del Ambiente.	15/10/2005
RD N° 010-2016-ANA	Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales.	11/01/2016
DS N° 040-2014-EM	Reglamento de Protección y Gestión Ambiental para las Actividades de Explotación, Beneficio, Labor General, Transporte y Almacenamiento Minero.	05/11/2014
DL N° 29338	Ley de Recursos Hídricos.	31/03/2009
DS N° 001-2010-AG	Aprueban Reglamento de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos.	24/03/2010
DS N° 010-2010 MINAM	Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero-Metalúrgicas.	21/08/2010

Capítulo III: MONITOREO Y ENSAYOS

Para el presente monitoreo se han considerado los criterios descritos en el Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua correspondiente al Sub-Sector Minería, del Ministerio de Energía y Minas.

3.1 CALIDAD DE AGUA

3.1.1 ESTACIONES DE MONITOREO

El monitoreo de calidad de agua se realizó el 21 de Mayo del 2019, en el área de influencia de U.O. Ares; la recolección de las muestras se realizó en efluentes industriales:

Cuadro N° 3.1.1.1 - Estaciones de Monitoreo*

Tipo de Agua	Estación	Descripción
Efluente Industrial	RM-1	Ingreso Cámara de Decantación.
	RM-4	Salida Cámara de Decantación.

**Los datos fueron proporcionados por el cliente.*

3.1.2 PARÁMETROS DE CAMPO

Los parámetros establecidos para evaluar la calidad de agua en campo, son los siguientes:

- pH
- Temperatura (°C)
- Conductividad (µS/cm)
- Oxígeno disuelto (mg/L)

Los cuales fueron medidos por personal de COMPAÑÍA MINERA ARES S.A.C. – U.O. ARES.

3.1.3 PARÁMETROS DE ENSAYO

A continuación en el cuadro N° 3.1.3.1 se muestran los parámetros de ensayo a analizar en cada una de las estaciones de muestreo definidas:

Cuadro N° 3.1.3.1 – Parámetros de Ensayo

Tipo de Agua	Parámetros
Efluente Industrial	Aceites y grasas, Arsénico total, Cadmio total, Cromo hexavalente, Mercurio total.

3.1.4 METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE ENSAYOS EN LABORATORIO

A continuación, en los siguientes cuadros N° 3.1.4.1 y N° 3.1.4.2 se detalla el tipo de frascos, preservantes, volúmenes y métodos de ensayo aplicados en laboratorio, para lo cual se ha tomado como referencia las normas establecidas por Standard Methods for the examination of Water and Wastewater (SM). APHA, AWWA, WEF 21st Ed. 2005 y la U.S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes (EPA).

Cuadro N° 3.1.4.1.- Colección y Preservación de Muestras

Determinación	Recipiente	Cantidad Mínima de Muestra mL	Preservación	Tiempo Almacenamiento
Aceites y Grasas	V	1 000 (*)	Refrigerar. Adicionar H ₂ SO ₄ a pH<2	28 días
Metales en Totales y Disueltos por AA	P	1 000 c/u	Totales: Adicionar HNO ₃ a pH<2 Disueltos filtrar inmediatamente y adicionar, HNO ₃ a pH<2	1 mes
Cromo VI (Hexavalente) Total	P	500	Ajustar a pH=9, con 3 mL de Buffer y NaOH (5N o 1N). Refrigerar a<6°C	28 días
Mercurio Total	P	500 c/u	Total: Adicionar HNO ₃ a pH<2 refrigerar a 4 °C	28 días

P = Plástico;

Fuente: J Ramón del Perú S.A.C.

Cuadro N° 3.1.4.2.- Métodos de Ensayo

Parámetros	Normas	Unidad	L.D.
Aceites y grasas	SM 5520-B	mg/L	0,5
Cromo hexavalente	SM 3500-Cr B	mg/L	0,01
Arsénico total	SM 3114-B	mg/L	0,0001
Cadmio total	SM 3111-B	mg/L	0,002
Mercurio total	SM 3112-B	mg/L	0,0001

SIGLAS: "SM": Standard methods for the examination of Water and Wastewater APHA, AWWA, WEF 21st Ed. 2005, "EPA": U.S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes.

3.1.5 EQUIPOS DE LABORATORIO

En el siguiente cuadro se detallan los equipos de laboratorio utilizados en los ensayos de laboratorio.

Cuadro N° 3.1.5.1.- Equipos de Laboratorio

Código	Equipo	Marca	Modelo/Material	Nro de Serie/Clase
MAMB-35	Espectrofotómetro UV/VIS	PERKIN ELMER	LAMBDA25	501S09040803
MAMB-42	Agitador Magnético	IKA WORKS	3582400	7167483
MAMB-59	Potenciómetro de Mesa	THERMO ORION	1119001	B38624
MAMB-69	Cámara Frigorífica - Refrigeración	NACIONAL	FRIGORIFICO	0003630 AM1911

Fuente: J Ramón del Perú S.A.C.

Capítulo IV: RESULTADOS

4.1 CALIDAD DE AGUA

Tabla N° 4.1.1.- Parámetros de Campo*

Tipo de Agua	Estación	Fecha	Hora	pH	Temperatura °C	Conductividad uS/cm	Oxígeno disuelto mg/L
Efluente Industrial	RM-1	21/05/2019	13:40	7,78	11,5	226	5,97
	RM-4	21/05/2019	14:20	7,79	11,2	206	6,20
LMP ⁽¹⁾				6 - 9	NA	NA	NA

(1) D.S N° 010-2010 MINAM, Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero-Metalúrgicas.

NA No Aplica

*Proporcionados por el cliente.

Tabla N° 4.1.2.- Análisis del Laboratorio

Tipo de Agua	Estación	Aceites y grasas mg/L	Arsénico total mg/L	Cadmio total mg/L	Cromo hexavalente mg/L	Mercurio total mg/L
Efluente Industrial	RM-1	<0,5	0,0360	<0,002	<0,01	0,0002
	RM-4	<0,5	0,0192	<0,002	<0,01	<0,0001
LMP ⁽¹⁾		20	0,1	0,05	0,1	0,002

(1) DS N° 010-2010 MINAM, Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero-Metalúrgicas.

NA No Aplica.

Capítulo V: COMENTARIOS

5.1 CALIDAD DE AGUA

- **En la Tabla 4.1.1;** se muestran los resultados de los parámetros de campo obtenidos en las estaciones RM-1 y RM-4; donde los valores de pH cumplen el límite establecido en el D.S N° 010-2010 MINAM, Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero-Metalúrgicas.
- **En la Tabla 4.1.2;** se muestran los resultados de laboratorio obtenidos en las estaciones RM-1 y RM-4; donde los valores de Aceites y grasas, Arsénico total, Cadmio total, Cromo hexavalente y Mercurio total, cumplen el límite establecido en el D.S N° 010-2010 MINAM, Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero-Metalúrgicas.


Milagros Ramirez Arroyo
Jefe de Operaciones Medio Ambiente
CQP 689

ANEXOS

Anexo Nº 1 : Informes de Ensayo de Laboratorio.

Anexo Nº 2 : Normas de Comparación.

Anexo Nº 3 : Certificados de Calibración de Equipos de Laboratorio.

Anexo N° 8

Informe ARENAS SRL



CIA. MINERA ARES
UNIDAD ARES

INFORME DE VISITA

A: Ing. Alberto Moscoso
Cc: Ing. Edgar Cucho
De: Arenas SRL
Fecha: 29 de Diciembre del 2011.
Asunto: "Pruebas a nivel de laboratorio con muestra de agua"

1).- LUGAR Y FECHA.

Las pruebas se llevaron a cabo el día 29 de Diciembre de 2011, en el laboratorio de Arenas-Arequipa.

2).- OBJETIVOS.

- Determinar el mejor reactivo que permita precipitar los sólidos presentes en el agua de mina.

3).- METODOLOGIA DE LA PRUEBA.

- Las pruebas se efectuaron mediante Jast test o prueba en jarras.
- La selección de reactivos se efectuó mediante pruebas comparativas.

4).- PARAMETROS DE LA MUESTRA INICIAL.

Se tomaron datos iniciales de la muestra para establecer puntos de partida.

PH inicial : 7

Turbidez inicial : 470 NTU

5).- DESARROLLO DE PRUEBAS.

o **Prueba N° 1**

En esta prueba se seleccionará el coagulante adecuado para el tratamiento de efluente de mina.

Foto N° 01

Cuadro N° 01

REACTIVOS	Agua de mina			
	jarra 1	jarra 2	Jarra 3	jarra 4
coagulante	AR-197	AR-189	AR-190	AR-345
concentración %	0.1	0.1	0.1	0.1
dosificación ppm	40	40	40	40
floculante	AR-2414	AR-2414	AR-2414	AR-2414
concentración %	0.05	0.05	0.05	0.05
dosificación ppm	5	5	5	5
Turbidez NTU	123	114	53.7	27

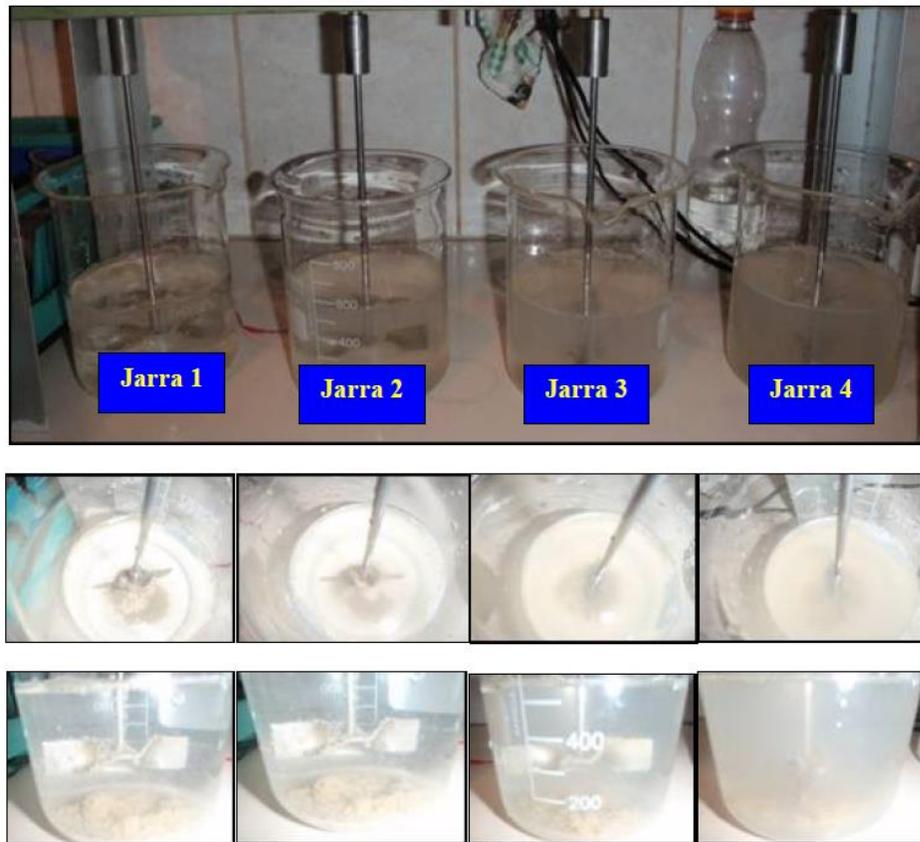
Conclusiones de la prueba 1:

De esta prueba se concluye que el mejor coagulante para este tratamiento es el AR-345.

○ **Prueba N° 2**

En esta prueba evaluaremos la mejor dosificación de coagulante para obtener un mejor resultado en la turbidez de agua de mina.

Foto N° 02



Cuadro N° 02

REACTIVOS	Agua de mina			
	jarra 1	jarra 2	Jarra 3	jarra 4
coagulante	AR-345	AR-345	AR-345	AR-345
concentración %	0.1	0.1	0.1	0.1
dosificación ppm	30	40	50	60
floculante	AR-2414	AR-2414	AR-2414	AR-2414
concentración %	0.05	0.05	0.05	0.05
dosificación ppm	5	5	5	5
Turbidez NTU	15.8	40	75.5	115

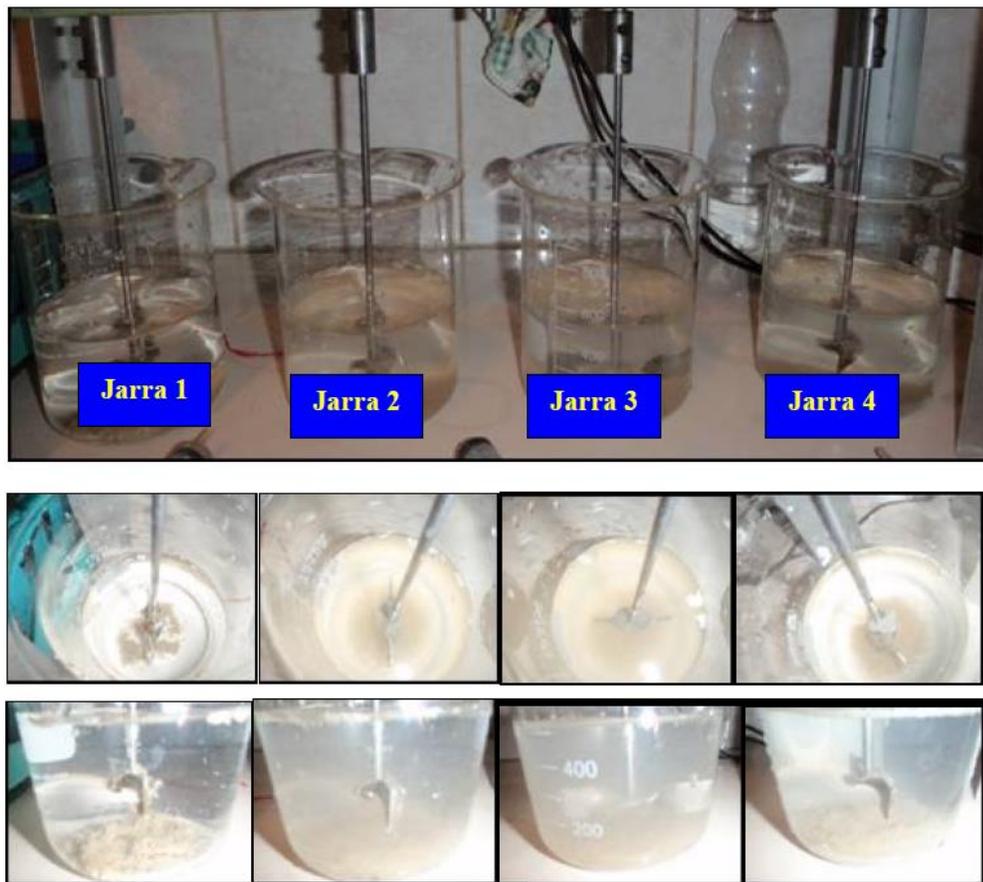
Conclusiones de la prueba 2:

De esta prueba se determina que la mejor dosificación de coagulante es 30ppm, con un resultado de 15.8 NTU.

o **Prueba N° 3**

En esta prueba evaluaremos diferentes floculantes para determinar el adecuado para el tratamiento de agua de mina.

Foto N° 03



Cuadro N° 03

REACTIVOS	Agua de mina			
	jarra 1	jarra 2	Jarra 3	jarra 4
coagulante	AR-345	AR-345	AR-345	AR-345
concentración %	0.1	0.1	0.1	0.1
dosificación ppm	30	30	30	30
floculante	AR-2414	AR-1849	AR-7052	AR-1610
concentración %	0.05	0.05	0.05	0.05
dosificación ppm	5	5	5	5
Turbidez NTU	7.23	18.4	22.6	20

Conclusiones de la prueba 3:

Finalmente se concluye que el floculante AR-2414 a una dosificación de 5ppm es adecuado para el tratamiento de agua de mina.

Conclusiones finales:

- o La mezcla de coagulante, a una dosificación de 30 ppm, más floculante a 5ppm, ofrecen una mejor claridad en la solución recuperada, con valor de turbidez final de 7.23 NTU, el valor inicial fue de 470 NTU.
- o Para el tratamiento de agua de mina, sugerimos la adquisición de.

Uso de Coagulante y floculante:

2 cilindros de coagulante.

Coagulante AR-345: 1,82 US\$/kg + IGV

Presentación Cilindros de 270 kg

125 kg. De floculante.

Floculante AR-2414: 5,20 US\$/kg + IGV

(Presentación sacos 25 kg)

Atentamente

ARENAS SRL

Anexo N° 9

Informe Laboratorio de Investigaciones Metalúrgicas UOA

INFORME GMI U.O. ARES

A : ING. EDGAR CUCHO
DE : INVESTIGACIONES METALURGICAS U.O ARES
ASUNTO : INFORME PRUEBAS DE TRATAMIENTO AGUA DE MINA
FECHA : 24 DE JULIO 2012

Con el objetivo de obtener una concentración óptima de coagulante y floculante para el tratamiento de aguas de mina, se realizaron pruebas variando concentración de coagulante AR 345 y floculante AR 2414 (reactivos recomendados por la empresa Ares SRL).

Condiciones de Pruebas

Coagulante AR 345				
Concentración ppm	1.00	1.00	1.00	1.00
Dosificación ppm	2.00	6.00	10.00	14.00

Floculante AR 2414	
Concentración ppm	0.50
Dosificación ppm	1.00

Resultados

Cuadro 1. Probeta con mejor resultado

Coagulante AR 345	
Concentración ppm	1.00
Dosificación ppm	6.00
Floculante AR 2414	
Concentración ppm	0.50
Dosificación ppm	1.00

Volumen de agua de mina a tratar x mes = 103680 m³

Cuadro 2. Consumo de Reactivos por Mes

Consumo Coagulante AR 345 x mes	622.08 kg. = 2.30 (cilindros de 270 kg)
Consumo Floculante AR 2414 x mes	103.68 kg. = 4.15 (sacos de 25 kg)

Cuadro 3. Costos de Reactivos x mes

Coagulante AR 345	\$ 1132.19
Floculante AR 2414	\$ 539.14

Atte. Rosario Esteban
Ing. Metalurgista U.O Ares

Anexo N° 10
Registro de figuras



Figura 1. Punto de monitoreo en crucero Olga By pass 650.



Figura 2. Punto de monitoreo en interior mina.



Figura 3. Monitoreo en ingreso poza de decantación N° 1.



Figura 4. Poza de decantación N° 3.



Figura 5. Poza chupones.



Figura 6. Ingreso poza de decantación N° 2.



Figura 7. Ingreso de agua de mina a sistema de tratamiento físico químico en superficie.



Figura 8. Muestras de agua de mina de la poza de decantación N° 3 e ingreso a sistema de tratamiento físico químico.



Figura 9. Vista de la formación de flóculos durante el inicio de las pruebas de jarras.



Figura 10. Vista de los flóculos sedimentados durante la mezcla lenta.



Figura 11. Medición de parámetros fisicoquímicos en una de las pruebas con el A-110.

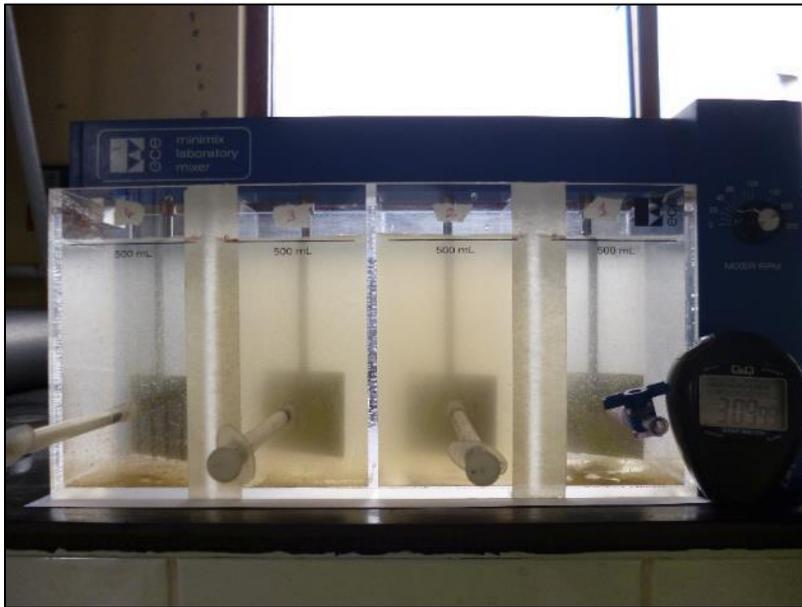


Figura 12. Vista de una de las pruebas de jarras con el AR-2414.

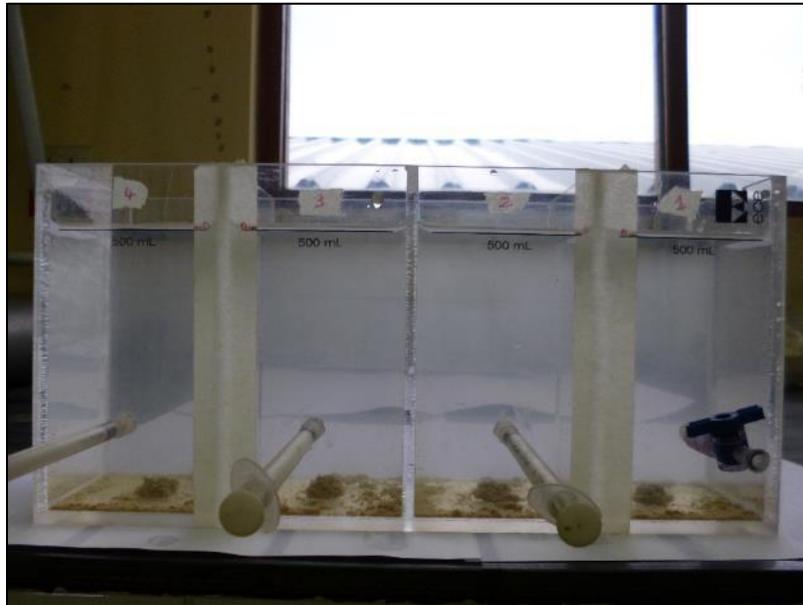


Figura 13. Vista de la sedimentación de flóculos.

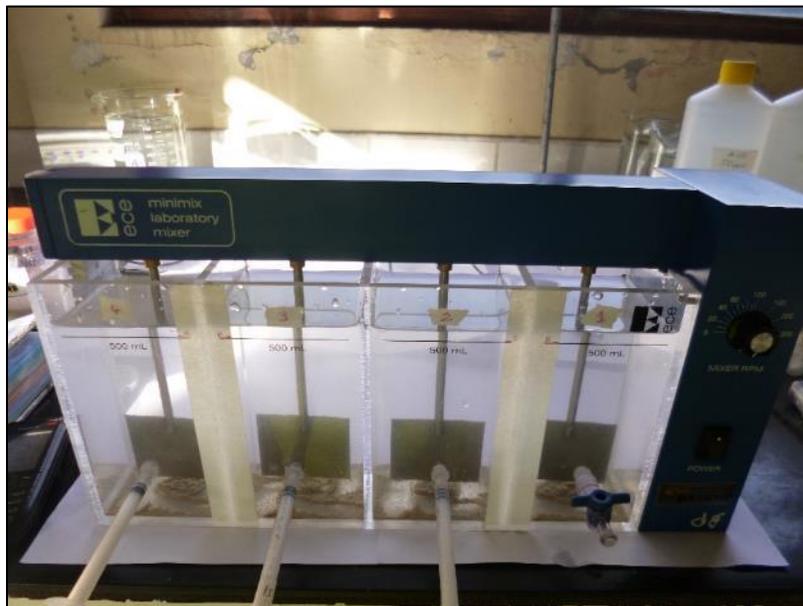


Figura 14. Vista de la prueba de jarras con sulfato de aluminio y A-110.

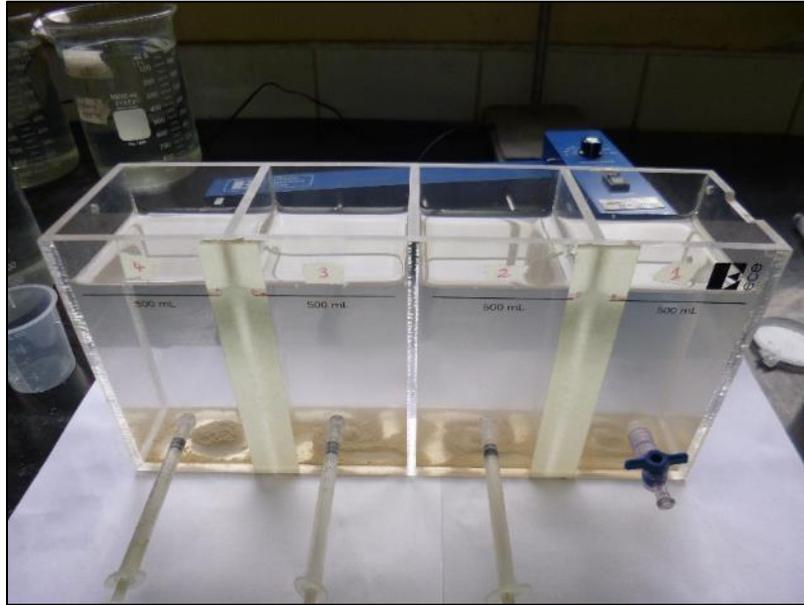


Figura 15. Vista de los flóculos sedimentados.



Figura 16. Medición de parámetros fisicoquímicos en prueba de jarras N° 11.



Figura 17. Vista de la prueba de jarras N° 12 con sulfato de aluminio y A-110.



Figura 18. Vista de los flóculos sedimentados en la prueba N° 12.



Figura 19. Vista del valor de la turbidez en prueba N° 12.



Figura 20. Vista de probeta con muestra de agua de mina durante prueba para determinar la velocidad de sedimentación.



Figura 21. Vista de los sólidos sedimentados luego de 24 horas.



Figura 22. Vista de punto 1 de pérdida hidráulica.



Figura 23. Vista de punto 2 de pérdida hidráulica.



Figura 24. Vista general de las cámaras de sedimentación en superficie.

Anexo N° 11
Matriz de Consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA						
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVOS	HIPÓTESIS DE INVESTIGACION	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES			MÉTODO A EMPLEAR
			VARIABLE	INDICADOR	INDICE	
<p>En la actualidad todo efluente que se genere durante la actividad minera, es decir producto de las actividades de extracción y beneficio, debe recibir un tratamiento previo a su descarga a un cuerpo de agua; esto en cumplimiento del D.S. N° 010-2010-MINAM, (Aprueban Límites Máximos Permisibles para la Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas), publicado el 21 de agosto del 2010; dicho decreto supremo establece los valores de las variables físico químico que debe cumplir el efluente para poder ser descargado al ambiente.</p> <p>Debido a la existencia de leyes ambientales y por políticas ambientales por parte de la compañía Minera Ares, es que en la Unidad Operativa Ares (UOA), se toma la decisión de tratar el efluente proveniente de interior mina, para ello se diseñaron cámaras de sedimentación en interior mina con el objetivo de reducir la concentración de sólidos suspendidos, sin embargo no se tomó en cuenta los tiempos de retención ni el volumen generado de lodos, esto genero resultados desfavorables para el cumplimiento de los límites máximos permisibles.</p> <p>Al obtener las dosis óptima de floculante y coagulante, velocidad de sedimentación y volumen de lodos, se va a poder mejorar las variables de tratamiento del efluente de mina y con ello obtener una mejor eficiencia en el sistema actual, adicionalmente se podrá rediseñar el sistema de tratamiento físico químico del efluente de mina, los mismos que se sustentan en el Marco Teórico.</p>	<p>OBJETIVO GENERAL Mejorar la eficiencia del sistema de tratamiento físico químico del efluente minero generado en la Unidad Operativa Ares.</p> <p>OS ESPECÍFICOS Caracterizar las descargas de Efluente Líquidos generados por la actividad Minero Metalúrgica en la Unidad Operativa Ares. Disminuir la concentración de sólidos por debajo del Valor Promedio Anual, 25 mg/L, en la descarga del efluente de mina, según lo establecido en el D.S. N° 010-2010-MINAM - Límites Máximos Permisibles para la descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero Metalúrgicas. Obtención de la dosis óptima de coagulante y floculante para distintas concentraciones de sólidos en el efluente de mina. Determinación de la velocidad de sedimentación de las partículas presentes en el efluente.</p>	<p>“La evaluación del sistema de tratamiento físico químico de efluentes de mina va a mejorar la calidad del efluente tratado, cumpliendo con la legislación ambiental vigente.”</p>	<p>Variable Independiente XI: Sistema de tratamiento físico químico de efluente</p>	<p>Gradiente de Mezcla (Seg⁻¹) X₁ Gradiente de Floculación (Seg-1) X₂ Tiempo de Mezcla (Seg) X₃ Tiempo de Floculación (Min) X₄ Concentración de Coagulante (mg/L) X₅ Concentración del Floculante (mg/L) X₆ Dosis de Coagulante X₇ Dosis de Floculante (ppm) X₈ Tiempo de sedimentación X₉ Velocidad de Sedimentación (m/h) X₁₀</p>	<p>El tiempo de mezcla será encontrado en un rango de 5 – 15 seg. Concentración de sólidos suspendidos totales (mg/L): - Valor de TSS a la salida >25mg/L. - Valor de TSS que se quiere obtener es <25 mg/L. Los valores de concentración de reactivos dependerán de la cantidad de sólidos que presente el efluente, asimismo, el volumen de lodos que se sedimenten dependerá de la carga de sólidos en el efluente y en la concentración de reactivos.</p>	<p>Análisis químico para la determinación de metales totales. Prueba de Jarras, para la determinación de la concentración de floculante y coagulante. Velocidad de sedimentación de las partículas en suspensión. Determinación del porcentaje de sólidos.</p>

<p>Se evaluará el consumo de reactivos al conocer las dosis óptimas de floculante y coagulante. Finalmente el efluente de mina estará con una concentración de sólidos menor a los 25 mg/L, permitiendo el cumplimiento de la legislación ambiental vigente.</p>	<p>Determinación de los tiempos óptimos para la mezcla rápida, coagulación, y mezcla lenta, floculación.</p> <p>Reducir las zonas de pérdidas hidráulicas con el fin de evitar la ruptura de flóculos y la mala mezcla del coagulante y floculante.</p>		<p>Variable Dependiente:</p> <p>Y1: Calidad del efluente</p>	<p>Turbiedad Residual (NTU) Y₁ pH Y₂ Concentración de Sólidos Y₃ Volumen de Sólidos Y₄ Concentración de Fe (mg/L) Y₅ Concentración de Zn (mg/L) Y₆ Concentración de Mn (mg/L) Y₇ Concentración de Al (mg/L) Y₈</p>	<p>La turbidez del agua debe encontrarse por debajo de los 50 NTU.</p> <p>El volumen de lodos precipitados dependerá de la cantidad de sólidos presentes en el agua y de la eficiencia de los reactivos.</p>	
--	---	--	--	---	--	--