

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ ESCUELA DE POSGRADO

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
DE MINAS**



TESIS

**“VERTIMIENTO DE EFLUENTES MINEROS DE MINA MARTA EN LA
CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS DEL RIO TINYACLLA”**

PRESENTADA POR:

JUAN ADOLFO GUILLÉN PÉREZ

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN GESTIÓN MINERA

HUANCAYO – PERÚ

2020

ASESOR:

Dr. José Paulino Avellaneda Puri

DEDICATORIA

Al Divino, a mi familia, mi progenitora, hermanos y a la memoria de mi padre, por su sostén constante e ilimitado para el desarrollo de mi trayectoria profesional y quienes colaboraron para la realización de este trabajo de investigación.

AGRADECIMIENTO

Debo manifestar mis agradecimientos a la Gerencia de Proyectos de Cía. Minera Barbastro S.A.C. por aprobar este estudio, al área de Medio Ambiente en la implementación, aplicación y obtención de resultados satisfactorios en el vertimiento del efluente minero, que fue el sustento del presente estudio.

Debo hacer extensivo también a los catedráticos de la Escuela de Pos Grado de la Facultad de Ingeniería de Minas.

RESUMEN

El estudio de investigación que se desarrolló con el propósito de demostrar que el vertimiento del efluente minero de mina Marta no contamina las aguas del río Tinyaccla, después de realizar un proceso de tratamiento activo del drenaje ácido de mina para la descarga del efluente minero hacia el cuerpo receptor, el diseño de investigación es descriptivo y comparativo, donde se tomarán muestras antes y después de la aplicación del tratamiento del efluente minero. Se considera para la población la toma de datos diarios durante los meses de enero a junio 2012, siendo registradas las lecturas de parámetros en una base de datos para su análisis. Para el proceso del tratamiento del efluente minero se ha diseñado una planta de tratamiento activo con la utilización de reactivos como la soda caustica y el magnafloc-351, los resultados de los parámetros que son materia de informe son obtenidos de un laboratorio químico calificado y autorizado por la autoridad competente. Los resultados obtenidos después del tratamiento activo del efluente minero cumplen las normas establecidas por el Decreto Supremo 010 – 2010 Ministerio del Ambiente de Límites Máximos Permisibles. Así se concluye que los vertimientos de los efluentes de mina Marta no contaminan las aguas del río Tinyaccla.

ABSTRAC

This research work will be analyzed with the purpose of demonstrating that the dumping of the mining effluent of Marta mine does not contaminate the waters of the Tinyacclla river, after performing an active treatment process of the acid mine drainage for the discharge of the mining effluent to the receiving body, the research design is descriptive and comparative, where samples will be taken before and after the application of the mining effluent treatment. The daily data collection during the months of January to June 2012 is considered for the population, the parameter readings being recorded in a database for analysis. For the mining effluent treatment process, an active treatment plant has been designed with the use of reagents such as caustic soda and magnafloc-351, the results of the parameters that are the subject matter of the report are the use of a qualified chemical laboratory and authorized by the competent authority. Subsequent results after active treatment of the mining effluent meet the standards established by D.S. 010 - 2010 MINAM of maximum permissible limits. Thus it is concluded that the effluents from the Marta mine effluents do not contaminate the waters of the Tinyacclla river.

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I.....	3
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 IDENTIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.2.1 PROBLEMA GENERAL	6
1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS	6
1.3 OBJETIVOS	6
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	6
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
1.4 JUSTIFICACIÓN	7
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	8
1.5.1 ALCANCES	8
1.5.2 LIMITACIONES.....	8
CAPITULO II.....	9
2. MARCO TEORICO	9
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
2.2 BASES TEÓRICAS	13
2.2.1 DRENAJE ÁCIDO.....	13
2.2.2 ETAPAS DEL DRENAJE ÁCIDO.....	14
2.2.3 DRENAJE ACIDO DE MINA	16
2.2.4 CONTAMINACIÓN DAM.....	19
2.2.5 CARACTERIZACIÓN DE LOS DAM	19
2.2.6 RECOLECCION DEL DAM.....	21
2.2.7 TRATAMIENTO DEL DAM	23
2.2.7.1 TRATAMIENTO PASIVO	23
2.2.7.2 TRATAMIENTO ACTIVO	25
2.2.7.2.1 TRATAMIENTO ACTIVO EN UNA PLANTA CONVENCIONAL.....	27
2.2.7.2.2 TRATAMIENTO ACTIVO EN UNA PLANTA HDS.....	31
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	32
2.3.1 VERTIMIENTO	32

2.3.2 AGUAS RESIDUALES	33
2.3.3 VERTIMIENTO AGUA DE MINA.....	34
2.4 HIPÓTESIS	36
2.4.1 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	36
2.5 VARIABLES E INDICADORES	36
2.5.1 VARIABLES	36
2.5.2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES-INDICADORES.....	37
2.6 BASE LEGAL.....	38
CAPITULO III.....	39
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	39
3.1 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	39
3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN	39
3.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN	39
3.4 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	39
3.5 POBLACIÓN Y MUESTRA	40
3.6 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	41
3.7 PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	41
3.8 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS.....	41
CAPITULO IV	42
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
4.1 PRESENTACIÓN DE DATOS GENERALES.....	42
4.1.1. PRESENTACIÓN	42
4.1.2 OBJETIVOS	43
4.1.3 ASPECTOS GENERALES	43
4.1.3.1 UBICACIÓN POLÍTICA	43
4.1.3.2 ACCESO.....	44
4.1.3.3 ACTIVIDADES MINERAS.....	45
4.1.4 MONITOREO AMBIENTAL	45
4.1.4.1 MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA.....	45
4.1.4.2 PUNTOS DE MUESTREO.....	45
4.1.4.3 PARÁMETROS	46
4.1.4.4 ESTÁNDARES DE REFERENCIA.....	46
4.2 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS.....	47
4.2.1 SISTEMA DEL TRATAMIENTO DE AGUA DE MINA MARTA	47

4.2.2 CÁLCULOS DE LA CAPACIDAD DE LOS TANQUES DE SEDIMENTACIÓN.....	49
4.2.2.1 CÁLCULO DEL TIEMPO DE RETENCIÓN DE LAS POZAS (Tr).....	50
4.2.2.2 CÁLCULOS DE LA PREPARACIÓN DEL REACTIVO NaOH	52
4.2.2.3 SEDIMENTACIÓN DE SÓLIDOS CON FLOCULANTES	53
4.2.3 DATOS GENERALES	54
4.2.4 RESULTADO DE LOS ANÁLISIS DEL AGUA DE MINA DEL TRIMESTRE INDICADO.	63
4.3 PRUEBA DE HIPÓTESIS	64
4.3.1. PROPOSICIÓN DE LA HIPÓTESIS	64
4.3.2. NIVEL DE SIGNIFICACIÓN	65
4.3.3. CÁLCULO DE VALORES CRÍTICOS Y DE PRUEBA.....	65
4.3.4. DECISIÓN Y CONCLUSIÓN	65
4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	65
CONCLUSIONES	67
RECOMENDACIONES	71
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72
ANEXOS	74

TABLAS

Tabla N° 1.- Estadística de la variación del caudal del DAM – mina Marta.

Tabla N° 2.- Variación del pH en el DAM de mina Marta.

Tabla N° 3.- Ubicación Política de mina Marta.

Tabla N° 4.- Distancia del acceso a mina Marta.

Tabla N° 5.- Puntos de Muestreo.

Tabla N° 6.- Decreto Supremo N° 010 Ministerio del Ambiente – LMP.

Tabla N° 7.- Parámetros del efluente minero en descarga en el punto M – 2A.

FIGURAS

Fig. N° 1.- Etapas de la formación del drenaje ácido.

Fig. N° 2.- Esquema de una planta de tratamiento convencional para aguas ácidas.

Fig. N° 3.- Relación densidad de lodos producidos y área de sedimentador.

Fig. N° 4.- Planta de tratamiento de aguas ácidas por el proceso HDS.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación está referido al tratamiento activo para el drenaje ácido de mina (DAM) en mina Marta de la Compañía Minera Barbaastro S.A.C., el efluente es producto de las infiltraciones que se presentan desde la superficie hacia el interior de la mina a esto se suma las aguas que son producto de las operaciones mismas del laboreo en la mina. El efluente minero antes de ser evacuado a un cuerpo receptor deberá pasar por un proceso de un tratamiento activo para cumplir con los Límites Máximos Permisibles (LMP) que están reglamentados por el D.S. 010 – 2010 MINAM, para las actividades minero-metalúrgico.

El DAM de la mina tiene la característica de que en épocas de lluvias en la zona las infiltraciones de agua se incrementan hacia el interior de la mina, por lo que el caudal y volumen se incrementa haciendo que las características del efluente antes del proceso de tratamiento tenga un pH ácido crítico y los sólidos totales en suspensión (STS) en cantidades considerables que hacen necesario realizar un procedimiento activo del DAM.

Para poder aplicar un proceso activo del efluente ácido va ser necesario la implementación de infraestructuras consistentes en implementar una planta piloto mecánico para la preparación y dosificación de los reactivos que serán adicionados al efluente, la construcción de pozas de concreto armado que estarán ubicadas en serie para facilidad de operación, los reactivos utilizados: la soda caustica para la neutralización del pH, el magnafloc-351 como floculante, estos reactivos harán que el pH y los STS estén en el rango establecido para los LMP.

Los resultados obtenidos con el DAM de mina Marta aplicando el proceso del tratamiento activo para aguas ácidas y la adición de los reactivos mencionados harán que el efluente descargado al cuerpo receptor del río cumpla los estándares fijados por el D.S. 010 – 2010 MINAM y de esta manera el vertimiento del efluente minero de mina Marta no contamine las aguas del río Tinyaccla.

CAPITULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 IDENTIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En el desarrollo de las actividades mineras es causa de las consecuencias que impacta al medio ambiente local y global, donde nuestro país se encuentra inmerso a dicho problema, ya que contamos con muchos depósitos mineros de diferentes formas y escalas de producción.

Estos problemas que antiguamente no se contemplaban como un elemento de riesgo en el desarrollo de la sociedad; en la actualidad este riesgo es considerado con mayor seriedad, el hombre viene impactando el medio ambiente desde sus primeros días de existencia, pero por los daños causados en el medio ambiente han hecho que se elaboren políticas ambientales que controlen los impactos ambientales. En el desarrollo del ser humano los recursos mineros van a ser necesarios para satisfacer sus necesidades que se pudieran dar en un momento dado. Cabe mencionar que la industria minera es menos impactante que otras actividades, como la ejecución de obras civiles (impacto óptico, alteración del ambiente inicial) y una agricultura (uso indiscriminado de químicos: insecticidas, fertilizantes, etc.).

Todos los metales pesados (hierro, plomo, cobre, zinc, níquel, manganeso, mercurio, entre otros) son observables en los elementos acuáticos (el agua químicamente limpia no existe en la naturaleza), resultando las concentraciones (en ausencia de contaminación) muy bajas. Los metales pesados son identificados en estas aguas como coloides, partículas de mineral (sólidos en suspensión), o etapas disueltas (cationes o iones complejos). Las

formas coloidales dan lugar a la formación de hidróxidos, en cambio las partículas sólidas contienen una diversidad de minerales. Las etapas disueltas pueden ser captadas ya sea por adsorción o absorción en arcillas o hidróxidos. Así mismo los compuestos orgánicos pueden formar fases de una capacidad de captar los cationes metálicos, que en a veces dan como resultado fases exageradamente tóxicas (metilmercurio, $[\text{CH}_3\text{Hg}]^+$).

La disminución del pH puede considerarse en forma directa a una serie de sucesos físico-químicos resultados de la oxidación de grupos sulfuradas (principalmente la pirita: FeS_2). Como resultado final se obtiene la formación de un drenaje ácido. Las formaciones se caracterizan en:

- 1) El contenido de pirita inicial en el depósito mineral (de sulfuros o carbones con pirita), o desmontera (escombreras, relaves).
- 2) Debido a la existencia de bacterias oxidantes.
- 3) Los niveles de oxígeno.

Los Drenajes Ácidos de Mina (DAM), son producidos debido a la oxidación de sulfuros metálicos, mayormente por sulfuro de hierro, tal como la pirita (FeS_2), en presencia de oxígeno atmosférico y el agua.

Por datos estadísticos tomados durante el periodo del 2007 al 2011 se determinó un caudal mínimo de 1.85 lt/seg. (2008) y un caudal máximo de 171.77 lt/seg (2011) en el caudal del DAM en mina Marta, datos que serán tomados como referencia para los estudios.

Tabla N° 1.- Estadística de la variación de caudal del DAM en mina Marta.

Años	2007		2008		2009		2010		2011	
meses	lit/seg	m ³ /día	lit/seg	m ³ /día	lit/seg	m ³ /día	lit/seg	m ³ /día	lit/seg	m ³ /día
Enero	16	1382	26.9	2324	12.67	1095	59.51	5142	90.42	7812
Febrero	18	1555	35.68	3083	27.89	2410	78.27	6762	147.02	12702
Marzo	18	1555	43.39	3749	35.3	3050	99.87	8629	171.77	14841
Abril	18	1555	37.41	3232	31.35	2709	106.25	9180	133.28	11515
Mayo	11	950	23.84	2060	21.02	1816	71.39	6168	96.73	8358
Junio	6	518	12.96	1120	11.34	980	63.83	5515	63.25	5465
Julio	4.4	380	6.37	550	6.19	535	38.63	3338	40.52	3501
Agosto	4.4	380	2.88	249	6.05	523	24.02	2075	25.29	2185
Setiembre	4.4	380	2.15	186	5.95	514	15.24	1317	19.38	1674
Octubre	4.4	380	1.85	160	5.15	445	8.87	767	18.43	1593
Noviembre	4.4	380	2.25	194	5.44	470	7.80	674	16.34	1411
Diciembre	4.8	415	3.99	345	33.84	2924	11.78	1018	16.34	1412
TOTAL	113.8	9832	199.67	17251	202.19	17469	585.46	50584	838.76	72469
PROMED.	9.48	819.36	16.64	1437.6	16.85	1455.7	48.79	4215.3	69.90	6039

En nuestro país se han establecido estándares de calidad en los contaminantes para garantizar la pureza y seguridad del recurso hídrico. La concentración química, al que los contaminantes tienen impactos en la salud de los humanos, es reglamentada por la Organización Mundial de Salud (OMS) a nivel mundial y el organismo ambiental, Ministerio del Ambiente (MINAM) en el Perú. Para nuestro país es la medida rígida, oficial y legal establecida sobre bases científicas, gran parte de estos niveles máximos permisibles han sido establecidos en los laboratorios de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos – Environmental Protection Agency (EPA).

1.2.1 PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es la influencia del vertimiento de efluentes mineros de mina Marta en la contaminación de las aguas del río Tinyaclla por la Compañía Minera Barbastro S.A.C.?

1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- a) ¿Cuál es la incidencia del caudal del vertimiento de efluentes mineros de mina Marta en la contaminación de las aguas del río Tinyaclla?
- b) ¿Cuál es la incidencia del pH del vertimiento de efluentes mineros de mina Marta en la contaminación de las aguas del río Tinyaclla?
- c) ¿Cuál es la incidencia de los sólidos totales del vertimiento de efluentes mineros de mina Marta en la contaminación de las aguas del río Tinyaclla?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar cómo influye en la contaminación de las aguas del río Tinyaclla el vertimiento de efluentes mineros de mina Marta.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Evaluar la incidencia del caudal del vertimiento de efluentes mineros de mina Marta, mediante la toma de datos estadísticos.
- b) Evaluar la variación del pH del vertimiento de efluentes mineros de mina Marta, mediante el uso del multiparámetro.
- c) Analizar el contenido de sólidos totales del vertimiento de efluentes mineros de mina Marta, mediante la toma de muestras y resultados de un laboratorio químico.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Los vertimientos de efluentes de aguas ácidas y con sólidos en suspensión con contenido de metales, traen como consecuencia la contaminación de las aguas superficiales y por consiguiente del medio ambiente. El agua evacuado del interior de la mina se caracteriza por presentar valores de hasta 5.0 de pH que está en un nivel bajo de los estándares establecidos por nuestras leyes, que considera valores entre 6 – 9 establecido por el D. S. N° 010 – 2010 del MINAM, por lo que debe ser tratada y descargar a ríos y quebradas con los valores permitidos. Debemos mencionar, que el área de medio ambiente monitorea permanentemente las descargas con el objetivo de comprobar que estén cumpliendo los valores establecidos, como el identificar si hubiese variaciones en los valores para una calidad de agua aceptable y de esta manera no impactar negativamente en la flora y fauna de los cursos de aguas abajo derivadas por actividades de minería.

En el cuadro podemos apreciar la variación en promedio mensual del pH en el DAM de mina Marta.

Tabla N° 2.- Variación del pH del DAM en mina Marta.

Meses del año 2012												
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
pH	5.6	5.0	5.5	6.0	6.0	6.0	6.8	6.5	6.5	7.1	6.0	5.5

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.5.1 ALCANCES

El presente trabajo de investigación se desarrollará en el tratamiento de efluentes mineros pertenecientes a mina Marta de Compañía Minera Barbastro S.A.C., antes de ser vertidos a la quebrada del río Tinyacclla, para el cumplimiento de los estándares de los Límites Máximos Permisibles (LMP) de los vertimientos de aguas de mina.

También tendrá opción para realizar actividades de cierre de mina con obras a implementar que tendrán como finalidad lograr la estabilidad física, geoquímica e hidrológica de las áreas que han sido afectadas por las operaciones mineras.

1.5.2 LIMITACIONES

El trabajo de investigación se limita al tratamiento de su efluente y cumpla con los estándares de los “Límites Máximos Permisibles (LMP), establecido” (D.S. 010-2010-MINAM). (Anexo N° 1).

CAPITULO II

2. MARCO TEORICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

El drenaje ácido de mina está considerado como responsable de un impacto negativo en la contaminación del agua, donde se tienen operaciones mineras en explotación o ya explotadas. La formación de drenaje ácido de mina, su liberación, recorrido y control, van a necesitar desarrollar procesos determinados para un análisis de los factores físicos, químicos y biológicos; tal como, geología regional de un yacimiento de mineral, microorganismos, temperatura y oxígeno del ambiente y la existencia de fuentes de agua. Se debe considerar que, estos elementos son muy diferentes de un lugar con otro y considerando esta variación, la ubicación, prevención, tratamiento de las aguas ácidas tiene que ser un tema de mucho cuidado y al detalle. En la formación del drenaje ácido de mina o de roca, no solamente es producto de la actividad minera, pueden ser producto de los sulfuros al ser expuestos por el desarrollo en otras actividades, como túneles, carreteras y otras excavaciones en niveles bajos. Se obtiene un agua muy ácida del agua residual del drenaje de ácido de mina y que tiene concentraciones altas en sulfatos ferrosos y no ferrosos (las sales). (Geoffrey & Ndlovu, 2014) refiere si el drenaje ácido no es tratado, este puede contaminar aguas superficiales y subterráneos, cuyo efecto colateral es el daño a la salud de especies acuáticas, plantas, animales y humanos. Por esto, la búsqueda de remediación para el drenaje ácido es extensa desde la década de 1970. A pesar de los esfuerzos de las empresas mineras, gobiernos y organizaciones no gubernamentales, no se ha desarrollado aún la combinación de escala, recursos y credibilidad para

enfrentar el problema. Los procedimientos químicos convencionales que consisten en agregar sustancias alcalinas para neutralizar compuestos ácidos y así obteniendo la constitución de precipitados. “Los productos químicos más utilizados en la neutralización para causar precipitación de sus metales son: la piedra caliza, la cal hidratada, el carbonato de sodio, la soda caustica, el amoniac, el peróxido de calcio, el polvo del horno, y las cenizas volantes” (Salazar, Hernández, & Álvaro, 2012, pág. 354).

(Morell & Fagundo, 1996) refiere que las sustancias más utilizadas son los compuestos alcalinos tales como el hidróxido sódico (NaOH, sosa cáustica), la caliza (CaCO_3), la cal (CaO), y el carbonato sódico (Na_2CO_3). La adición de estas sustancias provoca la neutralización de las aguas ácidas y crea un ambiente desfavorable para la oxidación de la pirita por dos motivos: primero, porque las bacterias que oxidan al hierro requieren un ambiente ácido para que su actividad sea óptima y segundo porque con un pH cercano al neutro, el Fe^{+3} precipita y recubre la superficie de la pirita, rompiendo el mecanismo de la oxidación.

Para contener la contaminación ambiental y tratar las aguas ácidas que se originan en las minas y en los desmontes, ha sido construida una planta de tratamiento para reducir la contaminación. Las aguas ácidas entran por una canaleta en un almacén donde se introduce, por medio de un molino de cal dosificador, una cantidad establecida de CaO. Sucesivamente las aguas y lodos formados bajan por gravedad a dos lagunas impermeabilizadas y finalmente decantan separándose la fase sólida de la líquida. (Mariusz, 2011, pág. 13)

Se puede afirmar que la mayoría de sistemas de tratamiento activo para aguas ácidas de mina se basan en la precipitación de hidróxidos, que se realiza en un proceso de tres pasos:

- Paso 1: Oxidación (para convertir Fe^{+2} en Fe^{+3}).
- Paso 2: Dosis con álcalis, especialmente $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pero también con NaOH , NaHCO_3 y otras sustancias.
- Paso 3: Sedimentación. (Romero, Flores, & Arévalo, 2010).

Agua ácida. El agua ácida en la planta es recepcionada por un tanque de tratamiento donde se le adiciona soda cáustica (NaOH) y/o lechada de cal (CaO) con una determinada dosificación la cual permite elevar el pH dentro del rango de 6.5 a 8.5, removiendo así los metales presentes, los cuales precipitan en forma de hidróxidos. (Kremmer & Jhon, 1989). Para un pH aceptable.

Si no se logra precipitar los elementos contaminantes hasta los límites permisibles, entonces se procede a utilizar un reactivo químico selectivo para la precipitación de metales pesados como el UNR-811 (Dietilditiocarbonato), el cual tiene la propiedad de precipitar metales pesados a un rango bajo de pH. Si bajo estas condiciones se presentaran problemas para precipitar elementos pesados metálicos bajo los límites permisibles, entonces se procede a aumentar el pH de la solución a un rango mayor (entre 10.5 a 11.0), el cual permite que precipite principalmente el Fe, ya que con pH básico se forma Hidróxido de Fierro, $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Posteriormente, pasa a un segundo tanque, donde se logra la separación sólido-líquido, con la ayuda de un floculante aniónico A-110. Se usa el precipitado sedimentado que se retiene para formar un lecho filtrante con floculante aniónico, a través del cual, se hace pasar la solución (de abajo hacia arriba) quedando atrapadas las partículas en

suspensión que lleva consigo, obteniéndose como resultado una solución clarificada. (Benavides, 2002, págs. 2 - 3).

Lodos de Alta Densidad-High Density Sludge (HDS), sostiene en su proceso el agregado de cal al drenaje ácido con el objetivo de elevar el valor del pH y proporcionar condiciones favorables, así faciliten la densificación del lodo, obteniendo un producto denso, granular, de poco drenaje, con viscosidad relativamente baja; mediante procesos de neutralización, oxidación y precipitación, obtenidas en los tanques reactores. De la identificación de tecnologías disponibles sobre el tratamiento de efluentes mineros, se ha obtenido que la tecnología HDS – Lodos de Alta Densidad, es la que garantiza obtener efluentes que cumplan las actuales exigencias de la normativa ambiental, de acuerdo a su aplicación demostrada tanto nacional como internacionalmente en el tratamiento de efluentes con criterios de descarga a niveles de estándares de calidad ambiental, los cuales son los más óptimos para garantizar el cuidado y la protección de la calidad del agua de los cuerpos receptores. (Calla, 2010, pág. 254)

En una sedimentación. Considera en base al objetivo general del proyecto, es decir, la validación de los sistemas de purificación químicos-físicos como una nueva tecnología de purificación de aguas residuales originadas por proyectos de minería de pequeña escala, como consecuencia de todos los argumentos anteriormente presentados, concluye que el sistema de neutralización y consiguiente sedimentación de los distintos contaminantes representa un sistema de purificación muy eficiente, con una técnica muy interesante para la protección de ecosistemas acuáticos que demandan bajos costos de operación y mantenimiento. Sus principales características son: a)

eficiencia de purificación satisfactoria, b) costos de construcción y de mantenimientos relativamente bajos y c) un manejo bastante simple y poco susceptible a errores (Bocángel & Florian, 2003).

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 DRENAJE ÁCIDO

El drenaje ácido son los desprendimientos de soluciones ácidas sulfatadas regularmente que en su composición contiene metales disueltos, por un proceso de una oxidación química y biológica de minerales sulfurados y de la lixiviación de metales pesados. Los cambios de oxidación suceden en una forma natural, e incrementan su reacción por el grado de exposición de la roca hacia el oxígeno y agua y por el hecho catalizador de ciertas bacterias.

Principalmente, el drenaje ácido tiene la peculiaridad de tener valores de pH bajo (entre 5 a 1,5); caracterizado por una acidez creciente con el tiempo y una alcalinidad decreciente, y por presentar concentraciones elevadas de sólidos disueltos totales; de sulfato de hierro y otros metales. En otros casos, cuando existan minerales no sulfurados pero solubles, o en el uso de ciertos reactivos tal como el cianuro, suelen localizarse niveles altos de metales disueltos en efluentes no ácidos.

Las soluciones de drenaje ácido frecuentemente presentan un color café rojizo atribuido al ión Fe (III); sin embargo, también puede aparecer un color azul verdoso en el caso de que el hierro disuelto se encuentre en estado Fe (II), el cual tenderá a obscurecerse por oxidación a Fe (III), a medida que esté expuesto al oxígeno del aire. El drenaje ácido contiene en suspensión productos de reacciones de precipitación asociadas a los iones disueltos, que le pueden dar distintos colores a la solución.

Usualmente, cuando el escurrimiento de drenaje ácido es aireado, se forman manchas café rojiza en los cauces y canales del drenaje. (Chile, 2002, pág. 7)

2.2.2 ETAPAS DEL DRENAJE ÁCIDO

Etapa I

- Los minerales sulfurados, principalmente pirita (bisulfuro de hierro (FeS_2)), son oxidados químicamente por el oxígeno del aire, que es el oxidante principal. El producto de esta reacción de oxidación es sulfato (SO_4), hierro ferroso (Fe^{+2}) y protones (H^+), los cuales generan acidez.
- En el rango normal de pH de suelos y agua (pH 5-7) los metales liberados por el desgaste de minerales generalmente precipitan y están relativamente inmóviles, debido a que los minerales alcalinos como la calcita (CaCO_3), presentes en la matriz de la roca neutralizan la acidez y originan la oxidación y precipitación del hierro como óxido o hidróxido.
- A medida que los minerales alcalinos se consumen o encapsulan por cubiertas de precipitado, disminuirá el pH en el área en torno al sulfuro, pasando a la siguiente etapa de desarrollo del drenaje ácido.

Etapa II

- En esta etapa el pH del microambiente ha disminuido hasta 4,5; por lo que ocurren reacciones de oxidación tanto químicas como biológicas y si la oxidación continúa hasta que se haya agotado todo el potencial de neutralización, se presentarán valores de pH por debajo de 3,5.

- Existen concentraciones elevadas de hierro ferroso y sulfato y pese a la acidez relativamente alta, las concentraciones de metales en la solución pueden ser bajas.

Etapas III

- Las reacciones de oxidación catalizadas por bacterias aumentan. Se produce hierro ferroso (Fe^{+2}), que se oxida biológicamente a hierro férrico (Fe^{+3}), el cual se convierte en el oxidante dominante, reemplazando al oxígeno.
- El drenaje se vuelve aún más ácido producto de la oxidación de sulfuros metálicos (ZnS , PbS , etc.), con mayores concentraciones de metales disueltos.
- La velocidad de oxidación es considerablemente más rápida que en la etapa I. Mediante estudios se ha podido observar que el aumento de las velocidades es de 10 a 1 millón de veces. (Chile, 2002, pág. 9).

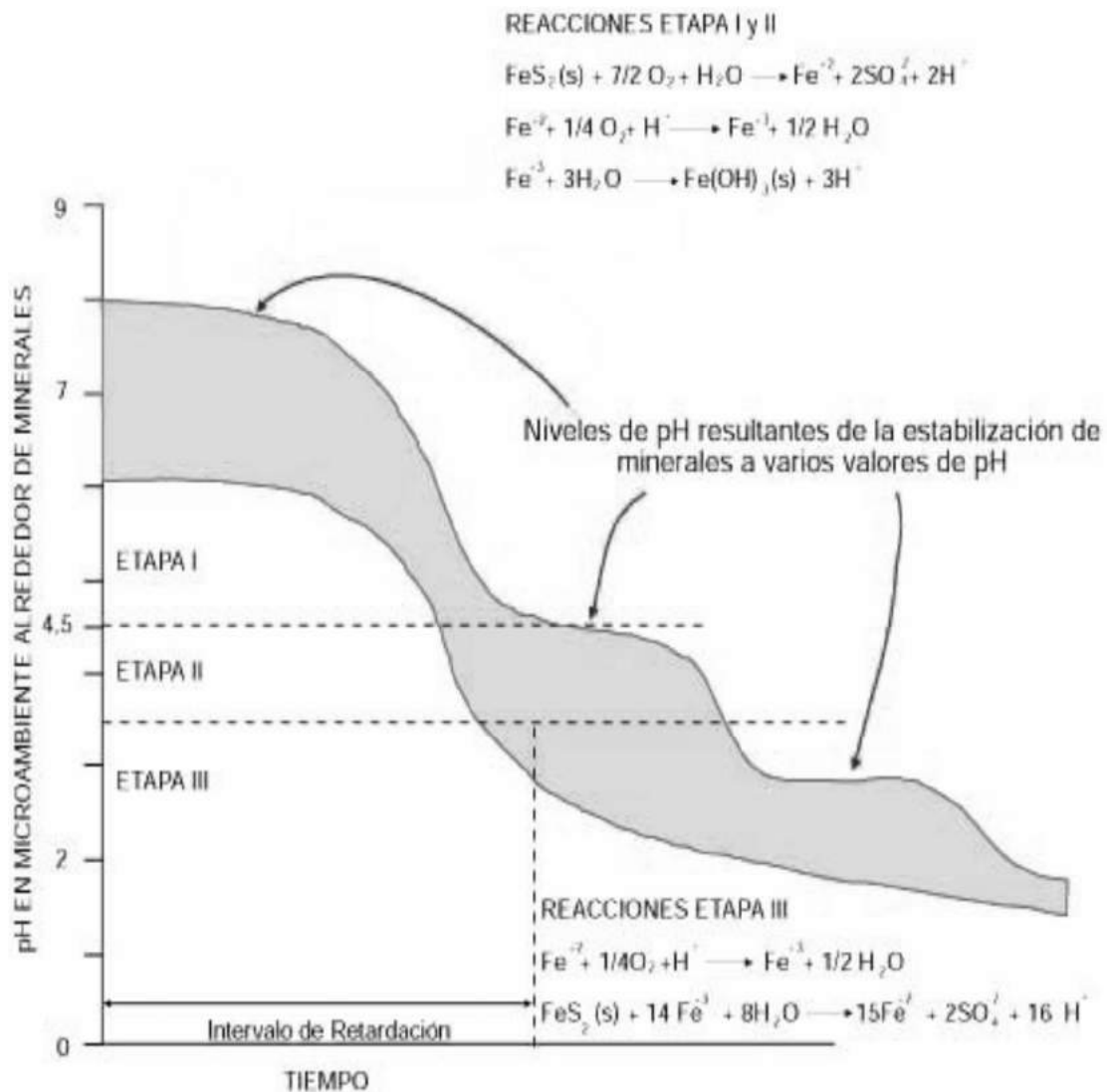


Fig. 1.- Etapas de la formación del drenaje ácido (Chile, 2002)

2.2.3 DRENAJE ACIDO DE MINA

Un suceso de drenaje ácido procedente de los minerales sulfurosos deriva a un producto que sucede de una forma natural. En los tiempos antiguos, se ubicaron yacimientos mineralizados debido a la ubicación de un drenaje de agua rojiza, esto por la presencia de minerales sulfurosos.

Más o menos unas dos décadas atrás, tomaron la conciencia ambiental involucrada por la generación de agua ácida, con presencia de metales

disueltos, también la denominación "drenaje ácido de mina" o "DAM". El drenaje ácido no solo es de la minería, por lo que también se usa la terminología "drenaje ácido de roca" o "DAR".

Cuál sea la denominación considerada "DAM o DAR" se refiere a un: drenaje impactado-contaminado producto de la oxidación de minerales sulfurados y una lixiviación de metales asociados, derivados de rocas sulfurosas al ser expuestas al agua y aire. La formación del DAR es un acontecimiento directamente del tiempo y se establecen los procesos de oxidación química también biológica como acontecimientos físico-químicos, englobando la precipitación y el encapsulamiento.

Cabe aclarar que la denominación indica a un drenaje contaminado. La generación para un DAR de pH debajo de lo permisible, con presencia de metales disueltos se debe a un proceso dependiente al tiempo y espacio. Al transcurso del tiempo, químicamente el agua del drenaje sufrirá cambios, siendo más ácida gradualmente, presentando concentraciones elevadas de metales. Cuando se menciona la denominación, el DAR nos indica a un drenaje contaminado por la consecuencia de los eventos de oxidación y lixiviación de minerales sulfurosos. En el transcurrir del tiempo las características del drenaje pueden sufrir cambios, de ligeramente alcalino a casi neutro y llegando a un valor ácido.

La presente investigación, para el término drenaje ácido de roca (DAM-DAR) está referido al drenaje que contiene niveles de cualquier mineral o contaminante que sus valores esté fuera de los límites máximos permisibles normados para la descarga del efluente de la actividad minera, y pueda producir un impacto ambiental negativo.

Este drenaje contaminado puede contener, sin limitaciones de sus componentes, lo siguiente:

- pH, acidez, alcalinidad.
- Sulfatos.
- Nutrientes.
- Metales (disueltos o totales).
- Elementos radiactivos.
- Sólidos disueltos totales (SDT).
- Sólidos totales suspendidos (STS).

Generalmente un DAR o DAM se caracteriza por:

- Valores de pH por debajo de 6 hasta 1.5.
- Alcalinidad decreciente y acidez creciente.
- Concentraciones altas de sulfato.
- Concentraciones altas de metales (disueltos o totales).
- Concentraciones altas de sólidos disueltos totales.

Con respecto al drenaje ácido de mina en el Perú, la preocupación fundamental sería los niveles elevados de acidez, sulfato, niveles de hierro y cobre y la lixiviación de otros metales asociados con el mineral sulfurado. La preocupación ambiental con respecto al DAR, generalmente, es el impacto adverso de los contaminantes, particularmente los metales disueltos, en la vida acuática del medio receptor y en la calidad del agua para beber. (Broughton, 1995, pág. 4).

2.2.4 CONTAMINACIÓN DAM

El drenaje ácido de mina (DAM) es generado cuando los sulfatos de las rocas son expuestos al aire libre y al agua. Este proceso se realiza cuando la roca es removida y depositada en pilas de drenaje, al entrar en contacto con el aire o con el agua genera ácido sulfúrico, en presencia en el agua y a un determinado grado de acidez, genera una bacteria denominada Thiobacillus Ferrooxidans, por la cual acelera los procesos de oxidación y acidificación. El ácido lixivia la roca, cuando la roca fuente este expuesta al aire y al agua, proceso que continuará hasta que los sulfatos sean extraídos completamente. Según el Consejo de la Minería Ambiental de la Columbia Británica (2000) este proceso puede durar cientos, o miles de años, dado que el ácido es transportado desde la mina por el agua, las lluvias o por las corrientes superficiales, siendo posteriormente depositado en los estanques de agua, arroyos, ríos, lagos y mantos acuíferos cercanos, degradando la calidad del agua, pudiendo aniquilar así la vida acuática y volver el agua inservible. Según esta entidad, el DAM se constituye como la fuente mayor de contaminación por metales causada por la minería. (Herrera & Millones, 2011, págs. 28 - 29).

2.2.5 CARACTERIZACIÓN DE LOS DAM

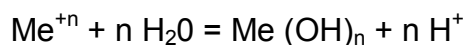
En la caracterización exacta del drenaje ácido debe ser esencial una apropiada elección y control de sus componentes intervencionales que conforman un tratamiento pasivo.

Una adecuada caracterización debe incluir la medida precisa y representativa del caudal, y de al menos los parámetros químicos siguientes: pH in situ, pH en laboratorio, alcalinidad total, acidez o alcalinidad neta (expresadas todas como CaCO_3); además de contenidos de Fe^{2+} , Fe total, Al,

Mn, SO_4^- y conductividad (Hyman y Watzlaf). Estos autores consideran analizar también el Ca, Mg, Na, Cl, K, Br y Zn, lo que permitirá en la mayoría de los casos efectuar un correcto balance iónico. El archivo de estas lecturas se ha de registrar al menos durante un año hidrológico. La acidez y la alcalinidad de un drenaje ácido de mina son parámetros elementales para la selección del tipo de tratamiento pasivo; indican la capacidad de esas aguas para neutralizar una base o un ácido. Cuando una solución presenta acidez o alcalinidad está en función de que prevalesca en ella su acidez total o su alcalinidad total, mencionándose entonces con más determinación de soluciones con acidez o alcalinidad neta.

$$\text{Acidez/alcalinidad neta} = \text{acidez total} - \text{alcalinidad total} \quad (1)$$

La acidez total indica la concentración de iones hidrógeno libres (los que definen el pH), junto con los iones hidrógeno que se puedan producir por la oxidación e hidrólisis de los metales que contiene la solución, tales como Fe, Al, Mn, Zn, etc, a través de una reacción:



En la práctica, lo que se cuantifica en laboratorio es la acidez neta y la alcalinidad total, estableciéndose la acidez total mediante la ecuación (1). La acidez y la alcalinidad se suelen cuantificar como equivalentes de CaCO_3 . La acidez cuantificada en el laboratorio generalmente indica la acidez neta, ya que se suele determinar la valoración con CaCO_3 después de haber agregado H_2O_2 y calentado la muestra para obtener la total oxidación e hidrólisis de todos los metales. La acidez total teórica puede ser determinada si se conoce el pH y la concentración de los cationes que generan acidez. La acidez total sería la suma de la acidez atribuible a los iones H^+ y la potencial de los cationes

metálicos (Me^{+n}). El cálculo se hará mediante la fórmula siguiente, considerando que la reacción química transcurre equivalente a equivalente:

acidez total equivalente CaCO_3 (mg/l) =

$$\sum \text{Me}^{+n} \text{ (mg/l)} \cdot (50,045 / \text{Pa}_{\text{Me}}) \cdot n$$

Dónde: Pa_{Me} es el peso atómico del metal y 50,045 es un factor de conversión resultado de dividir el Pm CaCO_3 por su valencia.

En el caso del pH se tiene que la concentración de iones H^+ es igual a $10^{-\text{pH}}$. Se debe tener en cuenta que la acidez total así calculada no considera el efecto de los iones complejos, frecuentes a pH neutros, y que no producen acidez. Al estar registrados los cationes de estos complejos en un análisis químico convencional se pueden presentar diferencias entre la acidez total teórica y la deducida, usando la ecuación (1).

La alcalinidad total de una solución generalmente está representada por los iones hidróxido y bicarbonato, y se suele medir directamente en laboratorio.

Que un drenaje presente alcalinidad neta significa que una vez que se ha llevado a cabo la oxidación e hidrólisis de los metales que pueden generar iones hidrógeno libres aún presenta cierta capacidad para neutralizar cierto volumen de un ácido. (Aduvire, 2006, págs. 51-52-53-54).

2.2.6 RECOLECCION DEL DAM

La eficacia de algún proceso en el tratamiento estará sujeta por la forma de identificación, recolección y control de un flujo de agua impactada. Deberá diseñarse una forma de recolección de la infiltración y drenaje, como la minimización de la cantidad del drenaje para un tratamiento adecuado. Debemos ver que todo caudal limpia no será combinado con la contaminada, la contaminada irá a la planta de tratamiento. El volumen del flujo para su

tratamiento será solamente del flujo contaminado, esto determinará la capacidad en volumen de un diseño de una planta de tratamiento para el agua contaminada.

Para la recolección de escorrentías se realiza con la construcción de zanjas superficiales. En la recolección de flujos subterráneos se deberá realizar construcciones de cunetas de drenaje, pozas que servirán para almacenar el flujo del agua de mina, y pozas almacenadoras que serán impulsadas hasta la superficie al lugar de tratamiento del agua de mina.

El diseño de los sistemas de recolección es específico para cada asiento y puede depender de la ubicación del flujo contaminante, la topografía, cantidad y forma de la precipitación, geología e hidrología del lugar. Los sistemas de recolección están compuestos invariablemente por diferentes componentes que contribuyen a la eficiencia del sistema total de recolección. Entre ellos se puede mencionar:

- La interceptación para la derivación del agua fresca;
- La recolección del flujo contaminado; y
- La capacidad de almacenamiento.

El diseño de los sistemas tanto de interceptación (desviación) como de recolección dependerá de la descarga instantánea pico de esta toma; los periodos de retorno del diseño dependerán del riesgo determinado de descarga de una porción del efluente contaminado. Dado que el diseño de plantas de tratamiento para descargas instantáneas pico es poco probable, un sistema de almacenamiento para regular los flujos a la planta de tratamiento deberá formar parte integral de todo sistema de recolección. Dependiendo de una evaluación del riesgo, la capacidad de almacenamiento se determinará con el fin de

mantener los eventos de inundación hasta un evento de inundación con un periodo de retorno específico. (Broughton, 1995, pág. 44)

2.2.7 TRATAMIENTO DEL DAM

- En los procesos pasivos las bases son un tratamiento natural, las atenciones de funcionamiento y mantenimiento son mínimos.
- En los procesos activos se requiere una atención continua en la operación y mantenimiento.

2.2.7.1 TRATAMIENTO PASIVO

Los procesos naturales tienen un significado importante en los tratamientos de un DAR-DAM, debido a que facilitan la eliminación de la acidez, los sulfatos y algunos metales presentes en un efluente minero. Para la obtención de la calidad del agua un proceso de mitigación en tierras húmedas dan como resultado la reducción biológica de sulfatos, por esto es considerada su importancia en el tratamiento de las aguas. Estos procesos son naturales con reacciones que producen alcalinidad, reducción de los sulfatos y la precipitación de metales, obteniéndose una solución de sulfuros metálicos.

La reducción directa del sulfato a sulfuro de hidrógeno es producida por bacterias especializadas, estrictamente anaeróbicas, específicamente por dos géneros de bacteria anaeróbica: Desulfovibrio (cinco especies) y Desulfotomaculum (tres especies). Estas bacterias son organismos heterotróficos y tienen un metabolismo respiratorio en el que los sulfatos, sulfitos y/u otros componentes reducibles de azufre sirven como aceptores finales de electrones, con la consiguiente producción de sulfuro de hidrógeno. Los substratos orgánicos de estas bacterias generalmente son ácidos de cadena corta, tales como el ácido láctico y el pirúvico. En la naturaleza, estos

substratos se obtienen a través de actividades de fermentación de las bacterias anaeróbicas sobre substratos orgánicos más complejos (tales como la putrefacción de vegetación en tierras húmedas). La actividad de estas bacterias reductoras de sulfatos es importante no sólo debido a la producción de sulfuro de hidrógeno, sino también debido a la subsecuente interacción y precipitación de los metales y al aumento de alcalinidad. El sulfuro de hidrógeno reacciona fácilmente, por ejemplo, con cobre solubilizado a valores bajos de pH, para formar el mineral sulfuroso insoluble. De manera similar, la precipitación del zinc es posible siempre que existan condiciones adecuadas (función, por ejemplo, del pH en solución). Recientemente, la reducción de sulfatos ha sido reconocida, con toda justificación, como un potencial proceso de tratamiento del DAR. La reducción natural in situ de sulfatos ha sido identificada en una mina subterránea en Noruega. Esta tecnología puede tener potencial para instalar un sistema de tratamiento biológico de relativamente bajo mantenimiento para minas subterráneas abandonadas, que no sólo modificará el pH en el efluente, sino que también extraerá el contenido de metales solubles como compuestos sulfurosos estables. Las condiciones reductoras bajo las cuales se depositan estos compuestos de sulfuros metálicos también proporcionan una instalación de almacenamiento ideal de largo plazo para la preservación de lodos de tratamiento. (Broughton, 1995, pág. 46).

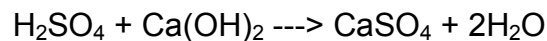
2.2.7.2 TRATAMIENTO ACTIVO

Un tratamiento adecuado en el DAR-DAM, es el químico que está muy difundida; en este tipo de tratamiento se ejecuta mediante un circuito que neutraliza procesos químicos tales como:

- Acidez - con neutralización.
- Metales pesados - con hidrólisis y precipitación.
- Sólidos suspendidos - con la obtención de precipitados derivados de complejos formados.

Se pueden dar como ejemplos lo siguiente:

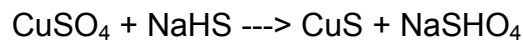
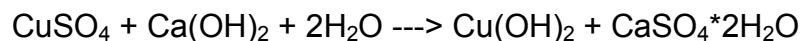
Por neutralización:



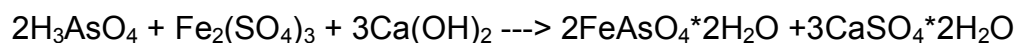
Cal apagada - yeso.

Por eliminación de metales:

Por precipitación (hidróxido o sulfuro): El cobre.



Por precipitados con aniones y hierro férrico: El arsénico



En un proceso de un tratamiento químico se realizan los siguientes pasos como pasos unitarios:

- Una poza de captación y retención del DAR-DAM.

- Mezcla con lechada de cal.
- Etapas para una neutralización con agitación.
- Etapa que consiste en la eliminación de metales en suspensión.
- La separación del líquido-sólido.
- Control antes de la descarga de la solución tratada como efluente a un cuerpo receptor.
- Disposición final de los lodos.

Los agentes de neutralización más comunes son:

- La caliza - (CaCO_3).
- La cal viva - (CaO).
- La cal hidratada - (Ca(OH)_2).

La primera y tal vez, la segunda etapa de una planta de tratamiento actualmente consisten en la neutralización de la cal en tanques de agitación. Se pueden utilizar otras bases en una segunda o tercera etapa para el tratamiento de metales objeto de preocupación seleccionada que no se extraen con la cal. Entre ellos:

- Soda cáustica.
- Ceniza de soda.
- Hidrosulfuro de sodio.
- Otros desechos con exceso de alcalinidad, incluyendo ceniza fina o relaves de molino. Se debe tomar precauciones para utilizar otros desechos con el fin de asegurar que los metales solubles adicionales no sean añadidos al agua de drenaje. Además, se debe aceptar que el uso de desechos, como los

relaves, aumenta la masa total de sedimento producido por la planta de tratamiento y del cual deberá disponerse. (Broughton, 1995, pág. 45).

2.2.7.2.1 TRATAMIENTO ACTIVO EN UNA PLANTA CONVENCIONAL

En el tratamiento activo de aguas ácidas el proceso más empleado es la adición de cal para obtener la neutralización de la acidez y como consecuencia se obtenga la oxidación del hierro ferroso y como resultado se tenga un hidróxido férrico precipitado e insoluble.

En este proceso de tratamiento se inicia con el paso del flujo de agua ácida por un canal estandarizado donde se toma la lectura del caudal y el pH en un determinado tiempo, continuando el circuito pasa a los tanques de reposo ya antes adicionado la lechada de cal, en estos tanques la acidez alcance valores sobre 7.0 formando hidróxidos de hierro y manganeso. Los tanques garantizan la obtención de valores del pH aceptable para la descarga del efluente.

Continuando con el proceso el agua por gravedad llega a unos tanques de aireación, luego mediante turbinas se mezcla el oxígeno atmosférico con el flujo de agua, donde como resultado se obtiene la oxidación del hierro ferroso y el manganeso. Parte del proceso consiste en derivar las aguas de recirculación de los lodos de los decantadores y las aguas producto de la limpieza de los filtros (Fig. 2).

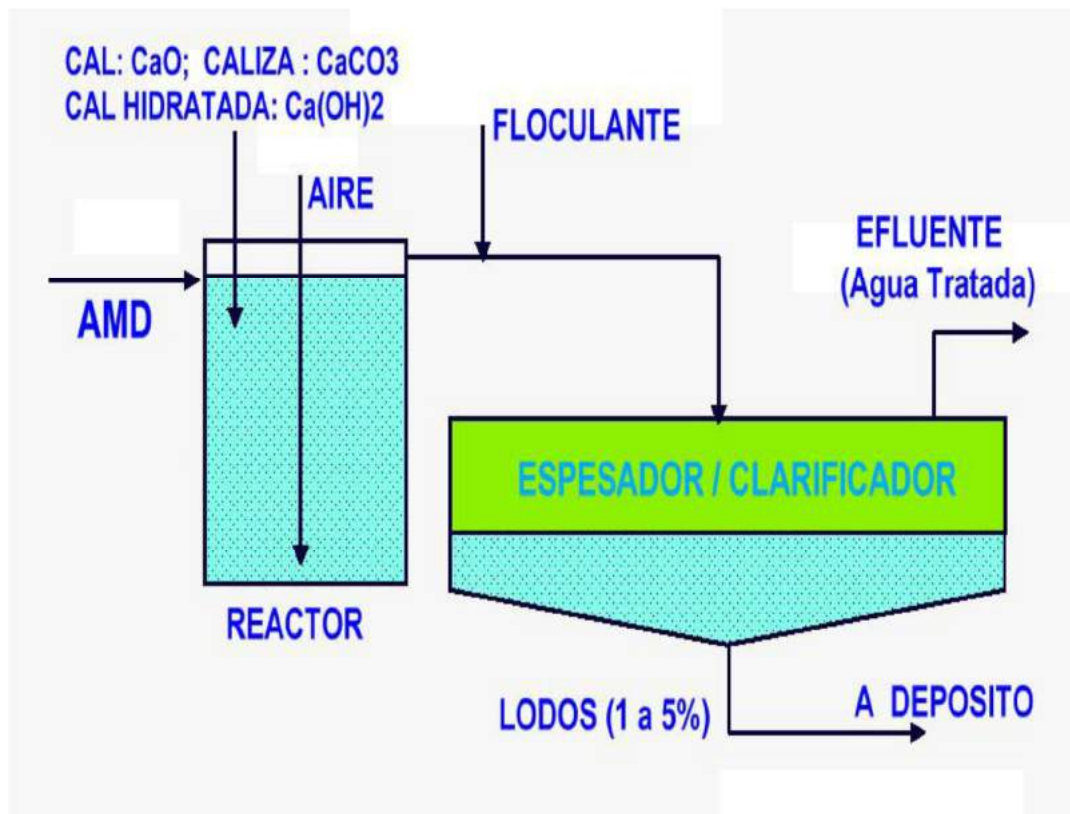


Figura 2.- Esquema de una planta de tratamiento convencional para aguas ácidas.(Aduvire, 2006)

El flujo antes de ingresar a los tanques decantadores se le adiciona un floculante como el hidroxiclورو de aluminio (policloruro de Al), el proceso de aireación continuará antes de ingresar al tanque de decantación. Al ingresar al tanque de decantación-clarificación, el flujo llevará consigo una cantidad de partículas (flóculos), metales en suspensión y estos tendrán la capacidad de sedimentarse. Luego se le agregará un compuesto polímero para completar el proceso, produciendo antes una cadena de flóculos para obtener la sedimentación. Los lodos formados se ubicarán al fondo del tanque debido a su densidad, luego estos serán evacuados a un lugar determinado.

El flujo de agua ya clarificada es evacuada por rebose desde el tanque decantador y conducida luego a través de los canales conductores.

Al fondo del tanque sedimentador se depositan los lodos en un depósito específico para su acumulación, una vez lleno este depósito por lodos, estos son evacuados hacia un lugar de destino utilizando una bomba de lodos, culminado la evacuación se realiza el lavado del depósito con agua no contaminada y a presión para eliminar totalmente los lodos, de esta manera el tanque quedará listo para seguir usando. Algunos autores indican que para diseñar un tanque sedimentador-clarificador debe estar en función al caudal del agua a tratar y la densidad de lodos. (Fig. 3)

De la batería de filtros y antes de su vertido a los cauces públicos, el agua pasa a un depósito de ajuste de pH, por lo general las plantas disponen de sistemas automáticos de control de pH, por lo que a la salida de los citados filtros se adiciona una pequeña cantidad de ácido sulfúrico si se necesita bajar la alcalinidad consiguiéndose la mezcla y homogeneización mediante un agitador rápido del tipo turbina con paletas. En otros casos se emplea dióxido de carbono (procedente de la combustión sumergida de propano en un pequeño tanque de reacción) como alternativa más económica, si existe una limitación en la cantidad de sulfatos en el agua de salida del proceso. También suele existir al final del proceso otro pH-metro que realiza el ajuste fino y que va provisto de alarma que en caso de anormalidad cierra la entrada de agua a la planta depuradora. En cuanto a los fangos producidos, se envían directamente a unas balsas de almacenamiento donde una vez secados se extraen y se vierten en las escombreras mezclados con los estériles rocosos de mina, en algunos casos también se aprovecha parte de estos fangos en los trabajos de revegetación. (Medina, 2018, pág. 44).

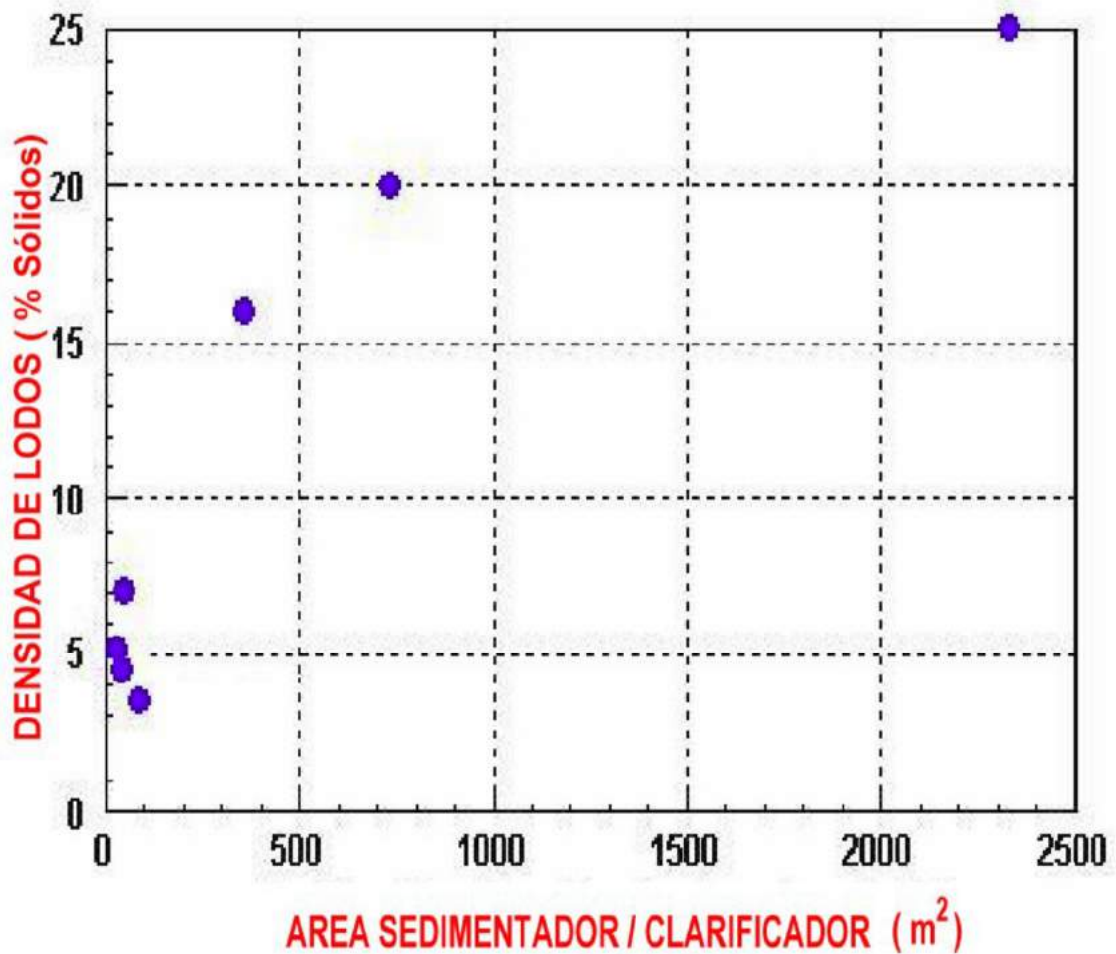


Figura 3. Relación densidad de lodos producidos y área del sedimentador.(Aduvire, 2006)

Estas plantas depuradoras exigen bastante servidumbre durante la operación, así como el empleo de productos químicos. De igual forma requieren un mantenimiento continuo de los equipos y estructuras. Todo ello conduce a unos costes de tratamiento considerables, que pueden oscilar entre las 0,15 y las 0,5 euros/m³ dependiendo de la dosificación de cal necesaria. En cuanto a las inversiones específicas de este tipo de instalaciones convencionales de aguas ácidas pueden oscilar entre 4.200 a 7.800 euros/m³/hora de capacidad de tratamiento de la planta. (Aduvire, 2006, págs. 87 - 88).

2.2.7.2 TRATAMIENTO ACTIVO EN UNA PLANTA HDS

El proceso en las plantas de tratamiento empleando la técnica HDS, consiste en recircular los lodos obtenidos en un tanque sedimentador-clarificador, para que nuevamente inicie el proceso del tratamiento, con la finalidad de realizar una mezcla rápida con el flujo de agua entrante, de este proceso como resultado obtendremos la disminución del volumen de los lodos debido a un incremento en la densidad de los lodos. (Fig. 4)

Un enfoque sencillo de tratamiento de aguas ácidas lo constituye el proceso *HDS* (high density sludge). En este proceso se recircula mediante bombeo un porcentaje ($\leq 80\%$) del lodo final del estanque de sedimentación hasta el punto de arranque de la planta. Las partículas de lodo presentan núcleos para la precipitación de nuevos hidróxidos, y se obtiene una precipitación final de lodo con un 20% de sólidos en peso. La densidad puede aumentarse más por aplicación de filtros, prensas, etc. La optimización de la densidad y estabilidad de lodos basado en una nueva variedad de precipitación de hidróxidos, en la que la reacción es controlada y cada partícula de hidróxido de hierro es abrigada por una capa de sílice, es la principal incorporación en este sistema. (Aduvire, 2006, pág. 88).

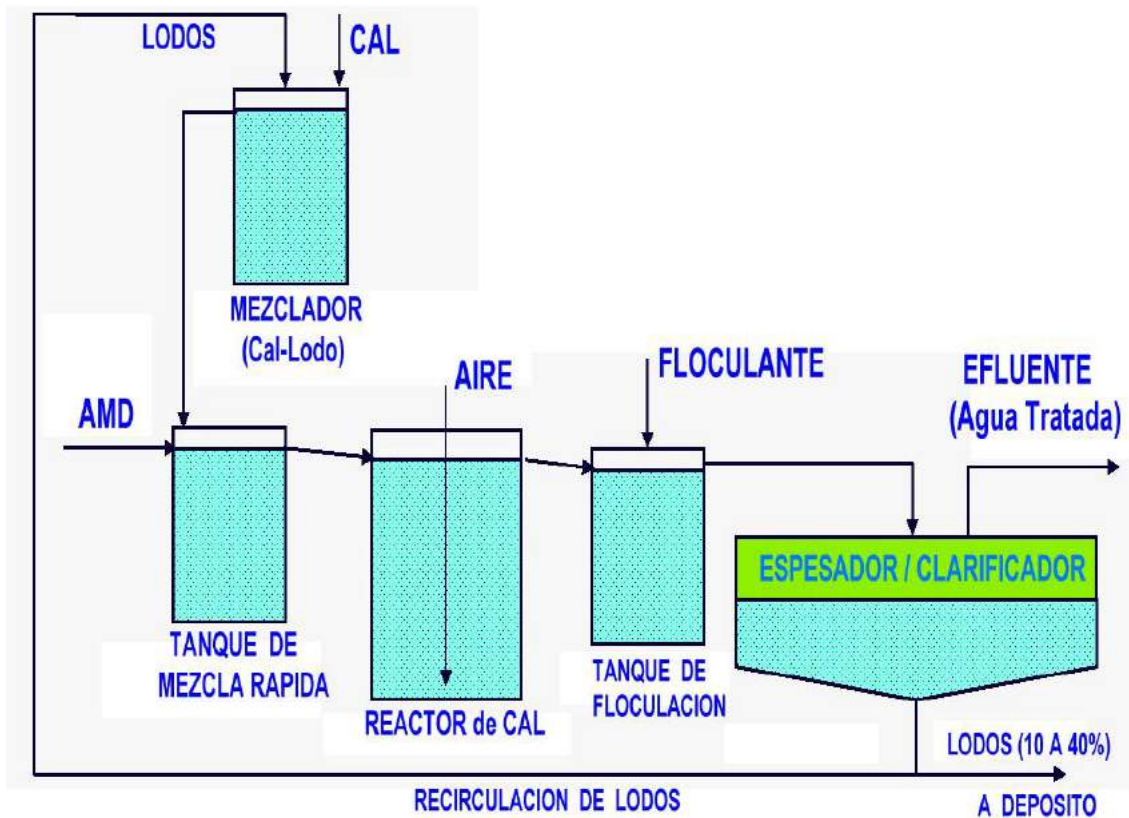


Figura 4. Planta de tratamiento de aguas ácidas por el proceso HDS. (Aduvire, 2006)

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

2.3.1 VERTIMIENTO

En el ambiente es cualquier descarga líquida que se realiza a un lecho o corriente de agua. De una manera específica se denomina a la descarga líquida que se encuentra impactada por contaminantes. En términos medioambientales se deduce para nombrar a un flujo de desechos ya sean líquidos, sólidos o gaseosos.

Se puede calificar como una acción incorrecta el impactar con desechos o sustancias el medio ambiente. La denominación es más usada para referirse a aguas residuales.

Vertimiento líquido.- Se refiere a la descarga de un flujo líquido, conteniendo algunos elementos y estos sean de cualquier origen.

Vertimiento no puntual.- En el ambiente este tipo de vertimiento no se puede ubicar con exactitud el punto de descarga del flujo, tal como el flujo de infiltración, escorrentía, y precipitación de aguas impactadas.

Vertimiento puntual.- Cuando se tienen puntos fijos establecidos para realizar la descarga.

2.3.2 AGUAS RESIDUALES

Como aguas residuales. Podemos decir que son aguas productos del consumo humano del elemento vital por los habitantes de una ciudad, que hacen uso para cubrir sus necesidades en las diferentes actividades realizadas en el tiempo (Díaz, Alvarado, & Camacho, 1976).

De acuerdo a su procedencia. Son los productos de una mezcla de líquidos y desperdicios sólidos que son trasladados mediante la corriente del agua que viene de las viviendas, edificios, mercados, colegios, mezclados con desperdicios de centros industriales, agrícolas, como también aguas subterráneas, de la superficie o de las precipitaciones pluviales (Acosta, 2015). Todas estas se van a presentar mezcladas en el agua residual.

Considerando el su origen las aguas residuales podemos determinar una clasificación siguiente:

Domésticas: Son básicamente desechos líquidos generados por los seres humanos en la satisfacción de sus necesidades de vivencia como la higiene personal, estos llegan a parar a una fuente para su descarga final, antes captados por una red hidráulica desde sus viviendas y otros.

Industriales: Son líquidos derivados de algún proceso industrial, estos tienen características propias por la industria que las genera.

Infiltración: Para producirse una infiltración el flujo de agua como una escorrentía u otra corriente o depósito de agua, deberá tener un medio para poder situarse por debajo de la superficie, este puede ser una fractura, hundimiento superficial u otra forma que favorezca el ingreso del agua desde la superficie al interior de la tierra.

Pluviales: Las precipitaciones atmosféricas dan origen a las aguas de lluvia que llegan a la tierra en grandes volúmenes, estas son canalizadas en ríos, lagos, mares y parte de estas se discurre por los suelos llevando en su trayectoria gran cantidad de desechos y residuos.

2.3.3 VERTIMIENTO AGUA DE MINA

Aguas de mina: Como producto de una actividad minera se obtendrá aguas residuales que por estar en contacto con rocas mineralizadas principalmente, estas tendrán ciertas características propias al ser impactadas y contaminadas, antes de su descarga final recibirán un proceso de tratamiento.

Aguas residuales: El hombre desde un inicio y actual ha modificado las características del agua debido a las actividades para subsistir esta clase de agua se convierte en residual con ciertas características y para poder ser descargadas deberán recibir un tratamiento adecuado.

Aguas residuales industriales: Como su nombre mismo son aguas producto de una actividad productiva que tienen cierto grado de impacto de acuerdo a la actividad que genera esta agua residual, cada caso tendrá su proceso de tratamiento antes de ser descargados.

Vertimiento de aguas residuales tratadas: Después de realizar el proceso de tratamiento de las aguas residuales, estas podrán ser descargadas a un cuerpo receptor de agua no contaminada.

Límite Máximo Permissible (LMP): Norma ambiental. Referido a la densidad, medida del rango en componentes, materias, indicadores físicos, químicos y biológicos, para poder calificar a un efluente, emisión, que al excederse pueden producir perjuicio a la salud, al confort humano, al medio ambiente. La especificación estará dada por el Ministerio del Ambiente. En forma legal deberá hacer cumplir el Ministerio del Ambiente y las entidades que pertenezcan al Sistema Nacional de Gestión Ambiental (García, 2010). Estos límites establecidos por la autoridad son de cumplimiento por los actores.

Efluentes Mineros: Llamado así a un flujo de agua con impactos propios de las actividades minero-metalúrgicas y que antes de ser descargadas a un cuerpo receptor tendrá que pasar por un tratamiento.

Cuerpo Receptor: Se denomina de esta manera al curso de una corriente de agua como río, lago, mar, etc., los que reciben descargas de aguas residuales provenientes de alguna actividad industrial.

Pilar de Corona: Cuando una actividad minera concluye con el ciclo de la etapa de explotación, se debe buscar preservar la estabilidad física y química a largo plazo para garantizar eficientemente la protección del medio ambiente. Para lograr este fin, se debe estructurar un cierre de minas progresivo que debe iniciarse desde las etapas iniciales, desarrollando técnicas de ingeniería adecuadas en el diseño de estructuras mineras seguras. Para conservar la estabilidad de los tabiques de roca entre la superficie y una labor subterránea denominados pilares de corona deben ser diseñados y ejecutados al detalle

considerando el estudio y las técnicas a aplicar para garantizar la estabilidad tiempo después del cierre de las labores mineras, en un corto, mediano y largo plazo (Trevor & Luiz, 2007). (Anexo N° 2)

2.4 HIPÓTESIS

2.4.1 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

HIPÓTESIS GENERAL

Mediante un tratamiento activo del DAM y control del vertimiento de efluentes mineros de mina Marta hacia el río Tinyacclla, se controlará la contaminación de estas en el medio ambiente.

HIPÓTESIS ESPECÍFICOS

- a) Desarrollando un sistema de control diario del caudal para el vertimiento de efluentes mineros de mina Marta, se podrá determinar el tratamiento adecuado para controlar la contaminación en las aguas del río Tinyacclla.
- b) Desarrollando un sistema de tratamiento para controlar el pH del vertimiento de efluentes mineros de mina Marta, se podrá garantizar una calidad de agua aceptable para el medio ambiente.
- c) Desarrollando un sistema de tratamiento y control de los sólidos totales del vertimiento de efluentes mineros de mina Marta, se podrá garantizar la calidad de agua aceptable para el medio ambiente.

2.5 VARIABLES E INDICADORES

2.5.1 VARIABLES

Variable Independiente

Vertimiento de efluentes mineros de mina Marta.

Variable Dependiente

Contaminación de las aguas del río Tinyaccla.

2.5.2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES-INDICADORES

Título	¿Cuál es la influencia del vertimiento de efluentes mineros de mina Marta en la contaminación de las aguas del río Tinyaccla por la Compañía Minera Barbastro S.A.C.?
Hipótesis	Mediante un tratamiento activo del DAM y control del vertimiento de efluentes mineros de mina Marta hacia el río Tinyaccla, se controlará la contaminación de estas en el medio ambiente.
Variable	Independiente: Vertimiento de efluentes mineros de mina Marta.
Definición Conceptual	El vertimiento de efluentes mineros de mina, tendrá que pasar por un control de monitoreo y tratamiento adecuado de sus aguas para llegar a un cuerpo receptor.
Dimensiones en la definición operacional	Caudal del efluente de mina. Variación del pH en el efluente de mina. Cantidad de metales totales en el efluente de mina.

Variables	Caudal
Operacionales	Grado de pH. Volumen de sólidos totales en suspensión.

Indicadores	Calidad de agua de mina tratada (efluente) Logros en el tratamiento.
-------------	---

Instrumentos	Reporte de tratamiento de agua de mina. Informes y reportes.
--------------	---

2.6 BASE LEGAL

- El Reglamento del Título Décimo Quinto del texto Único Ordenado de la Ley General de Minería sobre Medio Ambiente, aprobado por D.S. N° 016-93-EM, publicado en el diario Oficial “El Peruano” del 01 de mayo de 1993.
- Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338, noma dictada el 31 de marzo del 2009.
- Límites Máximos Permisibles para Descarga de Efluentes Líquidos de las Actividades Minero – Metalúrgicas, aprobado por D.S. N° 010-2010 MINAM, de fecha 28 de agosto 2010.

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

El método de investigación considerado para el presente estudio será el científico, considerando todos sus procedimientos y en el método específico será el descriptivo.

Mediante estos podremos recabar la información de los hechos que pasen en la realidad, con la recopilación de datos mediante técnicas y la aplicación de equipos e instrumentos, para la investigación de las variables.

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Es del tipo Aplicativo, en donde se aplica las teorías o explicaciones de los hechos, estadística inferencial, sistemas o modelos.

3.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Obedece a un nivel de investigación descriptiva, debido a que se describirán situaciones y eventos tal como se manifiestan y podrán ser medibles en forma cuantitativa.

3.4 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Este será Descriptivo Comparativo, en donde se tomarán muestras para su análisis antes y después de la aplicación del Sistema de Tratamiento para el DAM.

$M_1 \longrightarrow O_1$

$M_2 \longrightarrow O_2$

Dónde:

M: Muestra

O: Observación.

3.5 POBLACIÓN Y MUESTRA

POBLACIÓN

La población para esta investigación va a estar constituida por las lecturas tomadas antes del tratamiento del efluente minero, teniendo en cuenta las características de estudio en el agua de mina Marta. Considerando el semestre de estudio (Enero - Junio año 2012) se tiene una población con 182 lecturas.

MUESTRA

La muestra estará representada por la aplicación de la siguiente fórmula, para conocer el tamaño de la muestra a estudiar.

$$n = \frac{N * Z^2 * p * (1 - p)}{(N-1) * e^2 + Z^2 * p * (1 - p)}$$

Dónde:

n = Tamaño de la muestra.

Z = Factor probabilístico – Nivel de confianza. 95%. = 1.96

p = Varianza de la proporción. 50%. = 0.5

(1 – p) = 1 – 0.5 = 0.5

e = Margen de error. 3%.

n = 156.

3.6 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Las técnicas que se consideran son:

OBSERVACIÓN: Estará considerada a una inspección preliminar de los cambios físicos que presenta el efluente minero de mina, el cual está relacionado con el trabajo de investigación, en las condiciones del momento que se presentasen en un punto de control.

ANÁLISIS DE REGISTROS: En este caso consistirá en la interpretación y revisión de los registros de las lecturas de las variables independientes en el efluente minero de mina.

REPORTES: Se tendrá que realizar el tratamiento adecuado para obtener un vertimiento del efluente minero de mina de acuerdo a las especificaciones técnicas dispuestas.

3.7 PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

El procedimiento de la recolección de datos es mediante registros de la toma de muestras y registradas en una base de datos electrónicamente.

3.8 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS

Esta parte consiste en comparar las hipótesis propuestas con la información real obtenida mediante el procedimiento de la recopilación de datos, esto con el objetivo de la verificación de resultados.

Los datos recopilados son de carácter cuantitativo, la verificación se realizará con la ayuda de herramientas estadísticas.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 PRESENTACIÓN DE DATOS GENERALES

4.1.1. PRESENTACIÓN

La Compañía Minera Barbastro S.A.C. en cumplimiento por disposición en el Reglamento para la Protección Ambiental de las Actividades Minero – Metalúrgicas D.S. N°016-93 EM y 59 – 93 EM, presenta a la Dirección General de Asuntos Ambientales, la Autoridad Nacional del Agua (A.N.A.) otorga las Autorizaciones de Vertimientos de Aguas Residuales Tratadas en amparo del Art. 138 del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2010-AG.

La Autoridad Nacional del Agua, otorga a la Compañía Minera Barbastro S.A.C., mediante la Resolución Directoral N° 0068-2010-ANA-DGCRH, con fecha de 11 octubre 2010 la Autorización de Vertimiento de Aguas Residuales Industriales Tratadas, procedentes de la bocamina y la cancha de relaves, de la unidad minera Mina Marta, de régimen continuo, que son descargadas en la Quebrada Tinyaccla, tributario del Río Palca. (Anexo N° 3)

Los parámetros del control están indicados en el punto b) de dicha Resolución que son los siguientes: pH, Conductividad Eléctrica, Oxígeno Disuelto, STS, Cianuro Wad, y en concentraciones totales: Selenio, Mercurio, Cadmio, Plomo, Zinc, Arsénico, Cobre, Níquel, Cromo y Manganeso.

Los muestreos de las aguas se están ejecutando con personal calificado de la Compañía, pertenecientes al área de Medio Ambiente, para ello se solicitan al laboratorio acreditado la entrega de coolers conteniendo, envases esterilizados, preservantes, etiquetas, cadena de custodia, etc., una vez

realizados las toma de muestras de aguas, estas son enviados en un tiempo prudencial indicado por el laboratorio. Los controles del pH, Conductividad Eléctrica, Oxígeno Disuelto, se realiza en el campo al mismo tiempo de sacar las muestras de agua.

Así mismo, da a conocer que los análisis de agua deberán ser refrendados por un laboratorio debidamente acreditado por el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y Propiedad Intelectual (INDECOPI). Para el desarrollo de estos análisis la empresa ha contratado los servicios del laboratorio ALS del Perú S.A., quien cumple con entregar los Certificados de Informes de Ensayos, con los datos consignados, se elabora el Informe Trimestral a la A.N.A., en este caso correspondiente a los meses de Febrero, Marzo y Abril del 2012. (Anexo N° 4)

4.1.2 OBJETIVOS

El presente informe tiene como finalidad el cumplimiento de presentar a la Autoridad Nacional del Agua (A.N.A.), los resultados del Programa de Monitoreo de Calidad de Agua del trimestre (Febrero – Marzo – Abril, 2012), de acuerdo a las disposiciones señaladas en la Resolución Directoral N° 0068 – 2010-ANA-DGCRH.

4.1.3 ASPECTOS GENERALES

4.1.3.1 UBICACIÓN POLÍTICA

La Unidad Minera Mina Marta se encuentra ubicada como se señala en el cuadro siguiente.

Tabla N° 3.- Ubicación Política de mina Marta.

COMPAÑÍA MINERA BARBASTRO S.A.C.	
UNIDAD MINA MARTA	
Localidad	Centro Poblado Menor de Tinyaccla
Distrito	Huando
Provincia	Huancavelica
Departamento	Huancavelica
UNIDADES UTM PROMEDIO	
Norte	8599400
Este	494200
Altitud	4430 msnm

4.1.3.2 ACCESO

El acceso de la Unidad Minera se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla N° 4.- Acceso a mina Marta.

DE	A	TIEMPO	DISTANCIA	TIPO DE
		Horas	Kms.	CARRETERA
Lima	Huancayo	5.00	300	Asfaltada
Huancayo	Izcuchaca	1.00	60	Asfaltada
Izcuchaca	Huando	0.30	15	Asfaltada
Huando	Tinyaccla	0.50	22	Afirmada
Tinyaccla	Mina Marta	0.10	3	Afirmada
TOTAL		6.30	400	

4.1.3.3 ACTIVIDADES MINERAS

La compañía Minera Barbastro S.A.C., durante el año 2012 se encontraba en la etapa de Exploraciones en la Unidad Minera Mina Marta.

4.1.4 MONITOREO AMBIENTAL

La ejecución del programa de muestreo, mediciones y análisis sigue los lineamientos establecidos en los protocolos de monitoreo publicados por el Ministerio de Energía y Minas Sub Sector de la Minería (1994) – DIGESA, para el cumplimiento de las disposiciones señaladas en la Resolución Directoral N° 0068 – 2010 ANA-DGCRH.

4.1.4.1 MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA

El monitoreo de la Calidad de Agua, se basa en los puntos de monitoreo establecidos por el PAMA, inicialmente desde el año 2006 ha sido reportado los informes semestrales a DIGESA, y partir del mes de Noviembre del 2010, los informes son presentados en forma Trimestral a la Autoridad Nacional de Aguas.

El sistema de muestreo es llevado a cabo por personal capacitado que pertenece al área de Medio Ambiente de la Unidad Mina Marta, y los análisis son realizados por el laboratorio ALS del Perú S.A.

4.1.4.2 PUNTOS DE MUESTREO

En el cuadro siguiente, se detalla la identificación y ubicación de los Puntos de Muestreos, los cuales están basados con la última Autorización de Vertimiento de Aguas Residuales Industriales Tratadas, procedentes de la Bocamina y la Cancha de Relaves de la Unidad Mina Marta. (Anexo N° 5)

Tabla N° 5.- Puntos de Muestreo.

PUNTOS DE CONTROL DE MONITOREO	
ESTACIÓN	DESCRIPCIÓN
M - 2A	Efluente tratado agua de mina.
M - 2B	Efluente tratado de la cancha de Relave.
M - 3	Río Tinyaccla 100 m. aguas arriba del punto de vertimiento.
M - 4	Río Tinyaccla 100 m aguas abajo del punto de vertimiento.
M - 5	Río Tinyaccla 150 m aguas arriba de la confluencia con el Río Palca.
M - 6	Río Palca 100 m aguas arriba del punto de confluencia con el Río Tinyaccla.
M - 7	Río palca 150 m aguas abajo del punto de confluencia con el Río Tinyaccla.

4.1.4.3 PARÁMETROS

Los parámetros que se vienen evaluando en el programa de monitoreo corresponden a lo establecido en el Decreto Supremo N° 016-93-EM, que concierne sobre los parámetros de análisis, métodos, límites de detección.

4.1.4.4 ESTÁNDARES DE REFERENCIA

Los lineamientos de control para determinar las acciones de la Calidad de Agua son establecidos por Límites Máximos Permisibles para Descarga de Efluentes Líquidos de las Actividades Minero – Metalúrgicas, aprobado por D.S. N° 010-2010 MINAM, de fecha 28 de agosto 2010.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES

PARA DESCARGA DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE ACTIVIDADES

MINERO – METALÚRGICAS

(Decreto Supremo N° 010 – 2010 MINAM del 28 – 08 – 2010)

Tabla N° 6.- D.S. N° 010 – 2010 MINAM, LMP.

PARÁMETROS	UNIDADES	LÍMITE CUALQUIER MOMENTO	EN LÍMITE PARA EL PROMEDIO ANUAL
pH	Unidad pH	6 - 9	6 – 9
Sólidos Totales Susp.	mg/L	50	25
Aceites y Grasas	mg/L	1.0	1.0
Cianuro Total	mg/L	1.0	0.8
Arsénico Total	mg/L	0.1	0.08
Cadmio Total	mg/L	0.05	0.04
Cromo Hexavalente	mg/L	0.1	0.08
Cobre Total	mg/L	0.5	0.4
Hierro Disuelto	mg/L	2.0	1.6
Plomo Total	mg/L	0.2	0.16
Mercurio Total	mg/L	0.002	0.0016
Zinc Total	mg/L	1.5	1.2

4.2 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

4.2.1 SISTEMA DEL TRATAMIENTO DE AGUA DE MINA MARTA

Compañía Minera Barbastro S.A.C. como propietario de la Unidad Minera mina Marta desde el año 2006, se encuentra actualmente desarrollando

actividades de Exploraciones Mineras, asumiendo pasivos ambientales heredadas del propietario anterior, siendo uno de ellos el tratamiento del agua mina que son descargados por la bocamina Nivel 415. (Anexo N° 6)

Estas aguas son como consecuencia mayormente por las infiltraciones desde superficie hacia el interior de la mina, causados por los trabajos de explotación realizados por administraciones anteriores, no desarrollaron una explotación técnica-responsable en el laboreo y explotación del mineral, realizaron conexiones hacia la superficie en la recuperación del mineral sin considerar evitar la disturbación y subsidencia excesiva del entorno, no se consideró un pilar de corona para dar una estabilidad física del macizo rocoso y por ende la estabilidad química. Está demostrado la causa de las aguas ácidas de la mina es producto de las infiltraciones, ya que a más lluvias en la zona el volumen de aguas ácidas en la mina se incrementa.

Se encontró que para el tratamiento de las aguas ácidas desde el interior de la mina lo realizaban en cuatro pozas muy convencionales, o sea pozas excavadas sobre el terreno con una capacidad total de 140 m³, las preparaciones de los reactivos para sus dosificaciones era en forma manual, utilizando recipientes de cilindros en cada poza.

En el 2008 se inician trabajos de mejoras para el tratamiento de las aguas ácidas, con la construcción de la poza N° 1 en concreto con una capacidad de 82 m³ y ampliación de las otras pozas, alcanzando capacidades de 122 m³ en la poza N° 2; 80 m³ en la poza N° 3; 92 m³ en la poza N° 4; teniendo una capacidad total de 376 m³. (Anexo N° 7)

En la preparación y dosificación de los reactivos se implementaron con 2 tanques cilíndricos de metal con sus agitadores mecánicos, con los cuales se

obtuvieron soluciones de los reactivos con concentraciones uniformes y un manejo más sencillo en el control de las dosificaciones.

En el año 2008 el caudal más alto fue en el mes de marzo que alcanzó a un promedio de 45 litros/segundo y con la ampliación de las pozas a un volumen total de 376 m³ se obtiene un tiempo de sedimentación experimental de 2.30 horas, con resultados satisfactorios de sedimentación de lodos y descarga de aguas claras cumpliendo con los Límites Máximos Permisibles.

A medida que pasaban los años, los caudales se incrementaban considerablemente, es así que en el mes de marzo del 2011 el caudal llegó a un promedio de 171.77 litros/ segundo, para seguir manteniendo los resultados óptimos se tuvieron que incrementar el número de pozas y sus capacidades, el uso de los reactivos neutralizantes y floculantes siguieron siendo los mismos.

Según las prácticas utilizadas en los tratamientos del agua de mina en mina Marta, los buenos resultados de sedimentación de lodos y clarificación del agua es sometiendo a un tiempo de reposo mayor de 2.0 horas. Con estos antecedentes y por el mayor caudal alcanzado en el mes de marzo 2011, se desarrollaron un proyecto de ampliación de las pozas de sedimentación, de tal modo que la capacidad total de estas garanticen un reposo mayor a las 2.0 horas establecidas para un caudal como se está considerando; se ejecutaron los trabajos de construcción y en el año 2012 se les da el respectivo uso, obteniendo resultados satisfactorios indicados en el presente estudio.

4.2.2 CÁLCULOS DE LA CAPACIDAD DE LOS TANQUES DE SEDIMENTACIÓN

Datos:

Del cuadro de Estadísticas de Caudales se tienen: (Mes de Marzo 2011) = 172 lit/seg.

Tiempo de Retención Requeridos: > de 2.00 horas

Capacidad de las Pozas de Sedimentación: (Ps)

P-1: 82 m³

P-2: 420 m³

P-3: 420 m³

P-4: 420 m³

TOTAL: 1342 m³ (Anexo N° 8)

4.2.2.1 CÁLCULO DEL TIEMPO DE RETENCIÓN DE LAS POZAS (Tr)

$$Tr = V / Q$$

$$Q = 172 \text{ litros/segundo} = 619.2 \text{ m}^3/\text{Hora}$$

$$V = 1342 \text{ m}^3$$

$$Tr = 1342 \text{ m}^3 / 619.2 \text{ m}^3 / \text{Hora} = \mathbf{2.16 \text{ Horas}}$$

REMOCIÓN AUTOMÁTICA DE LODOS: (Huerta, 1996)

- Caudal promedio por tanque (Q_c):

$$Q_c = \frac{Q}{n} = \frac{14856 \text{ m}^3 / \text{día}}{3 \text{ tanques}} = \mathbf{4952 \text{ m}^3 / \text{día}}$$

- Área superficial tanque (A):

Tasa de sobreflujo (OR).-

(OR); es igual a la V_s de la partícula más pequeña.

(OR) recomendada es entre 20 y 40 m³/(día * m²)

$$A = \frac{Q_c}{\text{OR}} = \frac{4952 \text{ m}^3 / \text{día}}{35 \text{ m}^3 / (\text{día} * \text{m}^2)} = 141 \text{ m}^2$$

- Cálculo del volumen del tanque (V), basado en el tiempo de retención (T_r):

$$V = Q_c * T_r = 4952 \text{ m}^3 / \text{día} * (2.0 \text{ h}) \text{ día} / 24 \text{ h} = 420 \text{ m}^3$$

- Profundidad del Tanque:

$$d = \frac{V}{A} = \frac{420 \text{ m}^3}{141 \text{ m}^2} = 3.0 \text{ m}$$

- Ancho (W) y (L):

$$W = \sqrt{\frac{V}{4d}} = \sqrt{\frac{420 \text{ m}^3}{4 (3 \text{ m})}} = 6.0 \text{ m} = 7.0 \text{ m (diseño)}$$

$$L = 4 (W) = 4 * 6.0 = 24.0 \text{ m} = 20.0 \text{ m (diseño)}$$

- Área transversal:

$$A_x = W * d = 7.0 \text{ m} * 3.0 \text{ m} = 21.0 \text{ m}^2$$

- Velocidad de Flujo (V_{fluj}):

$$V_{\text{fluj}} = \frac{Q_c}{A_x} = \frac{4952 \text{ m}^3 / \text{día}}{21 \text{ m}^2} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min.}}$$

$$V_{\text{fluj}} = 0.16 \text{ m / min.}$$

4.2.2.2 CÁLCULOS DE LA PREPARACIÓN DEL REACTIVO NaOH

Los consumos de la Soda Cáustica en el tratamiento del efluente (DAM), será con el objetivo de neutralizar la acidez por precipitación y de esta manera cumplir los estándares.

Pruebas de Neutralización:

Agua de Mina: pH 5.5 - 6.5

Preparación de Solución Soda Cáustica:

Se prepara la solución de soda cáustica adicionando 18 gr. del reactivo NaOH en un litro de agua, obteniendo una concentración de 1.8 %.

Desarrollo de las Pruebas de Neutralización:

Solución NaOH	Agua de Mina (Litros)	pH
5 ml	1.0	8.9
3 ml	1.0	8.2
2 ml	1.0	7.8
1 ml	1.0	7.4

Contenidos de NaOH en preparado de solución:

Si 1000 ml de agua contiene..... 18 gramos de NaOH

1 ml..... x

$$X = 0.018 \text{ gr. NaOH/ ml de solución}$$

De las Pruebas se tiene que:

01 ml de solución Neutraliza..... 1000 ml Agua de Mina

0.018 gr. NaOH..... 01 litro Agua de Mina

18 gr. NaOH..... 1000 litros Agua Mina

18 gr. NaOH..... 01 m³ Agua Mina

Consumo del NaOH

Con los reportes del caudal promedio del 31/10/2012 de 15.88 litros/segundo es 1383 m³/día:

18 gr. NaOH x 1383 m³/día = 24,894 gr. NaOH = **25 Kg. NaOH / día**

Dosificación de la Solución Hidróxido de Sodio:

Dosificación promedio: 0.76 litros/minuto

0.76 litros/minuto x 1440 minutos / día = **1095 litros / día**

4.2.2.3 SEDIMENTACIÓN DE SÓLIDOS CON FLOCULANTES

Se está utilizando el reactivo floculante Magnafloc 351 (M-351), estos reactivos son más eficaces cuando las preparaciones son de concentraciones bajas:

Preparación:

Capacidad del Tanque: 2200 litros.

2.0 Kg. M-351 / 2200 litros x 100; Concentración = 0.09 %

Dosificación:

1.5 lit / min x 1440 minutos /día = **2,160 litros de solución M-351 / día**

4.2.3 DATOS GENERALES

Para tener la información necesaria del comportamiento de los parámetros tales como: pH, caudal, principalmente en el momento de la toma de muestra para su tratamiento respectivo del DAM de mina Marta, se considera mostrar los reportes de los seis primeros meses del año 2012, en el que se contemplan el comportamiento del drenaje ácido respecto al caudal en el día del mes correspondiente.

Mes: Enero 2012

TRATAMIENTO DE AGUA MINA EN NIVEL 415 ENERO 2012						
Días	Q total Lt/seg.	Vol. día M ³	Nivel 415 pH	Soda Cáustica Kg.	Floculante M-351 Kg.	Agua Tratada pH
1	23.52	2032.20	6.1	50	3.5	7.5
2	22.27	1924.20	6	50	3	7.2
3	21.09	1822.50	6	50	3.5	7.2
4	27.35	2363.40	6	25	1.5	7
5	29.58	2556.00	5.8	50	2	7
6	40.94	3537.00	5.8	100	2	7.2
7	35.99	3109.50	5.6	75	4	7.15
8	32.84	2837.70	6	50	3.5	7
9	35.90	3101.40	6	100	4	7
10	34.04	2941.20	6	100	4.8	7
11	30.10	2601.00	6	100	4	7.2
12	20.45	1766.70	6	100	4	7
13	21.98	1899.00	6	75	3	7.5
14	26.30	2272.50	6	75	3	7

15	22.33	1929.60	6	75	3	7.2
16	12.00	1036.80	6	75	4	7.5
17	16.30	1408.50	6	75	3.5	7
18	20.93	1808.10	6	50	3.5	7
19	29.17	2520.00	6	50	3.5	7
20	27.71	2394.00	6	50	3.5	7.2
21	28.96	2502.00	6	50	3	7.2
22	29.32	2533.50	5.9	50	3	7.5
23	30.21	2610.00	6	50	3	7.2
24	28.80	2488.50	6	50	3	7.5
25	31.77	2745.00	6	50	3	7
26	29.39	2538.90	6	50	2	7
27	30.68	2650.50	6	50	2	7.5
28	32.34	2794.50	6.5	75	2.5	7
29	30.21	2610.00	6	50	3	7
30	35.36	3055.50	6.5	100	4	7.5
31	34.53	2983.50	6	75	4	7

Se aprecia en el mes de Enero-2012, el pH baja considerablemente hasta un valor de 5.6, correspondiente al día 7, también se aprecia el caudal es el segundo valor más alto registrado durante el mes, siendo un día antes (día 6 del mes) el caudal más alto registrándose un caudal de 40.94 lt/seg, haciendo un volumen total durante el día de 3537.00 m³.

Mes: Febrero 2012.

TRATAMIENTO DE AGUA MINA EN NIVEL 415				FEBRERO 2012		
Días	Q total Lt/seg.	Vol. día M ³	Nivel 415 pH	Soda Cáustica Kg.	Floculante M-351 Kg.	Agua Tratada pH
1	37.17	3211.20	6	75	3.5	7.2
2	34.53	2983.50	6.5	75	3.5	7.2
3	41.61	3595.50	6	50	3.5	7.2
4	66.55	5749.80	6	100	4	7.2
5	92.01	7950.00	5	100	4	7
6	98.25	8488.50	5	100	4.5	7
7	125.02	10801.50	5	100	4	7
8	77.95	6735.30	5	100	4	7.2
9	75.43	6517.50	5.5	100	4	7
10	67.09	5796.30	5.5	100	4	7.5
11	63.99	5528.70	5.8	100	4	7.1
12	69.38	5994.30	6.3	100	4	7.35
13	78.85	6813.00	5.3	100	4	7.2
14	82.63	7139.10	6.3	100	4	7.4
15	68.77	5941.50	6.5	100	4	7.2
16	71.16	6147.90	5.5	100	4	7
17	61.77	5337.30	5	100	4	7
18	59.55	5144.70	5.5	100	4	7.5
19	65.78	5683.20	5	75	4	7.5
20	61.11	5280.30	5	100	4	7
21	66.00	5702.70	5.5	100	4	7.5
22	64.10	5538.00	5	100	4	7.5
23	76.32	6593.70	5.5	100	4	7.2

24	80.57	6961.50	5.5	100	4	7.5
25	76.09	6574.20	5.5	100	4	7.5
26	70.08	6054.90	5.5	100	4	7.5
27	85.61	7396.80	5.5	100	4	7.5
28	98.83	8539.20	5.5	100	4	7.2
29	96.24	8314.80	5.5	100	4	7

En el mes de Febrero-2012, podemos ver que la mayor parte de los días del mes el pH, está debajo del mínimo de los LMP (6), siendo los valores predominantes 5 y 5.5 de pH, indicándonos de que el agua de mina es ácido y de cuidado, viendo el cuadro se aprecia también el incremento considerable del caudal en el Nv. 415, llegando a 125.02 lt/seg y un volumen de 10801.5 m³ en el día, en la zona del tratamiento y control del agua de mina.

Mes: Marzo-2012

TRATAMIENTO DE AGUA MINA EN NIVEL 415				MARZO 2012		
Días	Q total Lt/seg.	Vol. día M ³	Nivel 415 pH	Soda Cáustica Kg.	Floculante M-351 Kg.	Agua Tratada pH
1	91.40	7897.20	5.5	100	4	7.2
2	90.90	7853.70	5.5	100	4	7
3	95.12	8218.20	5.7	100	4	7.1
4	94.20	8139.00	5.5	100	4	7.1
5	88.68	7662.00	5.7	100	4	7.1
6	82.82	7155.90	5.5	100	4	7.1
7	79.91	6904.50	6	100	4	7
8	84.61	7310.70	6	100	4	7

9	82.52	7129.80	6	100	4	7.5
10	80.02	6913.50	6	100	4	7
11	75.76	6545.40	5.5	100	4	7
12	75.86	6554.40	6	100	4	7
13	76.89	6643.20	6	100	4	7
14	74.16	6407.04	6	100	4	7.5
15	73.21	6325.50	5.5	100	4	7.2
16	91.92	7942.20	6	100	4	7.5
17	93.09	8042.70	6	100	6	7.5
18	84.99	7343.46	5.5	100	6	7.2
19	83.47	7211.40	6	100	6	7.2
20	75.81	6549.66	6	100	6	7.2
21	72.98	6305.40	6	100	6	7.1
22	72.95	6303.30	6	100	6	7.1
23	72.58	6270.90	6	100	6	7
24	68.89	5952.00	6	100	6	7.1
25	71.02	6136.50	6	100	7.5	7.2
26	68.58	5925.30	6	100	6	7.5
27	70.04	6051.60	6	100	6	7.2
28	67.67	5846.40	5.5	100	6	7
29	67.09	5796.72	6	100	6	7.2
30	66.07	5708.40	5.5	100	5.5	7.5
31	67.73	5852.10	6	100	6	7.5

Durante el mes de Marzo-2012, se aprecia en el cuadro el valor del pH registrado durante los primeros días del mes aún tiene un valor constante de 5.5, también algunos otros días, alcanzando en la mayoría de días un pH de 6.0, estos valores indican un cuidado del drenaje ácido de mina, respecto al

caudal se registra un 95.12 lt/seg como el más alto y un volumen de 8218.20 m³ en el día.

Mes: Abril-2012

TRATAMIENTO DE AGUA MINA EN NIVEL 415 ABRIL 2012						
Días	Q total Lt/seg.	Vol. día M ³	Nivel 415 pH	Soda Cáustica Kg.	Floculante M-351 Kg.	Agua Tratada pH
1	63.69	5503.20	6	100.0	5.5	7.5
2	63.95	5525.70	6	100.0	6.0	7.2
3	63.16	5457.30	6	100.0	6.0	7.5
4	63.12	5453.16	6.5	100.0	6.0	7.5
5	63.59	5494.50	6.8	100.0	6.0	7.5
6	60.19	5200.20	6.6	100.0	6.0	7.5
7	58.41	5046.30	6.8	100.0	6.0	7.5
8	65.63	5670.30	6.8	100.0	6.0	7.5
9	62.86	5430.90	6.8	100.0	6.0	7.5
10	63.63	5497.50	6.5	100.0	6.0	7.2
11	77.05	6657.00	6.5	100.0	6.0	7.2
12	97.10	8389.20	7.05	100.0	6.0	8.1
13	83.93	7251.30	7.1	100.0	6.0	8.1
14	85.38	7376.40	7.1	100.0	6.0	8.1
15	84.93	7338.00	7.1	100.0	6.0	7.15
16	89.43	7726.50	7.1	100.0	6.0	8.2
17	90.52	7821.30	7.1	100.0	6.0	8.2
18	84.46	7297.20	7	100.0	6.0	7.2
19	80.11	6921.84	7.2	100.0	6.0	8
20	73.07	6313.26	7.2	100.0	6.0	8

21	72.31	6247.80	7.2	100.0	6.0	8.1
22	69.92	6040.80	7.1	100.0	6.0	8
23	74.60	6445.26	7.5	100.0	6.0	8.1
24	76.65	6622.80	7.5	100.0	6.0	8.1
25	76.07	6572.40	7.6	100.0	6.0	8.2
26	81.29	7023.60	7.5	100.0	6.0	8.5
27	76.56	6615.00	7.1	100.0	6.0	8.2
28	69.85	6035.16	7.5	100.0	6.0	8.5
29	71.17	6148.74	7.2	100.0	6.0	8.1
30	70.50	6091.20	7.5	100.0	6.0	8.5

Los tres primeros días del mes de Abril-2012, aún se puede apreciar que el valor del pH sigue con un valor mínimo de 6.0, conforme transcurre el mes este mejora en sus valores de acides, en cuanto al caudal controlado, este mantiene un promedio de 70 lt/seg durante el mes, siendo el más alto de 97.10 lt/seg, y un volumen de 8389.20 m³ en el día.

Mes: Mayo-2012.

TRATAMIENTO DE AGUA MINA EN NIVEL 415				MAYO 2012		
Días	Q total Lt/seg.	Vol. día M ³	Nivel 415 pH	Soda Cáustica Kg.	Floculante M-351 Kg.	Agua Tratada pH
1	71.97	6217.92	7.1	100	6	8.2
2	69.00	5961.60	7.5	100	8	8.5
3	64.39	5562.90	7.5	100	8.5	8.5
4	67.22	5807.70	7.4	100	8	8.1
5	62.90	5434.20	7.4	100	7.5	8.1

6	57.61	4977.90	7.5	100	6	8.1
7	61.55	5318.10	7.5	100	6	8.2
8	62.10	5365.80	7.4	100	6	8.1
9	62.21	5374.80	7.2	100	6	8.1
10	59.88	5173.74	7.5	100	6	8.2
11	58.59	5061.78	7.5	100	6	8.4
12	60.31	5211.00	7.1	100	6	8.1
13	64.28	5553.36	7.2	100	8	8.2
14	62.68	5415.30	7.2	100	8	8.1
15	60.82	5254.74	7.3	100	8	8.2
16	60.84	5256.72	7.5	100	8	8.5
17	59.35	5127.84	7.2	100	8	8.3
18	58.64	5066.10	7.5	100	8	8.5
19	58.92	5090.40	7.5	150	12	8.5
20	58.89	5087.70	7.5	100	8	8.5
21	56.56	4886.46	7.2	100	8	8.5
22	57.39	4958.10	7.5	100	8	8.5
23	53.80	4648.50	7.5	100	8	8.5
24	50.18	4335.30	6	100	8	8
25	51.77	4473.00	7	100	8	8.2
26	51.97	4490.10	7	100	8	8.2
27	53.03	4581.90	7.2	100	8	8.5
28	49.81	4303.80	7.2	100	6	8.5
29	50.45	4358.70	7.2	100	6	8.5
30	49.79	4302.00	7.4	100	6	7.5
31	50.49	4362.66	7	100	6	7.5

En el mes de Mayo-2012, solo en un día puntual se observa un valor mínimo en el pH de 6.0, el resto de los días se tiene un promedio del valor del pH por

encima de 7.0 como se aprecia en el cuadro, respecto al caudal el primer día del mes es el más alto con 71.97 lt/seg y un volumen de 6217.92 m³ en el día.

Mes: Junio-2012.

TRATAMIENTO DE AGUA MINA EN NIVEL 415 JUNIO 2012						
Días	Q total Lt/seg.	Vol. día M ³	Nivel 415 pH	Soda Cáustica Kg.	Floculante M-351 Kg.	Agua Tratada pH
1	50.02	4321.80	7.5	100	6	8.2
2	48.95	4229.10	6	100	6	7.2
3	47.31	4087.80	6.2	100	6	7.2
4	47.38	4093.38	6.5	100	6	7.5
5	48.34	4176.54	6.5	100	6	7.2
6	45.47	3928.86	7.1	100	6	7.8
7	43.79	3783.24	6.9	100	6	7.8
8	47.15	4073.76	7.1	100	6	8.1
9	44.36	3833.10	6.9	100	6	7.8
10	45.85	3961.62	7	100	6	8.1
11	43.81	3785.22	6.9	100	6	7.9
12	43.65	3771.18	7.1	100	6	8.1
13	41.67	3600.00	7.1	100	6	8.2
14	41.80	3611.34	7.1	100	6	8.2
15	42.31	3655.26	7.1	100	6	7.7
16	40.50	3499.20	6.45	100	6	8.7
17	40.83	3528.00	6.5	75	4.5	8.5
18	39.99	3455.10	6.5	50	3	8.2
19	41.06	3547.80	6.5	50	3	8.5
20	43.13	3726.00	6.5	50	3	8.5

21	38.91	3362.22	6.5	50	3	8.2
22	39.02	3371.58	6.8	50	3	8.5
23	38.54	3329.64	6.1	50	3	8.2
24	38.61	3336.12	6.8	50	3	8.1
25	39.33	3397.68	7	50	3	8.1
26	36.46	3150.18	7.2	50	3	8.2
27	39.84	3441.96	7.1	50	3	8.2
28	40.39	3489.66	6.9	50	3	8
29	42.38	3661.74	6.8	50	3	7.8
30	43.88	3790.98	6.9	50	3	8

En este mes de Junio-2012, se aprecia en un día un valor mínimo del pH igual a 6.0, los siguientes días los valores del pH mejoran, teniendo algunos días considerados de cuidado cuando el pH está cerca de 6.0, el caudal registrado más alto fue de 50.02 lt/seg y un volumen total de 4321.80 m³ en el día.

4.2.4 RESULTADO DE LOS ANÁLISIS DEL AGUA DE MINA DEL TRIMESTRE INDICADO.

El siguiente cuadro nos muestra los resultados de los análisis de laboratorio de los parámetros indicados, los cuales sirvieron para elevar el informe correspondiente al trimestre (febrero, marzo, abril, del 2012), donde se cumple en su mayoría las exigencias de las normas establecidas en Límites Máximos Permisibles para Descarga de Efluentes Líquidos de las Actividades Minero – Metalúrgicas, aprobado por D.S. N° 010-2010 MINAM de fecha 28 de agosto 2010, demostrando que el tratamiento utilizado para controlar el DAM de mina Marta propiedad de la Compañía Minera Barbastro S.A.C., cumple los parámetros establecidos.

Tabla N° 7.- Resultados del efluente tratado en punto M-2A.

PUNTO DE MONITOREO:	FEBRERO	MARZO	ABRIL	PROMEDIO
M-2^a				
Ph	Unid. 7.67	7.63	7.26	7.52
	Estándar			
STS	mg/L 3	5	9	5.667
INORGANICOS				
Cianuro WAD	mg/L < 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005
OTROS				
Oxígeno Disuelto	mg/L 6.4	6.6	6.0	6.333
METALES TOTALES				
Arsénico	mg/L 0.0097	0.0155	0.014	0.013
Cadmio	mg/L 0.032	0.015	0.015	0.021
Cromo	mg/L < 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02
Cobre	mg/L 0.013	0.01	0.01	0.011
Mercurio	mg/L < 0.00005	< 0.00005	< 0.00005	< 0.00005
Manganeso	mg/L 1.79	1.62	1.75	1.72
Níquel	mg/L 0.07	0.05	< 0.02	0.06
Plomo	mg/L < 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03
Selenio	mg/L 0.0021	0.001	0.0024	0.002
Zinc	mg/L 9.83	4.76	6.43	7.007

4.3 PRUEBA DE HIPÓTESIS

4.3.1. PROPOSICIÓN DE LA HIPÓTESIS

$$H_0 : \mu = 6$$

$$H_a : \mu > 6$$

$$\sigma = 0.93 \text{ Desviación permisible}$$

4.3.2. NIVEL DE SIGNIFICACIÓN

$$\alpha = 0.05 - 5\%$$

Con una confianza del 95%.

4.3.3. CÁLCULO DE VALORES CRÍTICOS Y DE PRUEBA

$$Z_c = 1.64 \text{ para } 0.05$$

$$Z_p = \frac{X - \mu}{\sigma / \sqrt{n}} = \frac{6.25 - 6.00}{0.93 / \sqrt{156}}$$

$$Z_p = 3.35$$

4.3.4. DECISIÓN Y CONCLUSIÓN

Decisión: Se rechaza la H_0 .

Conclusión: Se puede afirmar que la hipótesis planteada es correcta.

4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Con la implementación de un sistema de tratamiento activo en el control del DAM de mina Marta se pudo realizar un vertimiento del efluente de mina con los parámetros establecidos por el D.S. 10 – 2010 MINAN, que establece los límites máximos permisibles para descargas de efluentes de las actividades minero-metalúrgica, de esta manera el impacto ambiental en aguas del río Tinyaclla es controlado.

El incremento del pH en el DAM de mina Marta está directamente relacionado con el incremento del caudal que ingresa hacia el interior de la mina por las aberturas hechas durante una explotación del yacimiento sin una

prevención del macizo rocoso en contacto hacia la superficie por el que se infiltran las aguas producto de las lluvias, es más en época de lluvias y estas en contacto con los minerales, produce la oxidación causa para un grado de acidez considerablemente por debajo de los límites máximos permisibles.

La construcción de 4 pozas de concreto armado y una circulación en serie del efluente tratado más el tratamiento adecuado con la implementación de una planta mecánica para la adición del hidróxido de sodio o soda caustica para elevar el pH y controlar la acidez mediante una reacción química, como también la adición de un floculante para precipitar los STS y a la vez clarificar el agua de mina, todos estos procedimientos y otros, mediante el compromiso de todos los actores como son las altas gerencias, gerencias medias, trabajadores y colaboradores hacen de que el DAM de mina Marta para ser vertido como efluente al cuerpo receptor cumpla los límites máximos permisibles establecidos por la norma.

CONCLUSIONES

Con la implementación de un sistema de tratamiento activo para el DAM de mina Marta se pudo controlar el efluente a descargar al cuerpo receptor del río Tinyaclla bajos los parámetros de los límites máximos permisibles, cumpliendo de esta manera los parámetros fijados por el D.S. 010 – 2010 MINAM.

El caudal del DAM de mina Marta se incrementa considerablemente en los meses de mayor precipitación fluvial en la zona y por consiguiente la infiltración hacia interior mina es mayor por las zonas de impacto hacia la superficie en toda el área de subsidencia que fueron producto de las operaciones de explotación del mineral hasta superficie con trabajos de administraciones anteriores.

Generalmente al incremento del caudal del DAM en mina Marta, la acidez del efluente sin tratamiento decrece hasta valores de un pH de 5.0, que indica un valor debajo de los límites máximos permisibles, lo cual traería problemas del efluente en la descarga en el cuerpo receptor al no cumplir con la norma establecida.

Es muy importante considerar en un plan de minado hacia los afloramientos del yacimiento diseñando un pilar de corona que permita minimizar las áreas de subsidencia con hundimientos, fallamientos en el macizo rocoso, esto hará que disminuya el incremento de las infiltraciones de agua producto de lluvias hacia el interior de la mina y producto de esto el caudal a tratar del DAM sería menor en comparación a lo obtenido y también los valores del pH que estén por debajo de lo permisible debido al contacto del agua con los elementos oxidantes en el transcurso del recorrido del agua por el interior de la mina serán más dóciles en su tratamiento.

En mina Marta en la estación de verano se caracteriza por las precipitaciones pluviales, las cuales hacen que la escorrentía se filtre por los espacios abiertos en superficie conectados hacia la zona de operaciones de los diferentes niveles y por los que se ponen en contacto con las rocas y minerales (pirita) haciendo que a mayor caudal se tenga aguas ácidas con un pH de hasta 5.0 y que requieran un tratamiento adecuado para poder neutralizar la acidez antes de ser descargada al cuerpo receptor.

El DAM de mina Marta cuando alcanza un mayor caudal con un pH igual a 5.0, después de culminar el proceso del tratamiento activo es descargado con un pH promedio de 7.0, que se enmarca en el rango de los parámetros establecidos por los límites máximos permisibles para una actividad minero-metalúrgico dado por el D.S. 010 – 2010 MINAM, de esta manera se controla la contaminación de las aguas superficiales del río Tinyacclla.

En el DAM de mina Marta los sólidos totales se incrementan con el aumento del caudal del efluente minero, debido a que las paredes de las labores de minado anteriores son lavadas por la escorrentía del flujo de agua llevando de esta manera los sólidos totales en suspensión por el que necesita realizar un proceso de sedimentación de estos sólidos para cumplir los estándares fijados por la norma.

Con el proceso de tratamiento del DAM en mina Marta se logra controlar la cantidad de sólidos totales en el efluente antes de descargar al cuerpo receptor del río Tinyacclla, y así de esta manera se cumple con los parámetros establecidos para este caso.

El no considerar una planificación de prevención en los trabajos anteriores de la explotación del yacimiento mineralizado de las vetas hacia la superficie sin diseñar un pilar de corona adecuado con un estudio geomecánico adecuado, tiene como consecuencia obtener la disturbación sobredimensionada del macizo rocoso produciéndose fracturas, hundimientos, subsidencias, en el que las infiltraciones de agua son considerables que contribuyen en la obtención de un DAM, por el que debe aplicársele un tratamiento activo.

Para conseguir la neutralización de la acidez en el DAM de mina Marta se ha considerado la adición de una sustancia alcalina como la soda caustica, siendo esta de una acción rápida comparada con la cal hidratada que se utilizaba, contribuyendo también en la precipitación de los metales pesados.

En la separación de los sólidos en suspensión del líquido del DAM, se utiliza el floculante Magnafloc 351, el cuál realiza el proceso de floculación con el resultado de la unión de partículas de los metales pesados y separación del líquido (agua), a la vez actuando en la clarificación de la turbidez del agua de mina.

Para la preparación de los reactivos y dosificación se implementó una planta mecánica consistente en un tanque cilíndrico 4' x 4' con agitador mecánico para el hidróxido de sodio, seguido de otro tanque cilíndrico 5' x 5' con agitador para el reactivo floculante M-351, ambos están ubicados a la salida de la Bocamina del Nv. 415, los que cumplieron con la necesidad más álgida de alimentación de reactivos para las condiciones del DAM de mina Marta.

Los parámetros obtenidos e informados a la autoridad competente del DAM como efluente de mina Marta y este en la descarga del cuerpo receptor del río Tinyaccla, están dentro del rango de los parámetros establecidos en los límites máximos permisibles del D.S. 010 – 2010 del MINAM.

RECOMENDACIONES

En el proceso de tratamiento del agua ácida que es evacuada desde el interior de la mina se pueden seguir realizando mejoras en el tratamiento mismo, de tal manera que la acción sea más rápida y eficiente como en la implementación de una planta de tratamiento con tecnología de punta en la preparación y dosificación de reactivos para la alimentación hacia el agua de mina – DAM.

Como medida de prevención en la generación de agua ácida, en el diseño de explotación de mina debe considerarse un pilar de corona superficial, el que dará una estabilidad de la zona para evitar hundimientos y fracturamientos, de esta manera se minimizaran las infiltraciones de agua hacia las labores de interior mina con el que se generan las aguas ácidas.

Realizar monitoreos y estudios en la determinación de los cambios bruscos de algunos parámetros de control en el agua del efluente de mina tratado, en los casos puntuales vistos. El efluente de mina es muy sensible en sus características por lo que se debe estar monitoreando continuamente en la época de lluvias.

Aplicar el plan de cierre de mina considerando el cierre definitivo de las labores conectadas hacia superficie, de tal modo se pueda evitar la generación de aguas ácidas producto de la actividad minera en la zona. Para esto aplicar la técnica e ingeniería adecuada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, J. (s.f.). Academia.edu-Google Chrome. Recuperado el 30 de Setiembre de 2015, de <https://www.academia.edu>
- Aduvire, O. (2006). Drenaje ácido de mina. Generación y Tratamiento. Boletín Geológico y Minero, 45 - 72.
- Benavides, J. (2002). Tratamiento, uso y descarga del agua subterránea en Minera Yanacocha-Perú. Departamento de Planeamiento, 2-3.
- Bocángel, D., & Florian, E. (2003). Propuesta de Programa de Investigación: Planta de tratamiento Kumurana-La Lava. La Paz: Fundación MEDMIN.
- Broughton, L. (1995). compendio-drenaje. Recuperado el 2015, de www.ingenieroambiental.com
- Calla, H. (2010). Calidad del agua en la cuenca del río Rimac, sector de San Mateo, afectado por las actividades mineras. En H. Calla, Métodos de Mitigación (pág. 254). Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Chile, G. d. (2002). Sernageomin. Recuperado el 1 de Agosto de 2012, de <http://sitiohistorico.sernageomin.cl>
- Díaz, E., Alvarado, A., & Camacho, K. (1976). Universidad Autónoma del Estado de México. Recuperado el 14 de Enero de 2012, de : ediazc@uaemex.mx; alex04_bum@hotmail.com
- García, A. (21 de Agosto de 2010). Ambiente. El Peruano, pág. 2.
- Geoffrey, S., & Ndlovu, S. (2014). Acid mine drainage: Challenges and opportunities. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2-3.
- Herrera, P., & Millones, O. (2011). ¿Cuál es el costo de la contaminación ambiental minera sobre los recursos hídricos en el Perú? Lima: CIES - PUCP.
- Huerta, S. (1996). Planta Piloto de Fermentaciones - Sedimentación. México D.F.: Departamento de Biotecnología - Universidad Autónoma Metropolitana.
- Kremmer, F., & Jhon, M. C. (1989). Manual del agua: su naturaleza, tratamiento y aplicaciones. México D.F.: Mc Graw Hill .
- Mariusz, E. (2011). Informe técnico de asesoramiento en temáticas relacionadas a la contaminación de los recursos naturales. Oruro: Gobierno Autónomo Departamental de Oruro.

- Medina, R. (2018). Diseño y operatividad de la planta de neutralización de aguas acidas de mina Paragsha Cerro de Pasco en Minera Volcán S.A.A. Repositorio Institucional Digital-UNSA Investiga, Resumen.
- Morell, I., & Fagundo, J. (1996). Contribuciones a la investigación y gestión del agua subterránea. Valencia: Publicaciones de la Universidad Jaume.
- Romero, A., Flores, S., & Arévalo, W. (2010). Tratamiento de efluentes de la industria minera con dolomita. Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial, 1-2.
- Salazar, J., Hernández, M., & Álvaro, A. (2012). Alternativas de tratamientos de las aguas de drenajes ácidos de minas. La Salle: Corporación Universitaria La Sallista.
- Trevor, C., & Luiz, C. (2007). Guía para la evaluación de la estabilidad de los pilares de corona. Proyecto de reforma del sector de recursos minerales del Perú-PERCAN, 5.

ANEXOS

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 3° de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, dispone que el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, las políticas, normas, instrumentos, incentivos y sanciones que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha ley;

Que, el artículo 32° de la Ley N° 28611 modificado por el Decreto Legislativo N° 1055, establece que la determinación del Límite Máximo Permissible - LMP, corresponde al Ministerio del Ambiente y su cumplimiento es exigible legalmente por éste y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental;

Que, el numeral 33.4 del artículo 33° de la Ley N° 28611 en mención dispone que, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de la gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, el literal d) del artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente - MINAM, modificado por el Decreto Legislativo N° 1039, establece como función específica de dicho Ministerio elaborar los ECA y LMP, de acuerdo con los planes respectivos. Deben contar con la opinión del sector correspondiente, debiendo ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 011-96-EM-VMM, se aprobaron los niveles máximos permisibles para efluentes líquidos minero-metalúrgicos;

Que, el conocimiento actual de las condiciones de biodisponibilidad y biotoxicidad de los elementos que contiene los efluentes líquidos descargados al ambiente por acción antrópica y la forma en la que éstos pueden afectar los ecosistemas y la salud humana, concluyen que es necesario que los LMP se actualicen para las Actividades Minero-Metalúrgicas, a efecto que cumplan con los objetivos de protección ambiental;

Que, el Ministerio de Energía y Minas ha remitido una propuesta de actualización de LMP para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas, la misma que fue publicada para consulta y discusión pública en el Diario Oficial El Peruano habiéndose recibido comentarios y observaciones que han sido debidamente merituados;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118° de la Constitución Política del Perú, y el numeral 3 del artículo 11° de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

Artículo 1°.- Objeto

Aprobar los Límites Máximos Permisibles - LMP, para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas de acuerdo a los valores que se indica en el Anexo 01 que forma parte integrante del presente Decreto Supremo.

Artículo 2°.- Ámbito de Aplicación

El presente Decreto Supremo es aplicable a todas las actividades minero-metalúrgicas que se desarrollen dentro del territorio nacional.

Artículo 3°.- Definiciones

Para la aplicación del presente Decreto Supremo se utilizarán los siguientes términos y definiciones:

3.1 **Autoridad Competente.**- Autoridad que ejerce las funciones de evaluación y aprobación de los instrumentos de gestión ambiental de la actividad minero-metalúrgica. En el caso de la gran y mediana minería dicha Autoridad Competente es el Ministerio de Energía y Minas, mientras que para la pequeña minería y minería artesanal son los Gobiernos Regionales.

3.2 **Efluente Líquido de Actividades Minero - Metalúrgicas.**- Es cualquier flujo regular o estacional de sustancia líquida descargada a los cuerpos receptores, que proviene de:

a) Cualquier labor, excavación o movimiento de tierras efectuado en el terreno cuyo propósito es el

desarrollo de actividades mineras o actividades conexas, incluyendo exploración, explotación, beneficio, transporte y cierre de minas, así como campamentos, sistemas de abastecimiento de agua o energía, talleres, almacenes, vías de acceso de uso industrial (excepto de uso público), y otros;

b) Cualquier planta de procesamiento de minerales, incluyendo procesos de trituración, molienda, flotación, separación gravimétrica, separación magnética, amalgamación, reducción, tostación, sinterización, fundición, refinación, lixiviación, extracción por solventes, electrodeposición y otros;

c) Cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales asociado con actividades mineras o conexas, incluyendo plantas de tratamiento de efluentes mineros, efluentes industriales y efluentes domésticos;

d) Cualquier depósito de residuos mineros, incluyendo depósitos de relaves, desmontes, escorias y otros;

e) Cualquier infraestructura auxiliar relacionada con el desarrollo de actividades mineras; y,

f) Cualquier combinación de los antes mencionados.

3.3 **Ente Fiscalizador.**- Autoridad que ejerce las funciones de fiscalización y sanción de la actividad minera-metalúrgica, para la gran y mediana minería será el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería - OSINERGMIN, hasta que el Organismo de Evaluación y Fiscalización del Ambiente - OEFA asuma dichas funciones, y para la pequeña minería y minería artesanal de los Gobiernos Regionales.

3.4 **Límite Máximo Permissible (LMP).**- Medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al efluente líquido de actividades minero-metalúrgicas, y que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el sistema de gestión ambiental.

3.5 **Límite en cualquier momento.**- Valor del parámetro que no debe ser excedido en ningún momento. Para la aplicación de sanciones por incumplimiento del límite en cualquier momento, éste deberá ser verificado por el fiscalizador o la Autoridad Competente mediante un monitoreo realizado de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes.

3.6 **Límite promedio anual.**- Valor del parámetro que no debe ser excedido por el promedio aritmético de todos los resultados de los monitoreos realizados durante los últimos doce meses previos a la fecha de referencia, de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes y el Programa de Monitoreo.

3.7 **Monitoreo de Efluentes Líquidos.**- Evaluación sistemática y periódica de la calidad de un efluente en un Punto de Control determinado, mediante la medición de parámetros de campo, toma de muestras y análisis de las propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas de las mismas, de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes.

3.8 **Parámetro.**- Cualquier elemento, sustancia o propiedad física, química o biológica del efluente líquido de actividades minero-metalúrgicas que define su calidad y que se encuentra regulado por el presente Decreto Supremo.

3.9 **Punto de Control de Efluentes Líquidos.**- Ubicación aprobada por la Autoridad Competente en la cual es obligatorio el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles.

3.10 **Programa de Monitoreo.**- Documento de cumplimiento obligatorio por el titular minero, contiene la ubicación de los puntos de control de efluentes y cuerpo receptor, los parámetros y frecuencias de monitoreo de cada punto para un determinado centro de actividades minero - metalúrgicas.

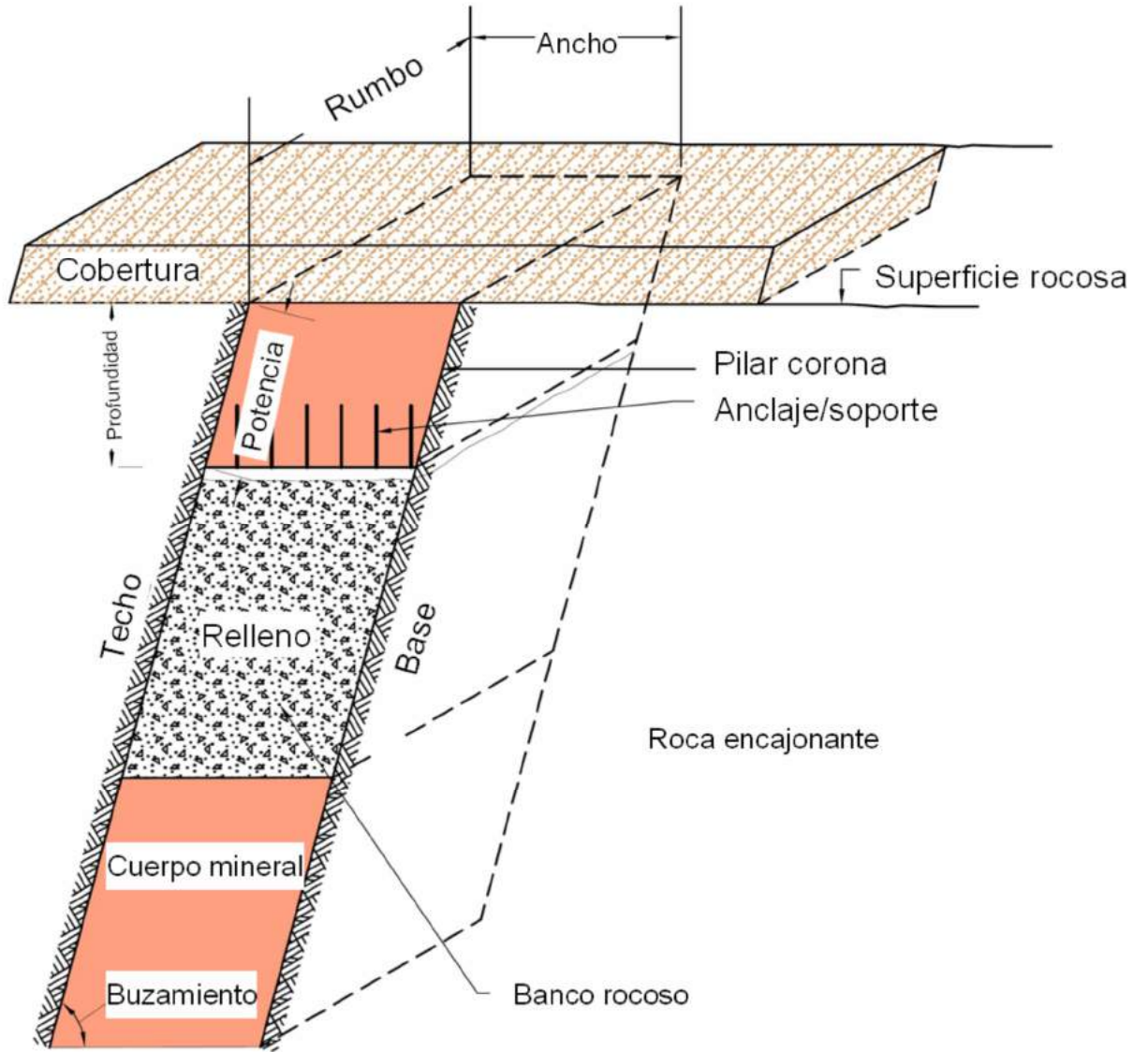
Es aprobado por la Autoridad Competente como parte de la Certificación Ambiental y puede ser modificado por ésta de oficio o a pedido de parte, a efectos de eliminar, agregar o modificar puntos de control del efluente y cuerpo

**LIMITE MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LA DESCARGA DE EFLUYENTES
LÍQUIDOS DE ACTIVIDAD MINERO-METALURGICAS
(D.S 010-2010-MINAM)**

Parametro	Unidad	Limite en Cualquier Momento	Limite para el Promedio anual
pH		6-9	6-9
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50	25
Aceites y Grasas	mg/L	20	16
Cianuro Total	mg/L	1	0.8
Arsénico Total	mg/L	0.1	0.08
Cadmio Total	mg/L	0.05	0.04
Cromo Hexavalente	mg/L	0.1	0.08
Cobre Total	mg/L	0.5	0.4
Hierro (disuelto)	mg/L	2	1.6
Plomo Total	mg/L	0.2	0.16
Mercurio Total	mg/L	0.002	0.0016
Zinc Total	mg/L	1.5	1.2

Anexo N° 1

PILAR DE CORONA



Anexo N° 2

R. D. N° 0068 – 2010 – ANA –DGCRH



- b) La recurrente deberá realizar el control de los siguientes parámetros: pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, SST, Cianuro Wad y en concentraciones totales: selenio, mercurio, cadmio, plomo, zinc, arsénico, cobre, níquel, cromo y manganeso. Asimismo, los análisis de agua deberán ser refrendados por un laboratorio debidamente acreditado por el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y Propiedad Intelectual – INDECOP. La frecuencia del control deberá ser trimestral y los resultados deberán ser remitidos a la Autoridad Nacional del Agua con la misma frecuencia, debidamente sistematizados en formato físico y digital; adicionalmente deberá remitir a esta Autoridad el caudal promedio mensual descargado.
- c) Los puntos de control serán conforme al siguiente detalle:

CUADRO N° 1	
Punto de Control	Descripción
M -3	Rio Tinyaccla 100m aguas arriba del punto de vertimiento
M -4	Rio Tinyaccla 100m aguas abajo del punto de vertimiento
M -5	Rio Tinyaccla 150m aguas arriba de la confluencia con el Rio Palca
M -6	Rio Palca 100m aguas arriba del punto de confluencia con el Rio Tinyaccla
M -7	Rio Palca 150m aguas abajo del punto de confluencia con el Rio Tinyaccla
M -2A	Efluente tratado agua de mina
M -2B	Efluente tratado de la cancha de relave

Que, en el referido Informe Técnico se precisa, respecto a la clasificación del cuerpo receptor - Rio Tinyaccla - que éste se encuentra dentro de la Categoría 3 "Riego de Vegetales y Bebida de Animales", según lo establecido por Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA;

Con el visto de la oficina de Asesoría Jurídica y en uso de las facultades conferidas por el artículo 79° de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, de lo establecido por su Reglamento, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2010-AG, y en aplicación de lo dispuesto por el artículo 32° del Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Nacional del Agua, aprobado por Decreto Supremo N° 006-2010-AG.



SE RESUELVE:

ARTICULO 1°.- Otorgar a COMPAÑÍA MINERA BARBASTRO S.A.C., autorización de vertimiento de aguas residuales industriales tratadas, procedentes de la boca mina y la cancha de relaves, de la unidad de producción Mina Marta, ubicada en el centro poblado menor de Tinyaccla, distrito de Huando, provincia y región de Huancavelica, por un volumen anual de 536 067,07 m3, con un caudal máximo de 17,24 l/s, de régimen continuo, que serán descargadas en la Quebrada Tinyaccla, tributario del Rio Palca, cuyos puntos finales de vertimiento serán en las coordenadas UTM 8601091 N y 502366 E.



ARTICULO 2°.- El plazo de vigencia de la autorización otorgada en el artículo precedente, es de dos (02) años, contados a partir de notificada la presente resolución.

ARTICULO 3°.- Disponer que la COMPAÑÍA MINERA BARBASTRO S.A.C. queda sujeta al cumplimiento de las siguientes obligaciones, respecto del vertimiento autorizado:

Anexo N° 3

INFORME DE LABORATORIO ALS DEL PERÚ S.A.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO
PERUANO DE ACREDITACIÓN INDECOPI-SNA CON REGISTRO
N° LE-025



INFORME DE ENSAYO

LE1201254

Informe para : **Compañía Minera Barbastro S.A.C.**
Dirección : Calle.Las Begonias N°.441 Int.242 Urb. Jardín (Piso 2)
San Isidro
Atención : **Fernando Valdivia / Jose Antonio Ardito**
Fecha de Informe : 15-May-12
Fecha de Recepción : 23-Apr-12
Muestreado por : Compañía Minera Barbastro S.A.C.
Referencia :
Proyecto : Vertimiento de Aguas Industriales

ALS ENVIRONMENTAL


Miguel Marcelo
Operations Manager

Página 1 de 10

Av. Argentina 1859 Cercado de Lima, Lima 1, Perú : TELF +51 1 336 5353 : FAX +51 1 336 7343
ALS PERU S.A. RUC 20220964869 Parte de ALS Group Una Compañía de Campbell Brothers Limited

www.alsglobal.com

RIGHT SOLUTIONS. RIGHT PARTNER.



LE1201254

RESULTADOS DE ANALISIS

Identificación	M-2A	M-2B	M-3
Fecha de Muestreo	22-Apr-12	22-Apr-12	22-Apr-12
Hora de Muestreo	09:20	09:35	09:09
Código ALS	LE1201254-001	LE1201254-002	LE1201254-003
Tipo de Muestra	EFM	EFM	AS
Parámetro / LOR			

PARAMETROS INORGANICOSCianuros

ECNW-COL101 / 0.005	CN-W	mg/L	25-Apr-12	<0.005	<0.005	<0.005
---------------------	------	------	-----------	--------	--------	--------

PARAMETROS FISICOQUIMICOS

ECE-POT401 / 2	CE	uS/cm	23-Apr-12	933	1010	233
EPH-POT403 / 0.01	pH		23-Apr-12	7.25	7.91	7.92
ESTS-GRA203 / 3	STS	mg/L	26-Apr-12	9	<3	<3

METALES TOTALES

EAS-GH55 / 0.0002	As	mg/L	14-May-12	0.0140	0.0040	0.0097
ECD-AAS4 / 0.005	Cd	mg/L	14-May-12	0.015	<0.005	<0.005
ECR-AAS4 / 0.02	Cr	mg/L	14-May-12	<0.02	<0.02	<0.02*
ECU-AAS4 / 0.005	Cu	mg/L	14-May-12	0.010	0.005	<0.005
EHG-VF10B / 0.00005	Hg	mg/L	04-May-12	<0.00005*	<0.00005*	<0.00005
EMN-AAS4 / 0.005	Mn	mg/L	14-May-12	1.75*	1.37*	0.017
ENI-AAS4 / 0.02	Ni	mg/L	14-May-12	<0.02*	<0.02*	<0.02*
EPB-AAS4 / 0.03	Pb	mg/L	14-May-12	<0.03	<0.03	<0.03
ESE-GH56 / 0.0005	Se	mg/L	14-May-12	0.0024*	0.0030*	<0.0005
EZN-AAS4 / 0.005	Zn	mg/L	14-May-12	6.43	1.89	0.041

PARAMETROS INORGANICOSOtros

EOD-VOL311 / 0.1	OD	mg/L	23-Apr-12	6.0*	6.1*	6.3
------------------	----	------	-----------	------	------	-----

<= Menor que el límite de detección Indicado

AS (Agua Superficial); EFM (Efuyente Minero)

NA: No Analizada, IM: Insuficiente Muestra, NR: No Reportable

(*) Este valor corresponde a métodos y/o alcances no acreditado por INDECOPI-SNA



LE1201254

RESULTADOS DE ANALISIS

Identificación	M-4	M-5	M-6
Fecha de Muestreo	22-Apr-12	22-Apr-12	22-Apr-12
Hora de Muestreo	08:40	14:10	14:25
Código ALS	LE1201254-004	LE1201254-005	LE1201254-006
Tipo de Muestra	EFM	EFM	AS
Parámetro / LOR	Analito	Unidades	Fecha de Análisis

PARAMETROS INORGANICOS

Cianuros

ECNW-COL101 / 0.005	CN-W	mg/L	25-Apr-12	<0.005	<0.005	<0.005
---------------------	------	------	-----------	--------	--------	--------

PARAMETROS FISICOQUIMICOS

ECE-POT401 / 2	CE	uS/cm	23-Apr-12	695	346	310
EPH-POT403 / 0.01	pH		23-Apr-12	7.53	8.07	8.14
ESTS-GRA203 / 3	STS	mg/L	26-Apr-12	5	<3	<3

METALES TOTALES

EAS-GH55 / 0.0002	As	mg/L	14-May-12	0.0109	0.0045	0.0054
ECD-AAS4 / 0.005	Cd	mg/L	14-May-12	0.009	<0.005	<0.005
ECR-AAS4 / 0.02	Cr	mg/L	14-May-12	<0.02	<0.02	<0.02*
ECU-AAS4 / 0.005	Cu	mg/L	14-May-12	0.008	0.015	<0.005
EHG-VF108 / 0.00005	Hg	mg/L	04-May-12	<0.00005*	<0.00005*	<0.00005
EMN-AAS4 / 0.005	Mn	mg/L	14-May-12	1.04*	0.114*	0.013
ENI-AAS4 / 0.02	Ni	mg/L	14-May-12	<0.02*	<0.02*	<0.02*
EPB-AAS4 / 0.03	Pb	mg/L	14-May-12	<0.03	<0.03	<0.03
ESE-GH56 / 0.0005	Se	mg/L	14-May-12	0.0016*	0.0005*	<0.0005
EZN-AAS4 / 0.005	Zn	mg/L	14-May-12	3.77	0.243	0.033

PARAMETROS INORGANICOS

Otros

EOD-VOL311 / 0.1	OD	mg/L	23-Apr-12	7.6*	5.8*	6.3
------------------	----	------	-----------	------	------	-----

<= Menor que el límite de detección Indicado

AS (Agua Superficial); EFM (Efluente Minero)

NA: No Analizada, IM: Insuficiente Muestra, NR: No Reportable

(*) Este valor corresponde a métodos y/o alcances no acreditado por INDECOPI-SNA



LE1201254

RESULTADOS DE ANALISIS

Identificación				M-7
Fecha de Muestreo				22-Apr-12
Hora de Muestreo				14:35
Código ALS				LE1201254-007
Tipo de Muestra				AS
Parámetro / LOR	Analito	Unidades	Fecha de Análisis	

PARAMETROS INORGANICOS

Cianuros

ECNW-COL101 / 0.005	CN-W	mg/L	25-Apr-12	<0.005
---------------------	------	------	-----------	--------

PARAMETROS FISICOQUIMICOS

ECE-POT401 / 2	CE	uS/cm	23-Apr-12	317
EPH-POT403 / 0.01	pH		23-Apr-12	7.79
ESTS-GRA203 / 3	STS	mg/L	26-Apr-12	<3

METALES TOTALES

EAS-GH55 / 0.0002	As	mg/L	14-May-12	0.0058
ECD-AAS4 / 0.005	Cd	mg/L	14-May-12	<0.005
ECR-AAS4 / 0.02	Cr	mg/L	14-May-12	<0.02*
ECU-AAS4 / 0.005	Cu	mg/L	14-May-12	0.005
EHG-VF108 / 0.00005	Hg	mg/L	04-May-12	<0.00005
EMN-AAS4 / 0.005	Mn	mg/L	14-May-12	0.037
ENI-AAS4 / 0.02	Ni	mg/L	14-May-12	<0.02*
EPB-AAS4 / 0.03	Pb	mg/L	14-May-12	<0.03
ESE-GH56 / 0.0005	Se	mg/L	14-May-12	<0.0005
EZN-AAS4 / 0.005	Zn	mg/L	14-May-12	0.094

PARAMETROS INORGANICOS

Otros

EOD-VOL311 / 0.1	OD	mg/L	23-Apr-12	5.9
------------------	----	------	-----------	-----

<= Menor que el límite de detección Indicado

AS (Agua Superficial), EFM (Efluente Minero)

NA: No Analizada, IM: Insuficiente Muestra, NR: No Reportable

(*) Este valor corresponde a métodos y/o alcances no acreditado por INDECOPI-SNA



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO
PERUANO DE ACREDITACIÓN INDECOPI-SNA CON REGISTRO
N° LE-025



INFORME DE ENSAYO

LE1201564

Informe para : Compañía Minera Barbastro S.A.C.
Dirección : Calle.Las Begonias N°.441 Int.242 Urb. Jardin (Piso 2)
San Isidro
Atención : Jose Antonio Ardito / Armando Espejo
Fecha de Informe : 15-Jun-12
Fecha de Recepción : 21-May-12
Muestreado por : Compañía Minera Barbastro S.A.C.
Referencia :
Proyecto : Vertimiento Aguas Industriales

ALS ENVIRONMENTAL


Miguel Marcelo
Operations Manager

Página 1 de 10

Av. Argentina 1859 Cercado de Lima, Lima 1, Perú TELF +51 1 336 5353 FAX +51 1 336 7343
ALS PERU S.A. RUC 20220964869 Parte de ALS Group Una Compañía de Campbell Brothers Limited

www.alsglobal.com

RIGHT SOLUTIONS RIGHT PARTNER



LE1201564

RESULTADOS DE ANALISIS

Identificación	M-2A	M-2B	M-3
Fecha de Muestreo	20-May-12	20-May-12	20-May-12
Hora de Muestreo	09:30	09:50	10:20
Código ALS	LE1201564-001	LE1201564-002	LE1201564-003
Tipo de Muestra	EFM	EFM	AS
Parámetro / LOR			

PARAMETROS INORGANICOSCianuros

ECNW-COL101 / 0.005	CN-W	mg/L	27-May-12	<0.005	<0.005	<0.005
---------------------	------	------	-----------	--------	--------	--------

PARAMETROS FISICOQUIMICOS

ECE-POT401 / 2	CE	uS/cm	21-May-12	930	660	264
EPH-POT403 / 0.01	pH		21-May-12	8.64	7.58	8.16
ESTS-GRA203 / 3	STS	mg/L	24-May-12	<3	<3	<3

METALES TOTALES

EAS-GH55 / 0.0002	As	mg/L	01-Jun-12	0.0142	0.0031	0.0146
ECD-AAS4 / 0.005	Cd	mg/L	01-Jun-12	<0.005	<0.005	<0.005
ECR-AAS4 / 0.02	Cr	mg/L	01-Jun-12	<0.02	<0.02	<0.02*
ECU-AAS4 / 0.005	Cu	mg/L	01-Jun-12	0.006	<0.005	<0.005
EHG-VF108 / 0.00005	Hg	mg/L	31-May-12	<0.00005*	<0.00005*	<0.00005
EMN-AAS4 / 0.005	Mn	mg/L	01-Jun-12	0.767*	0.077*	0.016
ENI-AAS4 / 0.02	Ni	mg/L	01-Jun-12	<0.02*	<0.02*	0.09*
EPB-AAS4 / 0.03	Pb	mg/L	01-Jun-12	<0.03	<0.03	<0.03
ESE-GH56 / 0.0005	Se	mg/L	01-Jun-12	0.0012*	0.0024*	0.0006
EZN-AAS4 / 0.005	Zn	mg/L	01-Jun-12	0.472	1.78	0.021

PARAMETROS INORGANICOSOtros

EOD-VOL311 / 0.1	OD	mg/L	21-May-12	6.2*	5.4*	7.1
------------------	----	------	-----------	------	------	-----

<= Menor que el límite de detección indicado

AS (Agua Superficial); EFM (Efluente Minero)

NA: No Analizada, IM: Insuficiente Muestra, NR: No Reportable

(*) Este valor corresponde a métodos y/o alcances no acreditado por INDECOPI-SNA

Este documento es la copia N°1 del original



LE1201564

RESULTADOS DE ANALISIS

Identificación				M-4	M-5	M-6
Fecha de Muestreo				20-May-12	20-May-12	20-May-12
Hora de Muestreo				10:35	10:55	11:15
Código ALS				LE1201564-004	LE1201564-005	LE1201564-006
Tipo de Muestra				EFM	EFM	AS
Parámetro / LOR	Analito	Unidades	Fecha de Análisis			

PARAMETROS INORGANICOSCianuros

ECNW-COL101 / 0.005	CN-W	mg/L	27-May-12	<0.005	<0.005	<0.005
---------------------	------	------	-----------	--------	--------	--------

PARAMETROS FISICOQUIMICOS

ECE-POT401 / 2	CE	uS/cm	21-May-12	1080	476	357
EPH-POT403 / 0.01	pH		21-May-12	7.83	8.17	8.31
ESTS-GRA203 / 3	STS	mg/L	24-May-12	<3	<3	<3

METALES TOTALES

EAS-GH55 / 0.0002	As	mg/L	01-Jun-12	0.0039	0.0056	0.0085
ECD-AAS4 / 0.005	Cd	mg/L	01-Jun-12	0.006	<0.005	<0.005
ECR-AAS4 / 0.02	Cr	mg/L	01-Jun-12	<0.02	<0.02	<0.02*
ECU-AAS4 / 0.005	Cu	mg/L	01-Jun-12	<0.005	0.028	<0.005
EHG-VF108 / 0.00005	Hg	mg/L	31-May-12	<0.00005*	<0.00005*	<0.00005
EMN-AAS4 / 0.005	Mn	mg/L	01-Jun-12	0.272*	0.104*	0.007
ENI-AAS4 / 0.02	Ni	mg/L	01-Jun-12	0.02*	<0.02*	<0.02*
EPB-AAS4 / 0.03	Pb	mg/L	01-Jun-12	<0.03	<0.03	<0.03
ESE-GH56 / 0.0005	Se	mg/L	01-Jun-12	0.0009*	0.0005*	<0.0005
EZN-AAS4 / 0.005	Zn	mg/L	01-Jun-12	2.23	0.121	0.010

PARAMETROS INORGANICOSOtros

EOD-VOL311 / 0.1	OD	mg/L	21-May-12	7.0*	6.8*	6.6
------------------	----	------	-----------	------	------	-----

<= Menor que el límite de detección Indicado

AS (Agua Superficial); EFM (Efluente Minero)

NA: No Analizada, IM: Insuficiente Muestra, NR: No Reportable

(*) Este valor corresponde a métodos y/o alcances no acreditado por INDECOPI-SNA

Este documento es la copia N°1 del original



LE1201564

RESULTADOS DE ANALISIS

Identificación				M-7
Fecha de Muestreo				20-May-12
Hora de Muestreo				11:40
Código ALS				LE1201564-007
Tipo de Muestra				AS
Parámetro / LOR				

PARAMETROS INORGANICOS

Cianuros

ECNW-COL101 / 0.005	CN-W	mg/L	27-May-12	<0.005
---------------------	------	------	-----------	--------

PARAMETROS FISICOQUIMICOS

ECE-POT401 / 2	CE	uS/cm	21-May-12	376
EPH-POT403 / 0.01	pH		21-May-12	8.29
ESTS-GRA203 / 3	STS	mg/L	24-May-12	<3

METALES TOTALES

EAS-GH55 / 0.0002	As	mg/L	01-Jun-12	0.0082
ECD-AAS4 / 0.005	Cd	mg/L	01-Jun-12	<0.005
ECR-AAS4 / 0.02	Cr	mg/L	01-Jun-12	<0.02*
ECU-AAS4 / 0.005	Cu	mg/L	01-Jun-12	0.006
EHG-VF108 / 0.00005	Hg	mg/L	31-May-12	<0.00005
EMN-AAS4 / 0.005	Mn	mg/L	01-Jun-12	0.023
ENI-AAS4 / 0.02	Ni	mg/L	01-Jun-12	<0.02*
EPB-AAS4 / 0.03	Pb	mg/L	01-Jun-12	<0.03
ESE-GH56 / 0.0005	Se	mg/L	01-Jun-12	<0.0005
EZN-AAS4 / 0.005	Zn	mg/L	01-Jun-12	0.025

PARAMETROS INORGANICOS

Otros

EOD-VOL311 / 0.1	OD	mg/L	21-May-12	6.6
------------------	----	------	-----------	-----

<= Menor que el límite de detección Indicado

AS (Agua Superficial); EFM (Efuyente Minero)

NA: No Analizada, IM: Insuficiente Muestra, NR: No Reportable

(*) Este valor corresponde a métodos y/o alcances no acreditado por INDECOPI-SNA

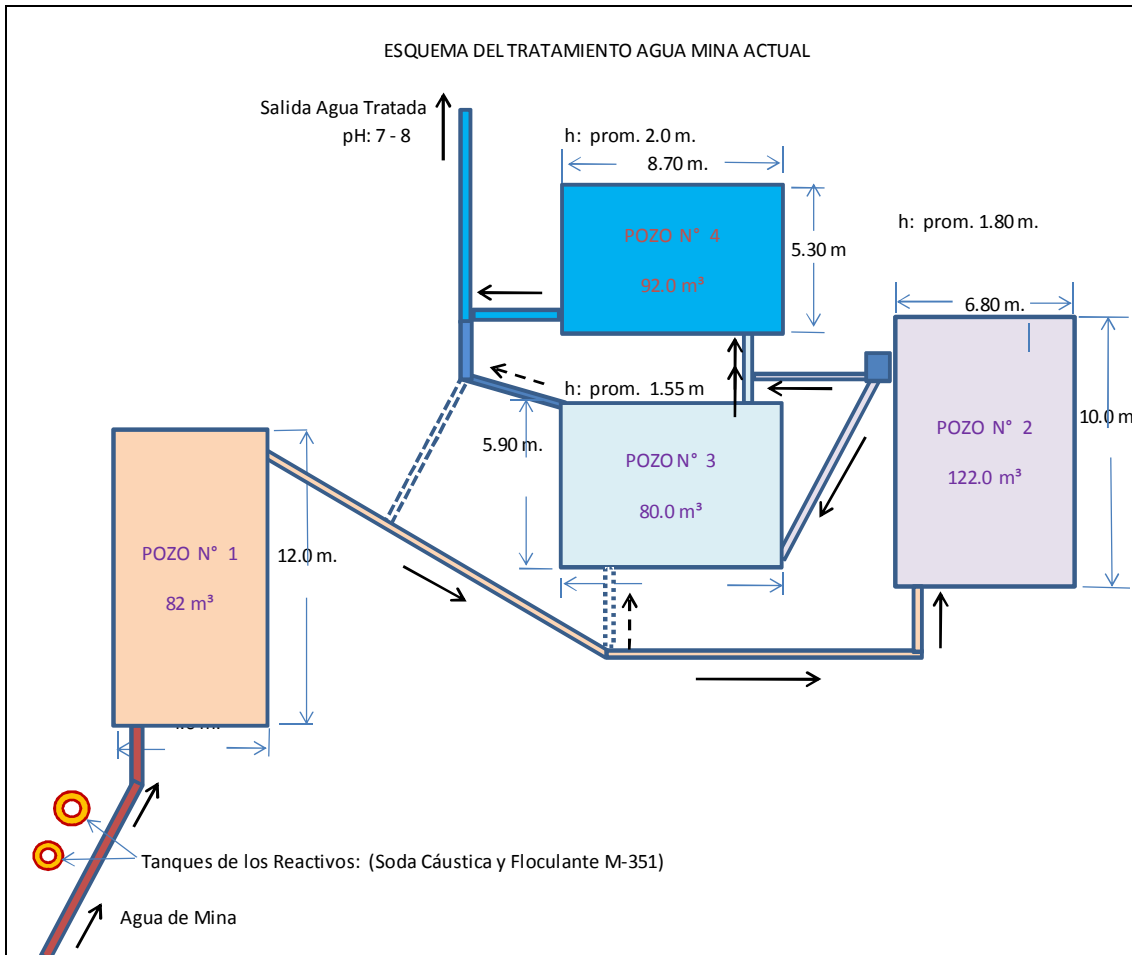
Este documento es la copia N°1 del original

BOCA MINA Nv. 415 – SALIDA DEL AGUA DE MINA.



Anexo N° 6

SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS ÁCIDAS EN EL 2008



Anexo N° 7

AMPLIACIÓN DE POZAS DE TRATAMIENTO 2011-2012



Anexo N° 8