

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA



REMOCION DE METALES PESADOS DE LOS EFLUENTES DE LA MINA
MARCAPUNTA OESTE

TESIS

PARA OPTAR EL GRADO ACADEMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS
CON MENCIÓN EN MINERÍA Y MEDIO AMBIENTE

ELABORADO POR:

JUAN ARMANDO PINILLOS TORRES

ASESOR

M.Sc. ATILIO MENDOZA APOLAYA

LIMA – PERÚ

Digitalizado por:

2013

Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse

DEDICATORIA

A la memoria de JOSE y ANGELA

Mis padres.

A mi familia, por su comprensión

A mis asesores por sus consejos:

José Vidalón G-Atilio Mendoza A.

RESUMEN

El presente estudio tiene por finalidad demostrar que tratando oportunamente los efluentes mineros contaminados en la mina Marcapunta Oeste, mejorara la calidad de las aguas superficiales del riachuelo Andacancha y por ende el río San Juan.

Actualmente las exigencias de las normas ambientales, no permiten que los titulares mineros viertan los efluentes del proceso minero metalúrgico, sin antes haberlos tratado. Cumpliendo con lo establecido en el decreto Supremo N° 010-2010-MINAM.

El efluente de la mina Marcapunta Oeste, es un agua ácida por tener 5,0 Unidades de pH, con alto contenido de sólidos totales suspendidos 240mg/L, 1,852 mg/L de arsénico, 13,52 mg/L de cobre, 59,25 mg/L de fierro y 0.296 mg/L de plomo. Actualmente lo tratan adicionando lechada de cal, sulfuro de sodio y floculante, sin embargo el efluente final, se encuentra contaminado por tener 5,6 unidades, 1,97 mg/L de cobre y 5,73 mg/L de fierro.

En la presente tesis, se trata de desarrollar una alternativa, técnica, ambiental y económica, que permita la remoción de los metales pesados del efluente citado. Aplicando el método de oxidación, adición de cal y floculante. Aprovechando el alto contenido de sólidos totales suspendidos y fierro. Sometiendo al efluente a la etapa de oxidación para pasar el ión ferroso a ion férrico, que al entrar en contacto con la lechada de cal, formaría el hidróxido de fierro III, el cual precipita. Coprecipitando al

mismo tiempo los otros elementos metálicos como el cobre, arsénico y plomo. Adicionando al proceso floculante, el cual formará flóculos en el seno del efluente precipitándolo en el sedimentador, obteniendo un agua limpia con valores metálicos, inferiores a lo establecido en la norma vigente citada.

El resultado promedio de las tres pruebas, que se realizó en el Laboratorio de la UNI, se obtuvo los valores siguientes: pH 7,06 Unidades, Sólidos Totales Suspendedos 25,9 mg/L, Hierro 0,74 mg/L, Cobre 0,076 mg/L, Arsénico 0,048 mg/L y Plomo 0,095 mg/L. (ver Tabla N° 15). Estos valores son inferiores a lo establecido en el D.S. 010-2010-MINAM. Y se logró una eficiencia de remoción mayor al 90 % (Ver Tabla N° 16).

La ejecución del proyecto, “Remoción de metales pesados de los efluentes de la mina Marcapunta Oeste”, requiere de una inversión total de \$. 1 328 795, el costo del proceso \$. 850 518 y el capital de trabajo \$. 201 954.

Se espera que con el desarrollo de la presente tesis, otras empresas mineras que tengan problemas similares en sus efluentes mineros, puedan tratarlo mediante el criterio aplicado en el tratamiento del efluente de la mina Marcapunta Oeste. Lo cual contribuirá a mejorar la calidad de las aguas superficiales de los ríos de nuestro país, así como, enriquecer el conocimiento de los estudiantes de ingeniería, en el tratamiento de los efluentes mineros.

ABSTRACT

The present study aims to demonstrate the mining effluents with high contents of metal elements, improve the quality of surface waters of the stream Andacancha the river San Juan. Currently the requirements of environmental regulation don't allow holders miners, effluents discharge metallurgical mining process, but not before treating them. Complying with the provisions of Presidential Decree Number 010-2010-MINAM.

The effluent from the mine West Marcapunta, is an acid water having pH 5.0 units with high total suspended solid content of 249 mg/L, 1.852 mg/L of arsenic, 13.52 mg/L of copper, 59.25 mg/L iron and 0.296 mg/L of lead. Currently it is treated with lime, sodium sulfide and flocculant, however the effluent end, is contaminated even having 5.6 units of pH high copper values with a concentration of 1.97 mg/L and 5.73 mg/L iron, respectively.

In this thesis, it comes to develop an alternative, technical, environmental and economical, allowing the removal of heavy metals from the effluent above. Applying the method of oxidation addition of lime and flocculant. Leveraging the high content of total suspended solids and iron. Subjecting the effluent to the oxidation stage for passing the ferrous ion to ferric ion which upon contact with the milk lime, iron hydroxide would form III, which precipitates. Coprecipitating while the other metal elements such as copper, arsenic and lead. Adding at the end of flocculation process, which former flocs within the precipitating in the settler effluent, obtaining

clean water with metal values, lower than that established in the existing statute cited, among them copper which was obtained value of 0.079 mg/L. For the identification of environmental impacts arising from the activities of the project, applies the method of cause - effect analysis matrix amended, Leopold Matrix (Procedure for Evaluating Environmental Impact, 1971).

The execution of the project, "Removal of heavy metals from mine effluents Marcapunta West", requires a total investment of \$1'328,795.23, while the cost of process \$ 850,518.00 and \$201.954.00 working capital.

It is expected that with the development of this thesis, other mining companies have similar problems it is mining effluents, can treat it by applying the approach in the treatment of the effluent from the mine Marcapunta West. Which will contribute to improving the quality of surface waters from different rivers of our country and contribute to the enrichment of students knowledge of engineering in the treatment of mining effluents.

**REMOCIÓN DE METALES PESADOS DE LOS EFLUENTES DE LA MINA
MARCAPUNTA OESTE**

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES HISTÓRICOS	3
OBJETIVOS	5
➤ Objetivo general.....	5
➤ Objetivos específicos	5
MARCO LEGAL	6
CAPITULO I	17
1.1 Ubicación.....	17
1.2 CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE INFLUENCIA AMBIENTAL A LA MINA	18
1.2.1 Topografía.....	18
1.2.2 Geología.....	18
1.2.3 Clima	18
1.2.4 Calidad del aire	19
1.2.5 Calidad de ruido	19
1.2.6 Biológica	19
1.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	24
1.3.1 Planteamiento del problema.....	24
1.3.2 Problemática	25
1.3.3 Formulación del problema	27
1.3.4 Justificación de la investigación	28
1.3.5 Hipotesis.....	28
1.3.6 Antecedentes de la investigación.....	29

CAPITULO II	32
2.1 MARCO TEÓRICO	32
2.1.1 Fundamento Teórico.....	32
2.1.2. Remoción de los metales pesados.....	33
CAPITULO III.....	523
3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	523
3.1.1 Revisión del proceso.....	53
3.1.2 Método de tratamiento con Hidroxido de Sodio.....	53
3.1.2 Situación actual del efluente de la Mina Marcapunta Oeste.....	57
CAPITULO IV.....	66
4.1 ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN DE REMOCION DEL COBRE DEL EFLUENTE DE LA MINA MARCAPUNTA OESTE	66
4.1.1 Caracterización del efluente e investigación de la remoción de los metales pesados	66
4.1.2 Evaluación de los resultados de las pruebas de remoción de los metales pesados	68
4.1.3 Separación de las aguas limpias de las contaminadas del interior mina.....	68
4.1.4 Medición de caudales.....	74
4.1.5 Adición de reactivos	74
CAPITULO V	75
5.1 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS Y DISEÑO DEL PROCESO DE REMOCION DE METALES PESADOS.....	75
5.1.1 Selección del proceso de Remoción de los Metales Pesados del efluente Minero.	75
5.1.2 Planteamiento de alternativas.....	75
5.1.3 Criterios usados en la selección de alternativas.....	76
5.1.4 Descripción de alternativa seleccionada.....	79
5.1.5 Prueba batch en vaso.....	82
5.1.6 Eficiencia de remoción.....	83

CAPITULO VI.....	86
6.1 COSTO DEL PROYECTO.....	86
6.1.1 Costo Directo de construcción de la planta.....	86
6.1.2 Criterios usados en la selección de las alternativas.....	90
6.1.3 Descripción de la alternativa seleccionada	90
6.1.4 Determinación de la capacidad de la planta en base a la información hidrológica y/o hidrogeológica.....	95
6.1.5 Precipitación del fierro.....	98
6.1.6 Coprecipitación.....	98
6.1.7 Floculación.....	99
6.1.8 Proceso de sedimentación	102
6.1.9 Composición y volúmenes de los residuos generados.....	103
6.1.10 Disposición de lodos	106
6.1.11 Ubicación de la planta.....	106
CAPITULO VII	108
7.1 DISEÑO DE LOS EQUIPOS DE LA PLANTA DE REMOCION DE METALES PESADOS DE LOS EFLUENTES DE LA MINA MARCAPUNTA OESTE	108
7.1.1 Tanque agitador de oxidación.....	108
7.1.2 Tanque de oxigeno.....	110
7.1.3 Tanque reactor.....	111
7.1.4 Tanque de preparación de lechada de cal.....	113
7.1.5 Sedimentador	114
7.1.6 Sistema de bombas.....	115
7.1.7 Disposición de residuos	116
7.1.8 Tuberías	117
7.1.9 Tanque de agua	117
CAPITULO VIII.....	118
8.1 ESTIMACIÓN DE COSTOS Y EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	118

8.1.1 Estimación del capital fijo	118
CONCLUSIONES	123
RECOMENDACIONES	126
BIBLIOGRAFIA	127

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos en las actividades minero – metalúrgicos (D.S N° 010-2010-MINAM).....	16
Tabla N° 2. Especie de flora ubicada en la zona el proyecto.....	20
Tabla N° 3 Lista de especies de fauna silvestre.....	22
Tabla N° 4. Resultados analíticos del efluente punto de control N - 1	32
Tabla N° 5. Datos de las pruebas realizadas.....	55
Tabla N° 6. Resultado del análisis de muestras de aguas	56
Tabla N° 7. Distribución multielemental de precipitados con Na(OH) 0,1N.....	57
Tabla N° 8. Resultados analíticos del efluente Marcapunta Oeste	68
Tabla N° 9. Ubicación y descripción de los puntos de control del efluente del interior de la mina Marcapunta Oeste.	70
Tabla N° 10. Resultados analíticos del efluente del interior de la mina Marcapunta Oeste.	72
Tabla N° 11. Costo directo de la alternativa A.....	81
Tabla N° 12. Resultados obtenidos durante la prueba batch.	83
Tabla N° 13. Eficiencia de remoción de los elementos metálicos.....	84
Tabla N° 14. Costo directo de la alternativa B.	87
Tabla N° 15. Cuadro comparativo de alternativas.....	98
Tabla N° 16. Concentración de los parámetros físicos y metálicos del efluente Marcapunta Oeste.....	104
Tabla N° 17. Contenido metálico en el efluente, distribución (%), hidróxido formados y contenido de lodos totales.	105
Tabla N° 18. Características de diseño de la poza de homogenización.....	109

Tabla N° 19. Características de diseño del tanque de oxidación.....	110
Tabla N° 20. Características de diseño del tanque reactor de cal.....	111
Tabla N° 21. Características de diseño del tanque de lechada de cal... ..	113
Tabla N° 22. Características de diseño del sedimentador.....	114
Tabla N° 23. Características de diseño del sistema de bombeo	116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Ubicación de la mina Marcapunta Oeste	17
Figura N° 2. Diagrama de estabilidad del Fierro	42
Figura N° 3. Diagrama de estabilidad del Cobre.	43
Figura N° 4. Precipitado aglomerado utilizando Na(OH) 0,1 N.....	54
Figura N° 5. Diagrama de flujo de la situación actual del efluente de la mina Marcapunta Oeste	65
Figura N° 6. Esquema de remoción de los metales pesados	78
Figura N° 7. Diagrama de bloques del proyecto, Remoción de Metales Pesados de los efluentes de la Mina Marcapunta Oeste.	93
Figura N° 8. Grado de solubilidad de los elementos metálicos.	97
Figura N° 9. Proceso de coprecipitación.	101

ÍNDICE DE VISTAS FOTOGRÁFICAS

Vista Fotográfica N° 1. Cámara de bombeo N° 3	60
Vista Fotográfica N° 2. CÁMARA RB-2	60
Vista Fotográfica N° 3. Toma de muestra en la cámara de turbulencia	61
Vista Fotográfica N° 4. Prueba batch en vaso. Laboratorio de la UNI, midiendo pH.	84
Vista Fotográfica N° 5. Adicionando lechada de cal al efluente.....	84
Vista Fotográfica N° 6. Agua tratada, con los precipitados en el fondo del vaso	85

ANEXOS

ANEXO 1: Cálculo de reactivos usados.

ANEXO 2: Composición y volúmenes de residuos.

ANEXO 3: Memoria de cálculo de los equipos.

ANEXO 4: Resultados analíticos – 25/06/2011.

ANEXO 5: Resultados analíticos – 12/09/2011.

ANEXO 6: Costos del proyecto.

ANEXO 7: Vistas fotográficas.

ANEXO 8: Mapas.

ANEXO 9: Planos

ANEXO 10: Curriculum Vitae

INTRODUCCIÓN

Perú, es un país minero por excelencia, cuyas actividades, se han desarrollado desde épocas pasadas, preincaica, incanato, virreinal, republicana hasta nuestros días. Si bien es cierto que actualmente la actividad minera contribuye al desarrollo de nuestro país, sin embargo generan impactos negativos y positivos, siendo los más relevantes, los impactos negativos al ambiente, porque alteran la calidad de las aguas de los cuerpos receptores, poniendo en riesgo la integridad física de los pobladores, así como la flora y fauna.

Sociedad Minera El Brocal S.A.C. (BROCAL), es una empresa minera, legalmente constituida, dedicada a la extracción, concentración y comercialización de minerales polimetálicos, tales como zinc, plomo, cobre y plata, realizando sus operaciones en la unidad minera Colquijirca.

Realiza actividades de explotación dentro de sus concesiones mineras, donde se ubica la mina Marcapunta Oeste, el desarrollo de las actividades de rutina en el año 2006, llegaron a perforar la cubierta de una bolsonada natural de agua, inundando las labores mineras, ocasionando el incremento del caudal en el DAM, hasta en 120 L/s, dicho efluente es un agua de carácter ácido, con apreciable contenido de fierro, cobre, arsénico, plomo y sólidos totales suspendidos.

El titular minero, mitiga el agua contaminada que fluye del interior de la mina, sin embargo no ha logrado remover el alto contenido de los elementos metálicos, con el

riesgo de ser sancionado por la autoridad competente, ya que efluente estaría alterando la calidad de las aguas del río Andacancha afluente del río San Juan.

La remoción de los metales pesados de los efluentes de la mina Marcapunta Oeste, requiere ser investigado, por ser un problema particular, poco usual en nuestro medio. Cuya solución permitirá, que otras empresas mineras con problemas similares, puedan resolverlo aplicando los criterios técnicos usados en la solución del presente caso.

El suscrito ha creído conveniente llevar el presente estudio de investigación, al desarrollo de la tesis “REMOCION DE METALES PESADOS DE LOS EFLUENTES DE LA MINA MARCAPUNTA OESTE”. La cual me permitirá obtener el grado de Maestro, contribuyendo de esta manera, en la formación profesional de los estudiantes de pregrado, en las diferentes especialidades de Ingeniería de nuestro país, los futuros maestros en formación académica y para que otras empresa mineras a nivel nacional, puedan mitigar sus efluentes con características similares a las de la mina Marcapunta Oeste.

ANTECEDENTES HISTÓRICOS

- En el año de 1880, el señor Manuel Clotet propietario de la mina Colquijirca, cedió la mina a su yerno, Eulogio Fernandini, quien en 1886 inicio los trabajos del socavón principal de Colquijirca, al que posteriormente se denominó “Socavón Fernandini”.
- El desarrollo de la mina de 900 m de longitud, demandó un trabajo de 13 años, lo cual permitió encontrar una serie de vetas de plata, plomo y zinc.
- En el año 1889, se instaló en la zona la fundición de Huaraucaca, para producir barras de plata.
- En 1921, la empresa Negociación Minera Eulogio E. Fernandini, cerró la fundición y la reemplazó por una planta concentradora de minerales..
- A la muerte de don Eulogio Fernandini, en 1938, sus hijos se hicieron cargo de la empresa, modificando el nombre a “Negociación Fernandini Clotet Hermanos” que incluía negocios mineros y agrícolas.
- El 7 de mayo de 1956, se cambió el nombre de la empresa a “Sociedad Minera El Brocal S.A.”.
- En 1960 se instaló el molino de barras en la planta concentradora, permitiendo que en 1962 la producción de la planta alcance a 480 t/d, siendo ampliada a 510 t/d.
- En el año 1973, mientras se continuaba con la explotación subterránea en la zona de Marcapunta Norte, se dio inicio a los trabajos a cielo abierto en la mina “Mercedes- Chocayoc”.
- En 1974 la empresa paralizó la explotación subterránea, para ampliar las operaciones a cielo abierto, permitiendo incrementar la producción a 1,000 t/d.

- Entre los años 1980 y 1981, se aumentó la producción en el tajo abierto hasta 1,500 t/d de mineral, siendo posteriormente incrementada a 2,000 t/d con la puesta en operación de un segundo tajo abierto.
- SMEB en el año 1994, dio inicio a un programa de exploraciones mediante perforaciones diamantinas, que le permitió cuantificar las reservas en las minas San Gregorio y Marcapunta Oeste.
- SMEB en el año 1996, teniendo la necesidad de incrementar las reservas de la mina Colquijirca, dio inicio a las actividades de exploración en la Mina Marcapunta Oeste.
- El 14 de abril del 2003, la empresa se convirtió en Sociedad Anónima Abierta y su razón social se modificó a Sociedad Minera El Brocal S.A.A., que es la que tiene actualmente.
- En el año 2006, se decidió ampliar nuevamente la capacidad instalada de la planta concentradora de Huaraucaca a 4,000 t/d,
- En el año 2006, Realizando actividades de rutina dentro de la mina Marcapunta Oeste, se perforó la cubierta de la napa freática de una bolsonada natural de agua, inundando las labores mineras, ocasionando el incremento del caudal del Drenaje de Agua de Mina, hasta en 120 L/s, dicho efluente es de carácter ácido, con apreciable contenido de fierro, cobre, arsénico, plomo y sólidos totales suspendidos.
- Para continuar con el proceso de exploración en la mina Marcapunta Oeste, se construyó nuevas labores mineras en paralelo a la labor existente.

OBJETIVOS

➤ Objetivo general

Evaluar el potencial de remoción de fierro, cobre y otros elementos pesados, utilizando oxígeno, solución de lechada de cal y floculante.

➤ Objetivos específicos

- Oxidar del efluente el ión ferroso a ión ferrico, mediante la adición del oxígeno del aire.
- Efectuar en forma eficiente el proceso de neutralización del efluente, mediante la adición de la lechada de cal, hasta alcanzar un pH de a 8,5 unidades, para lograr la estabilización del $\text{Fe}(\text{OH})_3$.
- Lograr que la precipitación del $\text{Fe}(\text{OH})_3$, sea eficiente para que permita la coprecipitación de los demás elementos metálicos en forma de óxidos, presentes en el efluente.
- Controlar que el proceso de sedimentación sea óptimo, a fin de obtener un agua con concentraciones de Cu, Pb, As y Mn. Cuyos valores se encuentre dentro de los Límites Máximos Permisibles, conforme a Ley.
- Separar las aguas limpias, de las contaminadas, en el interior mina.

MARCO LEGAL

➤ Constitución Política del Perú

El inciso 22 del artículo 2º, señala que toda persona tiene derecho a la paz, tranquilidad, disfrute del tiempo libre y descanso, así como gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.

Los artículos 66, 67 y 69, establecen que: Los recursos naturales, renovables y no renovables, son patrimonio de la Nación. El estado es soberano en su aprovechamiento. El estado determina la política nacional del ambiente, promueve el uso sostenible de sus recursos naturales. El estado está obligado a promover la conservación de la diversidad biológica y áreas naturales protegidas.

➤ Ministerio del Ambiente (MINAM)

Fue creado por Decreto Legislativo N° 1013 en el año 2008. Es el organismo rector de la política ambiental nacional y sectorial, tiene entre sus funciones garantizar el cumplimiento de las normas ambientales, realizando funciones de fiscalización, supervisión, evaluación y control, así como ejercer la potestad sancionadora en materia de su competencia; así como, elaborar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), de acuerdo con los planes respectivos.

La función central del Ministerio del Ambiente es formular, planificar, dirigir, coordinar, ejecutar, supervisar y evaluar la política nacional del ambiente aplicable a todos los niveles de gobierno.

➤ **Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental – OEFA**

El OEFA es el ente rector del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental. Tiene la responsabilidad de asegurar el cumplimiento de la legislación ambiental por todas las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas. Asimismo, supervisa y garantiza que las funciones de evaluación, supervisión, fiscalización, control, potestad sancionadora y aplicación de incentivos en materia ambiental, a cargo de las diversas entidades del Estado, se realicen de forma independiente, imparcial, ágil y eficiente, de acuerdo con lo dispuesto jurídicamente conforme a la Política Nacional del Ambiente.

➤ **Ministerio de Agricultura (MINAG)**

Según el Decreto Legislativo N° 997, Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Agricultura, este ministerio ejecuta la Política Nacional Agraria, ejerciendo tal responsabilidad en concordancia con la normativa constitucional y legal del Estado.

En su artículo 4.2 señala que el Sector Agrario comprende las tierras de uso agrícola, de pastoreo, las tierras forestales, las eriazas con aptitud agraria, los recursos forestales y su aprovechamiento; la flora y fauna; los recursos hídricos; la

infraestructura agraria; las actividades de producción, de transformación y de comercialización de cultivos y de crianzas; y los servicios y actividades vinculados a la actividad agraria como la sanidad, la investigación, la capacitación, la extensión y la transferencia de tecnología agraria, conforme a la Política Nacional Agraria y a lo establecido en la Constitución Política del Perú, demás leyes vigentes y su Reglamento de Organización y Funciones.

➤ **Autoridad Nacional del Agua (ANA)**

La ANA fue creada por la Primera Disposición Complementaria Final del Decreto Legislativo N° 997, como parte del proceso de reforma del Poder Ejecutivo.

De acuerdo con lo dispuesto en la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, la ANA es un organismo público adscrito al Ministerio de Agricultura responsable de dictar las normas y establecer los procedimientos para la gestión integrada y sostenible de los recursos hídricos y constituye el ente rector y la máxima autoridad técnico-normativa del Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos – SNGRH.

La ANA se encuentra encargada de elaborar la Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos y el Plan Nacional de Recursos Hídricos, y está facultada a imponer sanciones (amonestación, multa, inmovilización, clausura o suspensión) por las infracciones que se determinarán mediante Decreto Supremo.

➤ **Dirección General de Salud Ambiental**

La Dirección General de Salud Ambiental es el órgano de línea técnico-normativo del Ministerio de Salud, en los aspectos relacionados a la protección del ambiente, saneamiento, y salud ocupacional; además, concierta el apoyo para el cumplimiento de las normas de salud con los organismos públicos o privados que tienen responsabilidades en el control del ambiente, según el artículo 25 de la Ley del Ministerio de Salud, Ley 27657, y el artículo 55 del Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio de Salud, Decreto Supremo 014-2002-SA..

Son competencias de DIGESA: regular, supervisar, controlar y evaluar servicios sanitarios básicos, higiene alimenticia y control de las enfermedades transmitidas por los animales; regula la salud ocupacional; regula y establece las condiciones técnicas relativas a la calidad biológica, química y física del agua para el consumo humano; aplica sanciones por la violación de normas sobre la calidad de las aguas; supervisa la gestión y manejo de residuos sólidos; entre otras.

➤ **Código Penal Decreto Legislativo N° 635. (03/04/1991)**

El que, infringiendo las normas sobre protección del medio ambiente, lo contamina vertiendo residuos sólidos, líquidos, gaseosos o de cualquier otra naturaleza por encima de los límites establecidos, y que causen o puedan causar perjuicio o alteraciones en la flora, fauna y recursos hidrobiológicos, será reprimido con pena privativa de la libertad, no menor de uno ni mayor de tres años o con ciento ochenta a trescientos sesentaicinco días-multa, artículo 304°.

➤ **Ley General del Ambiente – Ley N° 28611. (13/10/2005)**

Norma ordenadora del marco normativo legal para la gestión ambiental en el Perú y establece: En el artículo 1°, establece que toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado, para el pleno desarrollo de la vida y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país.

Toda actividad humana que implique construcción, obras, servicios y otras actividades, así como las políticas, planes y programas públicos susceptibles de causar impactos ambientales de carácter significativo, está sujeta, de acuerdo a Ley, al Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental – SEIA.

➤ **Ley Marco para el Crecimiento de la Inversión Privada. Decreto Legislativo N° 757 (13/11/1991)**

“Las autoridades sectoriales competentes para conocer sobre los asuntos relacionados con la aplicación de las disposiciones del Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales son los ministerios de los sectores correspondientes a las actividades que desarrollan las empresas.

De acuerdo al artículo 52°, se tendrá en cuenta los procedimientos que hagan desaparecer el riesgo o lo disminuyan a niveles permisibles, estableciendo para el efecto los plazos adecuados en función a su gravedad e inminencia.

➤ **Ley de Salud. Ley N° 26842 (20/07/1997)**

Esta norma establece que: La protección del ambiente es responsabilidad del estado y de las personas naturales y jurídicas, los que tienen la obligación de mantenerlo dentro de los estándares, para preservar la salud de las personas, artículo 103°.

Toda persona natural o jurídica, está impedida de efectuar descargas de desechos o sustancias contaminantes en el agua, el aire o el suelo, sin haber adoptado las precauciones de depuración en la forma que señalan las normas sanitarias y de protección del ambiente, artículo 104°.

Cuando la contaminación del ambiente signifique riesgo o daño a la salud de las personas. La autoridad de la salud a nivel nacional dictará las medidas de prevención y control indispensables para que cesen los actos o hechos que ocasionan dichos riesgos y daños, artículo 106°.

➤ **Ley de Recursos Hídricos – Ley N° 29338.(23/03/2009)**

Ley que regula el uso y gestión de los recursos hídricos. Comprendiendo el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a esta. Se extiende al agua marítima y atmosférica en lo que resulte aplicable.

La norma establece los principios que rigen el uso y gestión integrada de los recursos hídricos, disposiciones sobre el dominio y uso público sobre el agua, el agua comprendida en la Ley, los bienes de dominio público hidráulico, los bienes artificiales de propiedad del estado asociado al agua.

➤ **Ley General de Residuos Sólidos – Ley N° 27314. (21/07/2000)**

La presente Ley establece derechos, obligaciones, atribuciones y responsabilidades de la sociedad en su conjunto, para asegurar una gestión y manejo de los residuos sólidos, sanitaria y ambientalmente adecuada, con sujeción a los principios de minimización, prevención de riesgos ambientales y protección de la salud y el bienestar de la persona humana, artículo 1°.

La gestión y el manejo de los residuos sólidos de origen industrial, agropecuario, agroindustrial o de instalaciones especiales, que se realicen dentro del ámbito de las áreas productivas e instalaciones industriales o especiales utilizadas para el desarrollo de dichas actividades, son regulados, fiscalizados y sancionados por los ministerios u organismos regulatorios o de fiscalización correspondiente artículo 6°.

➤ **Reglamento de Ley de Residuos Sólidos - D.S N° 057-2004-PCM y su modificatoria (Decreto Legislativo N° 1065 del 28/06/2008)**

Tiene por objeto asegurar que la gestión y el manejo de los residuos sólidos sean acopiados para prevenir riesgos sanitarios, proteger y promover la calidad ambiental, la salud y el bienestar de la persona humana.

Los generadores de residuos sólidos del ámbito no municipal podrán disponer sus residuos dentro del terreno de las concesiones que se le han otorgado o en áreas libres de sus instalaciones industriales, siempre y cuando sean concordantes con las normas sanitarias y ambientales y cuando cuenten con la respectiva autorización. Sin embargo, cuando el tratamiento o disposición final de los residuos sólidos se realice fuera de las instalaciones del generador, éstos deberán ser manejados por una empresa prestadora de Servicio de Residuos Sólidos (EPS-RS) que utilice una infraestructura de residuos sólidos debidamente autorizada.

Establece que los residuos del carácter peligroso y no peligroso, generados en las áreas productivas e instalaciones industriales o especiales, no estando comprendidos los similares a los residuos domiciliarios y comerciales generados en dichas actividades.

Asimismo, establece como resultado para la presentación de proyectos de infraestructura de residuos como rellenos sanitarios y rellenos de seguridad, el proyecto deberá contar con un plan de cierre y post-cierre.

➤ **D.S. N° 055-2010-EM: Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería y medidas complementarias. 21/08/2010.**

Se creó con la finalidad de enmarcar adecuadamente los aspectos referidos al bienestar, escuelas, recreación, servicios de asistencia social y salud, no considerados en el anterior reglamento, incorporando nuevos conceptos técnicos, así como mecanismos que permitan conocer la situación de la estabilidad química y física de los depósitos de relaves, desmonte y pilas de lixiviación que se encuentren en operación, esta norma derogó al D.S. N° 046-2001-EM.

➤ **Guías Ambientales del Ministerio de Energía y Minas**

La Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros (DGAAM) del Ministerio de Energía y Minas (MEM), ha elaborado una serie de guías ambientales, que permiten contar con los lineamientos y recomendaciones para la elaboración del presente Plan de Cierre de Mina. A continuación se presenta la relación de las referidas guías ambientales:

- Guía ambiental para el manejo de aguas en las operaciones minero-metalúrgicas, R.D. N° 035-95-EM/DGAA (26/09/1 994).
- Guía ambiental para el manejo de drenaje ácido en minas, R.D. N° 035-95-EM/DGAA (26 septiembre 1995).

➤ **Estándares Nacionales de Calidad de Agua. Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM**

Establece, los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, con el objetivo de establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. Los estándares aprobados son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural y son obligatorios en el diseño de las normas legales y las políticas públicas siendo un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

➤ **Límites máximos permisibles, Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, (20/08/2010). Efluentes de las Actividades Minero – Metalúrgica**

Establece los niveles máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos en las actividades minero-metalúrgicas. Ver Tabla N° 4.

Tabla N° 1. Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos en las actividades minero – metalúrgicos (D.S N° 010-2010-MINAM).

Parámetros	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el promedio anual
pH	--	6 -9	6 -9
Sólidos totales en suspensión	mg/L	50	25
Aceites y grasas	mg/L	20	16
Cianuro total	mg/L	1	0,8
Arsénico total	mg/L	0,1	0,08
Cadmio total	mg/L	0,05	0,04
Cromo hexavalente(*)	mg/L	0,1	0,08
Cobre total	mg/L	0,5	0,4
Hierro (disuelto)	mg/L	2	1,6
Plomo total	mg/L	0,2	0,16
Mercurio total	mg/L	0,002	0,0016
Zinc total	mg/L	1,5	1,2

CAPITULO I

1.1 UBICACIÓN

Políticamente la mina Marcapunta Oeste, se encuentra ubicado en el distrito de Tinyahuarco, provincia y departamento de Pasco. En las coordenadas UTM: 8 809 615 y Este: 360.055, a una altitud de 3 400 m.s.n.m. Dentro de las concesiones mineras de Sociedad Minera El Brocal S.A.C.

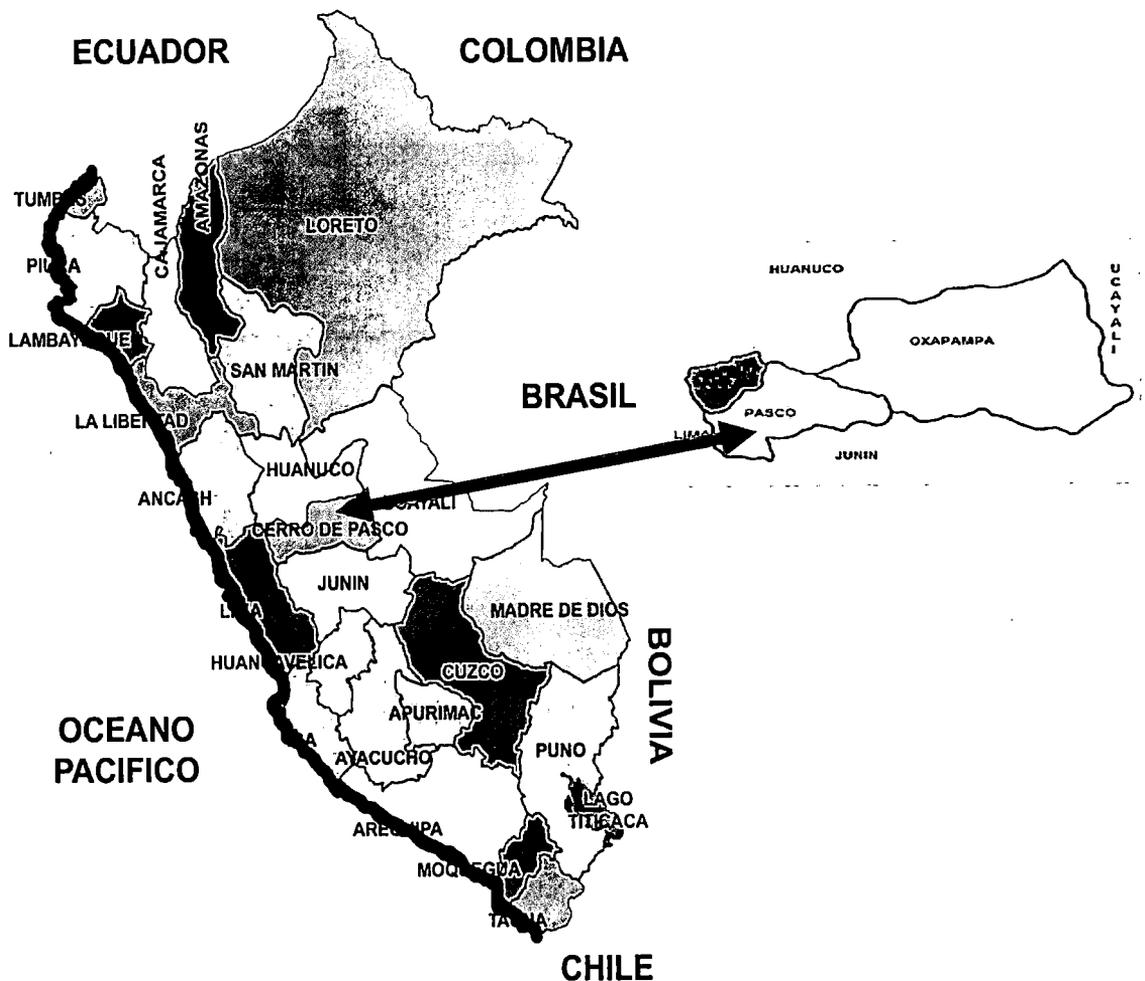


Figura N° 1. Ubicación de la mina Marcapunta Oeste.

1.2 CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE INFLUENCIA AMBIENTAL DE LA MINA

1.2.1 Topografía

Morfológicamente, se caracteriza por tener una topografía relativamente suave y cotas que varían entre los 4 180 y 4 428 m de altitud.

1.2.2 Geología

En las inmediaciones de la mina afloran rocas de los períodos Devónico Hasta el Terciario. El grupo Excélsior del Devónico está expuesto en un valle anticlinal entre los cerros Condorcayán y Vista Alegre. Esta formación está compuesta por pizarras, filitas y cuarcitas que muestran un rumbo NNW y un buzamiento casi vertical.

1.2.3 Clima

➤ *Temperatura*

La temperatura mínima llega hasta - 3 °C en los meses de febrero y marzo y la máxima en los meses de julio, octubre y noviembre (18°C), respectivamente.

➤ *Precipitación*

La precipitación promedio en la zona es 1 119,12mm y corresponde al mes de diciembre, mientras que la mínima es de 23,57mm, en el mes de julio.

➤ *Humedad relativa*

La humedad relativa promedio más alta en el mes de julio del año 2002 fue de 86,69% para el mes de diciembre, la mínima es 73,84%, y la media mínima fue de 42,4% en junio del 2002 y la máxima es 97,6% para diciembre, del año 2010.

1.2.4 Calidad del aire

La calidad del aire dentro del área de influencia donde se ubica la mina, presenta valores de PM10, Pb, Zn, As y SO₂, dentro de los niveles máximos permisibles, establecidos Estándar de Calidad de Aire D.S. N° 074-2001, D.S. N° 069-2003-PCM y el D.S. N° 003-2008-MINAM (PM_{2,5}, SO₂ y H₂S) y la R.M. N° 315-96-EM/VMM. (2).

1.2.5 Calidad de ruido

Los resultados analíticos, indican que los valores de ruido dentro del área de influencia, se encuentran por debajo de las normas legales vigentes.

1.2.6 Biológica

1.2.6.1 Flora

De acuerdo a lo establecido a la clasificación internacional y cartografía de la vegetación (UNESCO, 1973). Se ha reconocido las siguientes formaciones vegetales:

- Pajonal o Estepa de gramíneas; Césped de puna; Bofedales. (2).

➤ **Identificación y listado de especies**

La flora registrada pertenece a 13 familias y 39 especies. Ver Tabla N° 5.

Tabla N° 2. Especie de flora ubicada en la zona el proyecto.

FAMILIA	ESPECIE	NOMBRE COMÚN
Briofitas	Sphagumsp	Musgo
	BacharisSpinosa	Tola
	ChuquiurogaSpinosa	Huamanpinta
	Cutulaaustralius	----
	Cuatrecasasiellaisernii	----
	Erigeronrosulatus	----
Asteraceae	Hypochaerystaraxacoides	Pili
	Luciliakunthiana	Wirawira
	Paranehheliuovatus	Cuchipánicunam
	Seneciobreviscapus	Pañashpañash
	Werneriacespitosa	Papila
	Wernerianubigena	---
	Weneriapygmaea	----
Brassicaseae	BrabaCryptantha	----
	Elecocharisalbibrateata	Chucro pasto
	Phylloscirpusdeseroticola	----
Fabaceae	Astragalus garbancillo	Garbancillo
Gentianaceae	Gentianasedifolia	Penqapenqa
	Erodiumcicutarium	Tenedorcito
Geraniaceae	Geraniumsessiliflorum	Ojotilla
Iridaceae	Sisyrinchiumsp	---
Juncaceae	Distichiamuscoides	Champa estrella
Plantaginaceae	Plantagorigida	Tsampa estrella

FAMILIA	ESPECIE	NOMBRE COMÚN
	Plantagolamprophylla	Llantén
	Plantago tubulosa	---
	Aciachnepulvinata	Pampa Casha
	Agrostisbreviculmis	----
Poaceae	Calamagostis antoniana	----
	Calamagostischryssantha	----
	Calamagostisrigensens	----
	Calamagostisvicunarum	Crespillo
	Festucarigescens	----
	Muhlenbergiasp.	----
Polygonaceae	Pasalumpygmeaum	----
Portuacaceae	Stipaichu	Ichu
Rosaceae	Muehlenbeckiavolcanica	Mullaca
	Calandriniaocaulis	----
	Alchemillapinnata	Sillupillu
	Margiricarpuspinnatus	Canlla

1.2.6.2 Fauna

➤ *Identificación y listado de especies*

Se identificaron 32 especies de fauna silvestre en el área de estudio, 6 son mamíferos (4 silvestres y 2 domésticos), 23 especies de aves, 2 especies de reptiles, así como 2 géneros de anfibios; agrupados en 12 órdenes y 20 familias. En la Tabla N° 6, se presenta la lista taxonómica completa. (2).

Tabla N° 3. Lista de Especies de Fauna Silvestre

ORDEN	FAMILIA	ESPECIE	NOMBRE COMUN
CLASE MAMIFEROS			
PseudalopexCulp aeus	Canidae		Zorro Andino
ConepatusSemies triatus	Mephitidae		Zorrillo
Oris Aries	Bovidae		Oveja
Bos Taurus			Vacuno
Akodonsp	Muridae		Ratón
Phyllotissp			Ratón Silvestre
CLASE AVES			
Tinamiforme	Tinamidae	TinamotisPentlandii	Perdiz
Ciconiformes	Ciconidae	PlegadisRidgwayi	Yanavico
Anseriformes	Anatidae	AnasGeorgica	Pato Maicero
		Anas Puna	Pato Puna
	Accipitridae	ButeoPoecilochrus	Aguilucho Cordillerano
		GeranoaetusMelanoleuc us	Aguilucho Grande
Falconiformes	Falconidae	Falco Emoralis	Halcon

ORDEN	FAMILIA	ESPECIE	NOMBRE COMUN
		Falco sparverius	Cernicalo
		Phalcoboenus megalopterus	Chinalinda
Charaidiiformes	Charadriidae	Vanellusresplansens	Lique lique
	Laridae	Larusserranus	Gaviota serrana
	Scolopasidae	Tringasp	Tringa
Piciformes	Picidae	Colaptesrupicola	Carpintero serrano
Passeriformes	Furnaridae	Geosittacurnicularia	Pampero
		Cinclodesfuscus	Churrete de alas con bandas
		Cinclodesatacamensis	Churrete castaño o alas blancas
	Tyrannidae	MuscisaxicolaJuninensis	Dormilona
		Lessoniaoreans	Negrito
	Hirundinidae	Notiochelidoncyanoleuca	Golondrina
	Fringillidae	Sicalisuropygialis	Jilguero cara gris
	Emberizidae	Phrygilusplebejus	FringiloPechicenizo
		Phrygilus unicolor	Fringilo Plomizo
		Zonotrichacapensis	Gorrión Americano

ORDEN	FAMILIA	ESPECIE	NOMBRE COMUN
CLASE REPTILES			
Squamata	Tropiduridae	Tropidurussp	Lagartija
		Stenocercussp	Lagartija
CLASE ANFIBIOS			
Anura	Bufoidae	Bufo sp	Sapo

1.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Planteamiento del problema

La mina Marcapunta Oeste es subterránea, actualmente se realizan operaciones de exploración. En el año 2006, durante el desarrollo de actividades mineras de rutina, perforaron la cubierta natural de agua, inundando las labores inferiores de la mina, actualmente continua drenando agua, cuyo caudal aproximado es de 120 L/s. Dicho efluente es de carácter ácido, por tener un pH de 5,0 unidades, 240 mg/L de Sólidos Totales en Suspensión (STS) y contenidos metálicos pesados de Hierro de 59,25 mg/L, Arsénico 1,852 mg/L, Plomo 0,29 mg/l y Zinc 0,146 mg/L.

Actualmente el titular minero trata al efluente minero, adicionando reactivos como la lechada de Cal, Sulfuro de Sodio, sin embargo el efluente continua siendo ácido porque tiene un pH de 5,6 unidades, con presencia de 1,97 mg/l de cobre y 5,73 mg/L de

fierro, alterando la calidad del riachuelo Andacancha, contaminando la flora, fauna y poniendo en riesgo la integridad física de las personas que se ubican aguas abajo. El citado riachuelo es afluente del río San Juan y esta última forma parte de la cuenca del lago Junín.

➤ ***Comentarios***

- La preparación de reactivos no cuentan con sistema de agitación.
- La concentración de los reactivos no es homogénea.
- No existe un control de pH constante (8.5 Unidades), en el efluente.
- El efluente final es ácido y está contaminado con elementos metálicos pesados como cobre, fierro y arsénico.
- El citado efluente, altera la calidad del agua del riachuelo Andacancha, poniendo en riesgo la flora, fauna y personas que habitan aguas abajo.
- No cumple con lo establecido en el Decreto Supremo 010-2010-MINAM.

1.3.2 Problemática

Los metales pesados ejercen efectos biológicos que pueden ser beneficiosos o perjudiciales para los seres humanos. No son biodegradables y se acumulan en los organismos, causando enfermedades y trastornos (Inglezakis et al., 2003), razón por la cual han sido catalogados como una clase emergente de cancerígenos humanos (Farajzadeh y Monji, 2004).

El efluente que fluye del interior de la bocamina Marcapunta Oeste, estaría ocasionando una serie de impactos a la calidad del agua que richueloAndacancha, el cual es afluente del río San Juan, por presentar concentraciones con valores mayores a los Límites Máximos Permisibles establecidos en la actual norma legal vigente. Dentro de ellos el Cu, Pb, As, Mn. Dichos elementos metálicos estarían poniendo en riesgo la flora y fauna que existe en el cauce del richuelo y área adyacente del citado río, de igual manera a las personas y animales que hacen uso de dichas aguas. poniendo en riesgo la salud de los pobladores, ubicados aguas debajo de la citada mina. Dentro de ellos tenemos al Cobre el cual es un elemento necesario para la vida humana. Y al igual que cualquier otro metal pesado, puede resultar potencialmente tóxico bajo ciertas concentraciones (Yu et al., 2000). Entre las enfermedades asociadas a la presencia de cobre en el organismo humano se encuentran un caso de neurotoxicidad denominada como enfermedad de “Wilson”, problemas en el riñón (Meena et al., 2005) y cáncer al pulmón (Yu et al., 2000).

El zinc, es reconocido como un nutriente esencial, pero puede tener efectos adversos si su disponibilidad, en el suelo, excede ciertos valores umbrales. Este elemento es utilizado en la manufactura del zinc blanco, en diferentes aleaciones con metales, preparación de oro y plata por el método de cianuración, y en forma de sales de zinc como preservante de madera, papel fotográfico, fertilizantes, pigmentos, producción de acero y baterías. La toxicidad por la ingestión de zinc es poco común, pero puede generar problemas intestinales (Meena et al., 2005).

1.3.3 Formulación del problema

La mayoría de las minas de nuestro país, generan drenaje ácido de mina (DAM), al dejar libre los sulfuros durante el proceso de explotación y ponerlo en contacto con el agua y oxígeno del aire, efluentes que se caracterizan por ser ácidos al tener un pH con valores menores al Límite Permisible, establecido por la norma legal vigente, con altos contenidos de sólidos totales en suspensión y elementos metálicos tales como el Hierro, Cobre, Plomo Zinc y Arsénico; los cuales al no ser tratados en forma adecuada y ser vertidos al ambiente, estarían contaminando las aguas superficiales ubicadas aguas abajo. ¿Será factible la remoción de los elementos metálicos, del efluente que proviene de la mina Marcapunta Oeste, con alguna alternativa de fácil aplicación, que permita remover los elementos contaminantes en forma eficiente?

1.3.4 Justificación de la investigación

La presente investigación,

se justifica porque se pretende tratar el agua ácida del interior de la mina citada, hasta incrementar el pH al valor establecido en la norma vigente; así como disminuir los STS y elementos metálicos a valores por debajo de los Límites Máximos Permisibles, a fin de evitar la alteración de las aguas del riachuelo Andacancha.

1.3.5 Hipótesis

Considerando los siguientes fundamentos teóricos:

- La capacidad de oxidación que tiene el Oxígeno, al pasar el iónférrico a férrico
- La propiedad de neutralización que tiene la lechada de cal al adicionarle al efluente oxidado.
- La propiedad que tiene el floculante, de formar floculos que permitan la precipitación del elemento fierro y coprecipitación de los otros elementos metálicos.
- La propiedad del sedimentador, para precipitar las partículas sólidas del efluente minero neutralizado.

Se plantea la siguiente hipótesis de trabajo:

- Homogenizar el efluente que proviene del interior de la mina Marcapunta Oeste, en un tanque de concreto armado, para luego bomberlo y conducirlo hasta los tanque de oxidación, con sistema de agitación, al cual se adiciona Oxígeno del ambiente con la finalidad de oxidar el ión ferroso que se encuentra en el efluente citado, a ión férrico. Continuando con el proceso el efluente es conducido por gravedad hacia el tanque reactor de cal, donde se adiciona lechada de cal, a fin de elevar el pH desde 5.0 unidades hasta 8.5 unidades. A este pH el ión férrico forma con la lechada de cal el hidróxido de fierro III, el cual es un compuesto estable y en estas condiciones inicia su precipitación, coprecipitando o llevando consigo los elementos metálicos de Cu, Pb, As, Mn y otros elementos. Finalmente el efluente es conducido por gravedad hasta el sedimentador donde las partículas sólidas que flocculan por adición del floculante precipitan en el fondo del sedimentador, obteniendo de esta manera un efluente limpio que cumple como los estándares de calidad para una agua de clase 3.

1.3.6 Antecedentes de la investigación

En el año 2006, durante el desarrollo de las actividades rutina de exploración en lamina Marcapunta Oeste, por accidente se llegó perforar la envoltura del agua subterránea, llegando a inundar las labores inferiores, dicho efluente es una agua

ácida, con altos contenidos de Sólidos Totales Suspendidos y valores de elementos metálicos pesados (Cu, Fe, P y As), superiores a los niveles permisibles establecidos en la norma legal vigente, el cual estaría alterando la calidad de las aguas del riachuelo Andacancha, poniendo en riesgo la flora y fauna. Así como la salud de los pobladores y animales ubicados aguas abajo del citado riachuelo. De otro lado el titular minero no estaría cumpliendo con la normatividad vigente, por lo cual podría ser sancionado, conforme a Ley.

El Brocal, viene tratando las aguas contaminadas en el interior de la mina, desde la cámara Crucero 597, donde confluyen las aguas de las labores inferiores y otras labores adyacentes mediante la adición de 300 cc/min de lechada de cal y 250 cc/min de sulfuro de sodio, los reactivos citados no son agitados en forma constante para mantener la concentración de las soluciones citadas en forma homogénea, que permita remover los elementos metálicos pesados en forma eficiente.

En los sedimentadores N° 1 y 2, se adiciona nuevamente 200 cc/min de lechada de cal y 150 cc/min de Sulfuro de Sodio. A la salida de la bocamina, en los 2 tanques de acero al carbón se vuelve adicionar 150 cc/L de sulfuro de sodio. El efluente es conducido por un canal de concreto armado hacia los tres sedimentadores, a la entrada del primer sedimentador se vuelve adicionar 300 cc/min de floculante. Obteniendo finalmente un agua aún contaminada con un pH igual a 6,2 unidades, presencia de contenidos de cobre igual a 1,85 mg/L y fierro 2,10 mg/L.

Con la finalidad de remover dichos elementos metálicos pesados, se desarrolló el plan de investigación siguiente: Oxidar el efluente ácido que proviene del interior de la mina citada, mediante la adición de oxígeno, para luego neutralizarlo con lechada de cal, hasta alcanzar un pH de 8,5 unidades, donde los hidróxidos formados son estables, seguido de adición de floculante y sedimentación final, se logró obtener una agua con un pH de 7,1 unidades, remover los elementos metálicos pesados a valores por debajo de lo que establece la norma legal vigente y una eficiencia de remoción superior al 90%.

CAPITULO II

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Fundamento teórico

Está orientado al análisis de los iones del efluente proveniente del interior de la mina Marcapunta Oeste, donde podemos observar que el caudal en el punto N-1 es de 120 L/s, con un pH igual a 5.0 unidades y sólidos totales suspendidos 240 mg/L, con un contenido de elementos metálicos pesados con concentraciones cuyos valores son superiores a lo establecido el Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, dentro de ellos el fierro con 59.25 mg/L, cobre 13.52 mg/L, Arsénico 1.853 mg/L, como se muestra en la tabla N° 7.

Tabla N ° 4. Resultados analíticos del efluente punto de control N – 1.

Puntos de control	Caudal L/s	pH	STS mg/L	As mg/L	Cd mg/L	Cu mg/L	Fe mg/L	Pb mg/L	Zn mg/L	Mn mg/L
N-1	120,0	5,0	240	1,852	0,001	13,52	59,25	0,296	0,146	0,114
DS-010-2010-MINAM*		6-9	50	0,1	0,05	0,5	2,0	0,2	1,5	...

De lo señalado en la tabla anterior podemos observar que el pH y la presencia de los metales pesados en el efluente citado, nos induce a realizar una remoción de los elementos metálicos pesados citados.

2.1.2 Remoción de los metales pesados

Actualmente existe una serie de procesos químicos, que son utilizados para remover los metales pesados, entre los que se encuentran la precipitación química (Matlock *et al.*, 2002), la filtración por medio de membranas (Blocher *et al.*, 2003), la reducción electrolítica (Beauchesne *et al.*, 2005), la extracción por medio de solventes (Silva *et al.*, 2005), el intercambio iónico (Dabrowski *et al.*, 2004), y la adsorción (Dabrowski, 2001). Algunas de estas tecnologías no son aplicables en todas las situaciones, debido a una serie de inconvenientes tales como: baja eficiencia y aplicabilidad a una amplia gama de contaminantes, generación de residuos (Dal Bosco *et al.*, 2005), dificultad de encontrar condiciones óptimas de operación cuando se presentan distintos metales pesados en una solución (Santos y de Oliveira, 2003) y la necesidad de pretratamientos (Wang *et al.*, 2003). (7).

En el presente estudio, para remover los elementos metálicos pesados del efluente de la mina Marcapunta Oeste, se hará uso del proceso que comprende las etapas siguientes: homogenización, oxidación, neutralización, Ccoagulación – sedimentación. Obteniendo de esta manera un efluente con concentraciones de elementos metálicos pesados con valores inferiores a lo que establece la norma señalada en los párrafos anteriores. Para

unmejor entendimiento se describirá cada una de las etapas del proceso de remoción de los metales pesados de la mina Marcapunta Oeste:

2.1.2.1 Homogenización:

Se realiza en una poza de concreto armado, con la finalidad de mezclar bien el efluente y lograr una mezcla homogénea y alcanzar un pH y concentración de elementos metálicos uniformes, antes de ingresar al proceso de Oxidación.

➤ Diseño de la poza de homogenización:

- ✓ La poza de homogenización, será diseñada para tratar un caudal 120 L/s (864 m³), será construido de concreto armado, cuyas paredes tendrán un ancho de 0,25 m, se usará fierro corrugado de 5/8 pulgada respectivamente, la mezcla del concreto será de piedra chancada y arena gruesa al 50 %. Malla total cada 0,20 m, en ambos sentidos y en el piso, la potencia del concreto será de 280 Kg/cm².
- ✓ Se asume tiempo de residencia 2 h,
- ✓ Para efectos de diseño, se considera un 10 %, más al volumen original, por seguridad.
- ✓ Volumen de diseño

$$VD = A \times h$$

Relación $L/a = 4$, entonces $L = 4 a$. Donde L = longitud, a = ancho.

Profundidad de la poza se asume en 2 m, siendo la altura total igual a:

- ✓ Calculo de la velocidad del flujo (Vf):

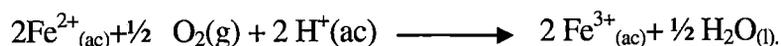
$V_f = Q/a \times h$, reemplazando datos tenemos:

2.1.2.2 Oxidación:

La oxidación es una reacción química donde un metal o un no metal ceden electrones y por tanto aumenta su estado de oxidación. La reacción química opuesta a la oxidación se conoce como reducción, es decir cuando una especie química acepta electrones. Estas dos reacciones siempre se dan juntas, es decir, cuando una sustancia se oxida, siempre es por la acción de otra que se reduce. Una cede electrones y la otra los acepta.

La etapa de oxidación durante la remoción de los metales de la mina Marcapunta Oeste, se realiza en dos tanques cilíndricos, con sistema de agitación, el efluente es conducido desde la poza de homogenización, mediante un sistema de bombeo hacia los tanques citados, donde se adiciona el oxígeno acumulado en el tanque pulmón, con la finalidad de oxidar el ión ferroso a ión férrico. Como se aprecia en la ecuación siguiente:.

➤ Ecuación del proceso de oxidación:



➤ **Energía de formación del proceso de oxidación (E°):**

La energía de formación durante el proceso de oxidación de Fierro II a Fierro III, se da a conocer a continuación.

$$E^\circ = 1,23 - 0,77 = 0,46 \text{ Voltios}$$

$$E^\circ (\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) = 0,77 \text{ Voltios}$$

Este último proceso es lento por lo que el producto de la oxidación del hierro metálico con ácidos en medio acuoso produce disoluciones de hierro (2^+) que son lentamente oxidadas en condiciones aeróbicas a hierro (3^+). Cuya energía de formación es de 0.77V. Cuya energía de formación es de 0.77V. Cuya energía de formación es de 0.77V. Cuya energía de formación es de 0.77V.

➤ **Diseño de los tanques de oxidación:**

✓ Concentración del $\text{Fe}^{+2} = 59,25 \text{ mg/L}$

✓ Cantidad de Fe^{+2} que se genera por día.

$$\text{Efluente m}^3/\text{día} \times \text{concentración de Fe mg/L} \times 1\,000 \text{ L/m}^3 \times 1 \text{ Kg}/10^6 \text{ mg} = \text{Kg/día Fe}^{+2}.$$



✓ Consumo de Oxígeno

Por regla de tres se tiene que:

$$(\text{Kg/día Fe}^{+2}) / (7\text{Kg Fe}^{+2}) / 1 \text{ Kg O}_2 = \text{Kg O}_2$$

La densidad del Oxígeno es: $1,429 \text{ Kg/m}^3$

El volumen molar del Oxígeno es: $17,36 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}$

Cálculo del Oxígeno que se consume por día.

$$Q_{O_2} = \text{Kg } O_2/\text{día} / 1,429 \text{ Kg/m}^3 = \text{m}^3/\text{día}$$

- ✓ Dimensionamiento del tanque de oxidación

$$\text{Caudal } Q = L/s$$

$$Q_T = Q_{O_2} + Q = \text{m}^3/\text{día} + \text{m}^3/\text{día} = \text{m}^3/\text{día}$$

- ✓ Tiempo de contacto entre el efluente y el O_2 , para oxidar el F^{+2} a F^{+3} , se estima en 20 min.

- ✓ Cálculo del volumen del tanque

$$V = Q \times t$$

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

- ✓ Para efectos de diseño, se considera un 10 %, más al volumen original, por seguridad.

Se considera 2 tanques de oxidación, los cuales trabajarán en paralelo.

El tanque es de forma cilíndrica, se asume que la relación $D = h$. Entonces el

- ✓ Volumen del tanque queda establecido:

$$V_D = A \times h:$$

$$A = 0,3927 \times D^2$$

$$V = (0,3927 \times D^2) \times D \dots \dots \dots \text{Resolviendo se tiene:}$$

$$D = \text{m.}$$

$$h_t = h + \text{Borde libre} = \text{m}$$

- ✓ *Cálculo del agitador mecánico*

Se selecciona un agitador de turbina de 6 paletas planas.

- ✓ Diámetro del impulsor (d)

Se estima en un tercio el diámetro del tanque.

$$D = D_t/3 = m.$$

- ✓ Altura del impulsor sobre el fondo (h')

Se asume igual al diámetro del impulsor.

$$h' = d_i \text{ m}$$

- ✓ Ancho de la paleta (b)

Se asume la quinta parte del diámetro del impulsor

$$b = d_i/5 \text{ m.}$$

- ✓ Longitud de la paleta del impulsor (B)

Se asume la cuarta parte del diámetro del impulsor

$$B = d_i/4 \text{ m.}$$

- ✓ Ancho de los deflectores (e)

Se considera la décima parte del diámetro del tanque

$$E = D_t/10 \text{ m.}$$

- ✓ Número de deflectores

El número de deflectores en el tanque de oxidación, son 4 montados desde el fondo hasta la superficie del tanque.

- ✓ Diámetro del disco central (a)

Se considera la cuarta parte del diámetro del tanque.

$$A = D_t/4 \text{ m}$$

- ✓ Cálculo de la potencia requerida

$$P = G_2 \times \mu \times V = K_w$$

- ✓ Cálculo de la velocidad de agitación

$$N = (P/K \times \rho \times d_5)^{1/3} N = \text{r.p.m.}$$

2.1.2.3 Neutralización:

El efluente oxidado de Marcapunta Oeste, se transfiere a dos tanque reactores de lechada de cal, los cuales cuentan con un sistema de agitación, donde se adiciona lechada de cal, hasta que alcance un pH igual a 8,5 unidades, punto en el cual los hidróxidos de fierro III formados, son químicamente estables, dando inicio a la precipitación de los Hidróxidos de fierro III, coprecipitando al mismo tiempo los demás elementos metálicos pesados en forma de óxidos. Dentro de ellos el Cu, Pb y As. El cual está controlado por el estado de oxidación e hidrolisis de los sulfuros. A continuación se da a conocer la formación de los hidróxidos de fierro y oxidación del cobre respectivamente, al adicionar al efluente la lechada de cal.

➤ Hidróxido de fierro III

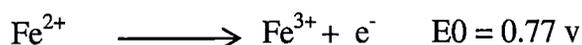


➤ Potencial redox

A diferentes concentraciones de fierro presente en el efluente, pH y condiciones redox. A partir de la ecuación de Nernst, y para una reacción a temperatura ambiente, donde intervienen A, B, C, D, podemos llegar a la expresión Siguiente:

$$Eh = E^0 + \frac{0.059}{n} \log \frac{[C]^x [D]^y}{[A]^a [B]^b}$$

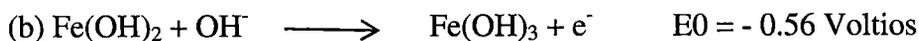
Donde n es el número de electrones que intervienen en la reacción. Si analizamos por ejemplo el caso de hierro podremos construir el siguiente sistema (Fig. 1):



Esta ecuación es independiente del pH, de tal manera que sobre la recta de pendiente 0 cualquier razón $[\text{Fe}^{3+}]/[\text{Fe}^{2+}] > 1$. La recta sin embargo no puede ser trazada indefinidamente hacia la derecha, ya que dependiendo de la concentración de hierro, éste empezará a precipitar como $\text{Fe}(\text{OH})_3$ alrededor de pH 3. De esta manera necesitamos de otra reacción, en medio ácido:



Pero, nuevamente, a medida que progresamos hacia la izquierda de nuestro diagrama de Eh-pH, empezamos entrar progresivamente en condiciones básicas (alcalinas), de tal manera que necesitamos otra reacción que denote adecuadamente dichas condiciones:



$$Eh = E^0 + \frac{0.059}{n} \log \left[\frac{[\text{H}^{+}]^3}{[\text{Fe}^{2+}]} \right]$$

Estas ecuaciones nos permiten evaluar las condiciones de estabilidad del hierro en los diferentes ambientes de pH y Eh. Dado que el hierro migra como Fe^{2+} y precipita como Fe^{3+} ($\text{Fe}(\text{OH})_3$), bastará con que sepamos cual es la concentración de hierro, para determinar la estabilidad en solución del catión ferroso. Esta metodología la podemos utilizar para metales individuales o para comparar el posible comportamiento de pares

catiónicos, por ejemplo, hierro y manganeso en solución como especies reducidas (Fe^{2+} , Mn^{2+}). La estabilidad del Fierro III, se alcanza cuando el pH llega a 8.5 unidades. Cuya energía de formación alcanza a + 0.23 Voltios. A este pH el hidróxido de fierro III inicia su precipitación, coprecipitando los otros elementos metálicos pesados.

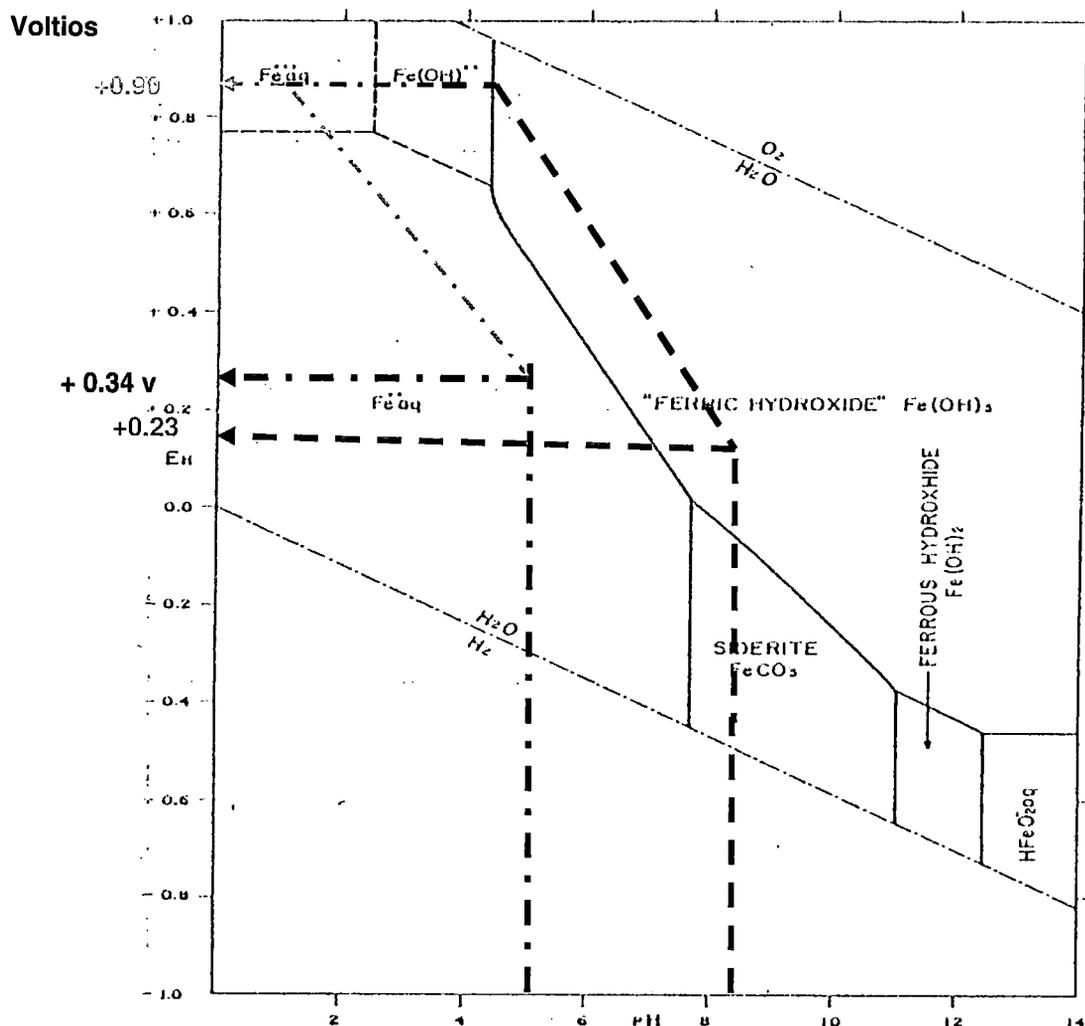
➤ *Diagramas de estabilidad de Pourbaix*

Representan las áreas de estabilidad termodinámica de las especies sólidas o acuosas en función del potencial y del pH a la temperatura de interés. Los diagramas indican bajo qué condiciones de potencial y pH el metal es estable termodinámicamente y bajo qué condiciones puede causar su disolución para formar iones o su transformación en óxidos, hidróxidos, hidruros o sales metálicas. Para el caso del efluente de la mina Marcapunta Oeste, mediante el diagrama de estabilidad de Pourbaix, se da a conocer el proceso de remoción de los elementos metálicos pesados que se encuentran en el afluente citado.

➤ *Diagramas de estabilidad de Pourbaix. Para el Fierro*

El efluente en estudio, se encuentra en solución con contenido de iones de Fierro II a un pH de 5.0 unidades. Cuyo potencial Redox de oxidación promedio es de + 0.32 voltios. Al oxidarse el efluente mediante la adición del oxígeno del aire los iones de

ferro II pasan iones de hierro III, donde el potencial de oxidación redox promedio de + 0.90 Voltios. Durante la etapa de neutralización, se genera una pequeña fracción de $\text{Fe}(\text{OH})_2$ en estado acuoso al mismo potencial redox de 9.0 Voltios, finalmente cuando el proceso de neutralización alcanza el pH de 8.5 unidades, el $\text{Fe}(\text{OH})_3$ formado es estable, generándose un potencial redox de oxidación promedio de + 0.23 Voltios. Precipitando al elemento metálico hierro, el cual coprecipita a su vez al cobre, plomo, arsénico y manganeso. En la figura N° 2, se da a conocer el diagrama de estabilidad para el Hierro, durante el proceso de neutralización.



FiFig Figura N° 2. Diagrama de estabilidad de Pourbaix para el Hierro.

➤ *Diagrama de estabilidad de Pourbaix. Para el Cobre*

En la mina Marcapunta Oeste, el cobre del efluente se encuentra en solución acuosa (Cu^{+2}) a un pH de 5.0 Unidades, donde su potencial redox de oxidación promedio es de + 0.36 voltios. Como se aprecia en la figura N° 3. Cuando la solución alcanza el pH de 8.5 unidades el cobre forma el $\text{Cu}(\text{OH})$ y se oxida como Cuprita (Cu_2O) y se coprecita a consecuencia de la precipitación del $\text{Fe}(\text{OH})_3$, donde su potencial redox de oxidación promedio es de +0.11 Voltios. Se debe hacer hincapié que elevando el pH se continua el proceso de oxidación en forma de la Cuprita.

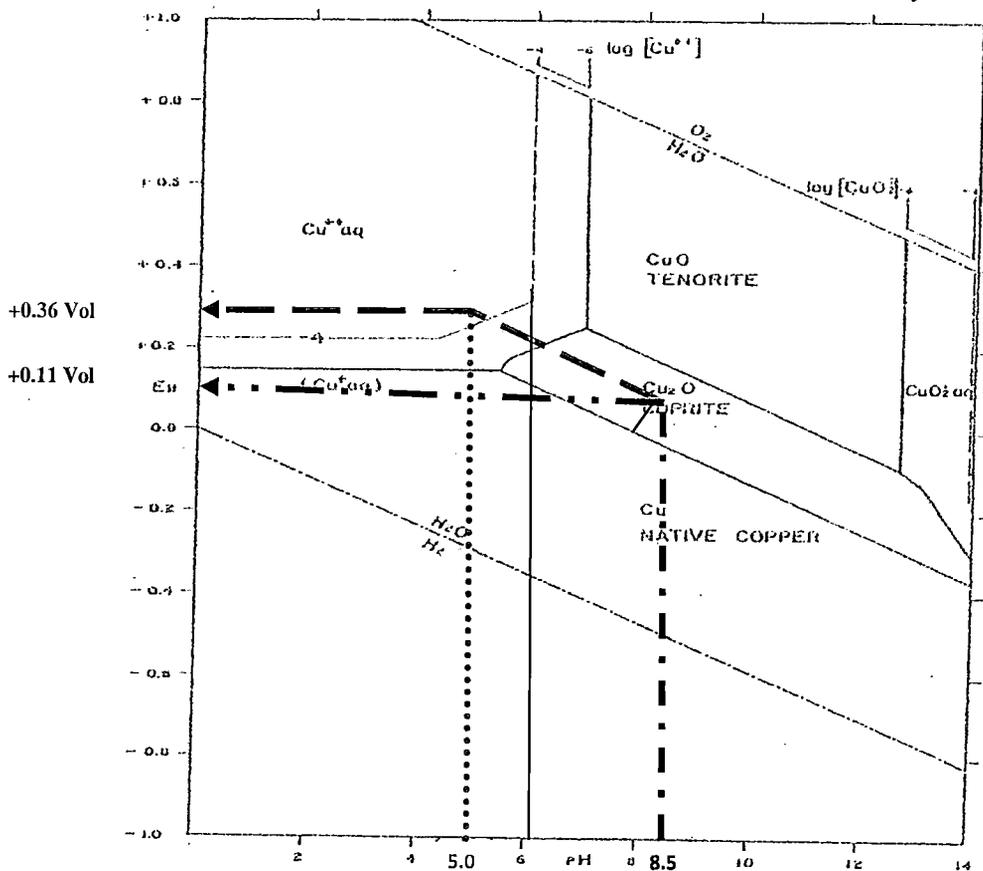


Figura N° 3. Diagrama de estabilidad de Pourbaix para el Cobre.

➤ ***Diseño del reactor de neutralización***

- ✓ Caudal

$$Q = 120 \text{ L/s.} \quad Q = 432 \text{ m}^3/\text{h.}$$

- ✓ El tiempo de contacto entre el efluente oxidado y la cal, se asume en 20 minutos.
- ✓ Volumen del reactor

$$V = Q \times t = \text{m}^3.$$

- ✓ Volumen de diseño
- ✓ Para efectos de diseño (V_d), se incrementa el volumen al 10 %.

$$V_d = V \text{ m}^3 \times 1,10 = \text{m}^3.$$

- ✓ Es necesario contar con 2 reactores de cal, los cuales deben operar en forma paralela, siendo el volumen de cada uno de ellos de $V \text{ m}^3$.

Se asume que $D = h$

$$D = m$$

Altura del reactor (h_t)

$$h_t = h + \text{borde libre} = m.$$

- ✓ Cálculo del agitador mecánico

Se selecciona un agitador de turbina de 6 paletas planas.

- ✓ Cálculo del diámetro del impulsor (d)

Se estima la tercera parte del diámetro del reactor.

$$d = D/3 \text{ m}$$

- ✓ Altura del impulsor sobre el fondo (h')

Se asume igual al diámetro del impulsor.

$$h' = d \text{ m}$$

- ✓ Ancho de la paleta (b)

Se asume la quinta parte del diámetro del impulsor (10)

$$B = d/5 \text{ m.}$$

- ✓ Longitud de la paleta del impulsor (B)

Se asume la cuarta parte del diámetro del impulsor

$$B = d/4 \text{ m.}$$

- ✓ Ancho de los deflectores (e)

Se considera la décima parte del diámetro del tanque (10)

$$e = D/10 \text{ m.}$$

- ✓ Numero de deflectores

El número de deflectores en el tanque de oxidación, son 4 montados desde el fondo hasta la superficie del tanque.

- ✓ Diámetro del disco central (a)

Se considera la cuarta parte del diámetro del tanque.

$$a = D/4 \text{ m.}$$

✓ Cálculo de la potencia requerida

$$P = G^2 \times \mu \times V$$

Donde:

G = gradiente de velocidad S-1

μ = Viscosidad dinámica del agua Kg/m-s

V = Volumen efectivo del tanque

$$P = K/m^2 - s^2 = Kw$$

✓ Cálculo de la velocidad de agitación

$$N = (P/K \times \rho \times d^5)^{1/3}$$

P = Potencia requerida: Watt

K = Constante 6,3

ρ = Densidad del agua. Kg/m³

d = Diámetro del impulsor: m

N = Número de revoluciones por minuto: r.p.m.

2.1.2.4 Sedimentación

El efluente del tanque reactor de cal, es conducido hacia un sedimentador de concreto armado, donde previamente se adiciona Floculante con la finalidad de flocular la carga y acelerar el proceso de precipitación del hidróxido y óxidos formados. Dentro de ellos el Hidróxido de Fierro III, que al precipitarse coprecipita los otros elementos metálicos como

el de Cobre, Arsénico, Plomo entre otros. Obteniéndose finalmente un efluente, con valores de elementos metálicos pesados, por debajo de lo que establece la norma legal vigente, y el sólido formado se sedimenta en el fondo del sedimentador, el cual es finalmente bombeado hacia un tanque cisterna y conducido al depósito de relaves, donde finalmente se dispone.

➤ DISEÑO DEL SEDIMENTADOR

✓ *Caudal de diseño*

$$Q = L/s; Q = m^3/h. Q = m^3/s$$

$$\text{Caudal de diseño } Q = V \times 1,1 = L/s.$$

✓ *Determinación del área superficial*

$$A_s = Q/V_s$$

Datos para el cálculo de la velocidad de sedimentación (V_s)

- El tamaño de la partícula es aproximadamente 0,02 cm de diámetro
- Temperatura del agua 11°C. La densidad del efluente g/L.
- Viscosidad cinemática $\eta = \text{cm}^2/\text{s}$
- Densidad relativa $\rho_r =$
- V_s : *Velocidad de sedimentación m/s.*

$$V_s = \text{m/s}$$

- ✓ Comprobar el número de Reynolds

$$Re = 2,6 \times 10^{-3}$$

Si la V_s es 0,022 cm/s, del gráfico N° 1 se tiene que el número de Reynolds es igual a 1×10^{-2} .

El número de Reynolds 1×10^{-2} es mayor a $2,6 \times 10^{-3}$, valor que se encuentra dentro de la Ley de Stokes.

✓ *Termino de la velocidad de sedimentación*

$$V_s / [g (\rho_r - 1) \eta]^{1/3} = \text{cm/s.}$$

De gráfico se tiene que con una velocidad de sedimentación de 0,24, se tiene un N_{Re} igual a 0,02, valor que se encuentra dentro de lo que establece la Ley de Stokes.

✓ *Determinar el coeficiente de arrastre:*

$$C_D = 24/Re + 3/\sqrt{Re} + 0,34$$

Entonces la velocidad de sedimentación de los sedimentadores será:

$$V_s = \sqrt{4/3 \times 8/C_D (\rho_s - 1) d.} = \text{cm/s.}$$

➤ Si se asume una eficiencia del 75 %,

$$A_s = (Q \times \text{coeficiente de seguridad} / A_s) = \text{m}^2$$

➤ *Dimensiones:*

Se asume la relación $L/a = 4$, entonces $L = 4a$

$$\text{Ancho} = \text{m.} \quad \text{Longitud} = A \text{ m} \times 4 = \text{m.}$$

De acuerdo a los valores obtenidos, es necesario considerar 2 sedimentadores cuyas longitudes sea igual a 16 m y ancho de 8 m cada uno.

✓ *Cálculo de la velocidad horizontal*

$V_h = \text{m/s}$.

✓ *Para el diseño del sedimentador se tiene:*

- Caudal $Q = \text{m}^3/\text{s}$
- Velocidad del efluente en el sedimentador m/s .

✓ *Se determina el área superficial A_s*

$$A_s = Q/v = \text{m}^2$$

Se asume la relación siguiente:

$$L/a = 4, \text{ entonces se tiene que } L = 4a$$

Si área es igual $A = L \times a$. Reemplazando valores se determina que:

$$L = \text{m}, \quad a = \text{m}$$

Para calcular la altura del sedimentador se establece la relación $L/H = 10$

Reemplazando valores se tiene que:

$$H = \text{m}.$$

La altura total $H_t = H + 0.20 \text{ m de borde libre} + \text{altura de lodos} = \text{m}$

➤ *Cálculo del volumen del sedimentador:*

$$V_s = L \times a \times H = \text{m}^3$$

➤ *Determinación del tiempo de residencia (T^o)*

$$T^{\circ} = V/Q = \text{minutos.}$$

➤ *Dimensionamiento total del sedimentador*

La distancia entre la entrada y la pantalla difusora (L_1), se asume en 0,70 m, por lo tanto la longitud total del sedimentador es de:

$$L_t = L_m + 0,70 \text{ m} + \text{espesor de la pantalla} = \text{m}$$

La relación $L_a = L_t/7 = 4,45$, valor que está dentro del rango de (3 – 6), lo que indica que el diseño es conforme.

La relación $L/H = 5$ a 20 . Esta dentro del rango.

➤ *Diseño de la pantalla difusora*

Se asume que la velocidad de paso entre los orificios sea de $V_o = 0,08 \text{ m/s}$.

➤ *El área total de los orificios (A_o)*

$$A_o = Q/V_o = \text{m}^2$$

➤ Se adopta un diámetro de orificio de (d_o) de 0,10 m

➤ Se determina el diámetro de cada orificio $a_o = \pi/4(D)^2$

Donde $a_o = \text{m}^2$

➤ *Se determina el número de orificio*

$$N = A_o/a_o = \text{Orificios}$$

➤ *Se determina la porción de la altura de la pantalla difusora, ocupada con orificios.*

$$H = H - 2/5 H = \text{m.}$$

➤ Se asume un número de filas de orificios n_f igual a 10 filas.

- El número de columnas es $N_c = N/n_f =$ columnas
- Se determina el espaciamiento de los orificios entre las filas a_1 .

$$a_1 = h/n_f = m.$$

- *Espaciamiento entre columnas a_2*

$$a_2 = B - a \times 1 (n_c - 1)/2 = m$$

CAPITULO III

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

3.1.1 Revisión del proceso

Pese a su aparente simplicidad, el proceso de remoción de los metales pesados en los efluentes mineros ácidos es un proceso relativamente reciente, al cual se le puede considerar como un proceso moderno; aun cuando la generación de drenaje de mina nace desde el inicio de las actividades mineras en nuestro país:

El proceso de tratamiento de los efluentes contaminados, tomó mayor importancia desde la emisión del Decreto Supremo N° 016-93-EM, Reglamento de Protección Ambiental para la Actividad Minero Metalúrgica y la Resolución Directoral N° 011-96-EM/VMM. Donde surgen algunos métodos para tratar los efluentes mineros ácidos con contenidos metálicos altos; siendo uno de ellos el uso de agentes oxidantes como el oxígeno, para pasar el Fe^{+2} a Fe^{+3} , para luego adicionar lechada con la finalidad incrementar el pH de un efluente a 8,5 unidades y formar el $\text{Fe}(\text{OH})_3$, el cual se precipita al adicionar coagulante, coprecipitando al mismo tiempo a los otros elementos metálicos presentes, como el Cu, Pb, As y Zn, en forma de óxidos, removiendo de esta manera los metales disueltos del efluente de la mina citada. Obteniendo un agua limpia.

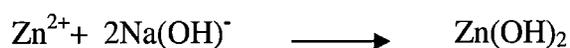
3.1.2 Método de tratamiento con hidróxido de sodio

Un método utilizado con el uso de hidróxido de sodio, para precipitar los iones metálicos solubles como hidróxidos metálicos (9). El proceso puede ser realizado elevando el pH a 8,5 Unidades, a la solución con un material alcalino común tal como cal o hidróxido de sodio (sosa); por lo cual los compuestos metálicos se convierten en insolubles y son precipitados de la solución. En nuestro caso mostramos los resultados de la neutralización controlada del pH de la muestra de agua de la estación N-6 (rebose del sedimentador de la bocamina Marcapunta Oeste) utilizando hidróxido de sodio 0,1N hasta un rango entre 7,5 - 8,5, seguido de una adición del floculante MT -6506 y agitación.

A. Muestra evaluada

Código Laboratorio	Estación	Descripción
A10	N - 6	Rebose del sedimentador de Marcapunta Oeste

Adicionando hidróxido de sodio en forma controlada se forma un precipitado blanco de hidróxido de zinc.



El hidróxido de zinc $Zn(OH)_2$ es un compuesto químico inorgánico anfótero que se disuelve en medio ácido y muy alcalino. Si un exceso de hidróxido de sodio es adicionado, el precipitado de hidróxido de zinc se disuelve formado el iónzincato como se indica en la ecuación siguiente.

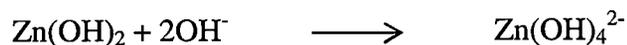


Tabla N° 5. Datos de las pruebas realizadas

Prueba	Volumen (ml)	Cal al 70%	Na(OH) 0,1N	Floculante MT-6506 al 0,05%	Agitación minutos	pH Final	Cu _{total} (mg/L)
1	200	0,2 ml	0,5 ml	0,16 ml	10	7	0,010
2	200	0,2 ml	0,7 ml	0,16 ml	10	7,5	0,008
3	200	0,2 ml	0,9 ml	0,16 ml	10	8,5	0,012

Figura N° 4. Precipitado aglomerado utilizando Na (OH) 0,1 N.



B. Resultados del análisis de muestras de agua.

Las muestras de agua del drenaje de bocamina Marcapunta Oeste del punto de monitoreo N - 6, del presente estudio de investigación fueron analizados en el laboratorio de la empresa Mercantil S.A.

Las muestras del punto de monitoreo N – 6, corresponde al rebose del sedimentador que existe en el exterior de la bocamina de la mina Marcapunta Oeste. Esta muestra fue tomada cada hora, no hubo dosificación de sulfuro de sodio y floculante.

Tabla N° 6. Resultado del análisis de muestras de aguas

Elementos	S.S. MARCAPUNTA		D.S. 000-100-MINAA
	N-5	N-6	
pH	8,5	8,2	6-9
Cu	0,1	0,2	0,5
Pb	0,08	0,08	0,2
Zn	0,09	0,09	1,5
Fe	0,9	1,0	2,0
As	0,04	0,03	0,1
Cd	0,01	0,01	0,05
Cn	0,01	0,01	1

En la Tabla N° 2, se da a conocer el resultado del análisis de las muestras de agua emitido por el laboratorio de la UNI, donde se puede apreciar que los valores de los elementos metálicos, en las estaciones de control N-5 y N-6, están por debajo de los LMP establecidos en el D.S. 010-2010-MINAM.

C. Características del precipitado para remoción de iones metálicos utilizando Na(OH) 0,1N.

El precipitado obtenido al adicionar Na(OH) 0,1 N y floculante MT corresponde a un sólido cuya distribución multielemental determinada por espectrografía de emisión se indica en la Tabla N° 3.

Tabla N° 7. Distribución multielemental de precipitados con Na(OH) 0,1N

Elementos mayores	Ca,Si
Elementos menores	Mg,Fe,Mn,Zn,Pb,Al
Elementos trazas	Cu,Ag,Na,Ti,As
Vestigios	Bi,Sb, Sr,Sn,Cr

Elementos mayores: Mayores que 10%

Elementos menores: Entre 10 y 1%

Elementos trazas : Entre 1 y 0,001%

Vestigios : Menores que 0,001%.

D. Comentarios

- Con el uso del Na(OH) 0,1N y floculante MT-6506, se logra la precipitación de iones metálicos, obteniendo una agua tratada con valores por debajo de los LMP establecidos en el D.S. 010-2010-MINAM.
- El precipitado obtenido está conformado de carbonatos, óxidos y silicatos.
- Como indicador se usa la fenoltaleína, dando una tonalidad rosada al agua cuando la muestra se encuentra en un pH cuyos valores varían de 7,5-8,5 unidades.
- Con el uso del hidróxido de sodio no hay liberación de gases.
- Automatizar la dosificación de los reactivos como la cal, NaOH y floculante, en el sistema de tratamiento.
- Este método es usado cuando el efluente tiene bajo contenido de sólidos totales suspendidos y valores de elementos metálicos bajos, pero aún superiores a los Límites Permisibles.

3.1.3 Situación actual del efluente de la mina Marcapunta Oeste

A continuación, se realiza la descripción actual, del proceso que se efectúa al efluente que proviene de la mina citada, desde la rampa tope, donde se realiza actividades de exploración, hasta su descarga al riachuelo Andacancha, efluente del río San Juan.

➤ ***Rampa 538 (rampa tope – parte baja)***

Ultima labor de exploración, donde se acumula las aguas del techo de las labores mineras, durante nuestra visita se observó que del techo de la labor citada, existía un forado por donde drenaba agua aproximadamente unos 18,5 L/s; el efluente era ácido por tener un pH igual a 5,49 unidades, la conductividad eléctrica 39,0 $\mu\text{s/cm}$ y 9,5 °C de temperatura. Con alto contenido de sólidos en suspensión y elementos metálicos, dentro de ellos cobre, plomo, arsénico y fierro, se tomó muestra de dicho efluente (código MO-1), en 2 frascos de un litro de capacidad. Dichas aguas son bombeadas hacia la cámara 7, mediante el uso de una bomba tipo Magnum.

➤ ***Cámara 7 (parte alta Rampa 538)***

Construida en terreno natural, tiene 4.6 m de ancho por 14.0 de largo, cuya profundidad es de 1,3 m y una gradiente aproximada de 12%. A esta cámara ingresa el efluente de la rampa tope (18,5 L/s), y del techode la labor, cuyo caudal aproximado es de 0,50 L/s.El agua, tiene un pH de 6,18 unidades, 119 $\mu\text{s/cm}$ conductividad eléctricay una temperatura de 12,7 °C. Se tomó muestras del efluente (código MO-2), en 2 frascos de plástico de un litro de capacidad. Las aguas son bombeadas hacia la cámara de bombeo N° 4, mediante el uso de una bomba vertical tipo Maxi.

➤ ***Cámara de bombeo N° 4***

Construida en terreno natural, tiene 3,8 m de ancho por 16.0 m de largo, con una profundidad de 2,0 m y una gradiente de 12%, a esta cámara ingresa el agua de la cámara de bombeo N° 7 y 2 pequeños caudales de agua de 0,5 L/s cada uno, mediante dos tuberías de 2 y 4 pulgadas de diámetro, respectivamente.

➤ ***Cámara cruceo CX 597 (rampa – 314)***

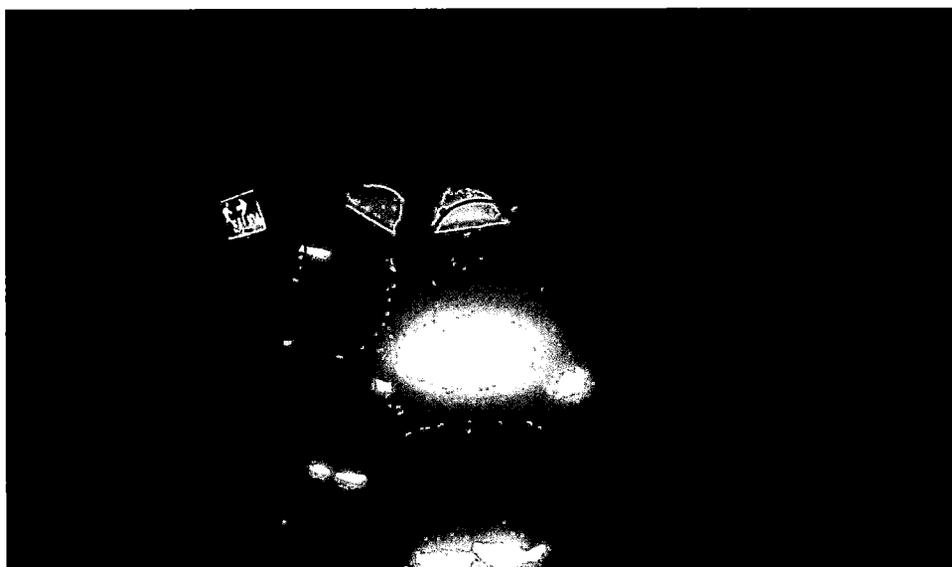
Se encuentra ubicada en la galería 314, es una cámara de paso donde fluyen todas las aguas de las rampas inferiores de la mina Marcapunta Oeste.

Además a esta cámara ingresa las aguas de las galerías 725-S (25 L/s) y de la cámara N° 4 (20 L/s), tiene un pH igual a 6,0 unidades, temperatura de 9,4°C y conductividad eléctrica de 43 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

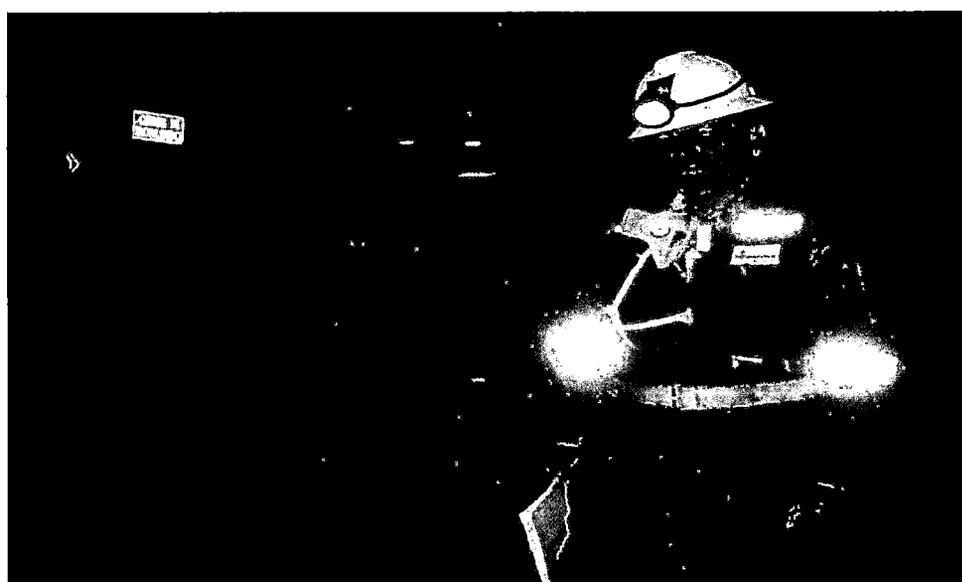
El tercer efluente es una agua natural que proviene de la galería 560 (25 L/S)código – MO-6, tiene un pH de 5,97 unidades, temperatura de 9,3°C y una conductividad eléctrica de 73 $\mu\text{s}/\text{cm}$ y el agua natural que proviene de las galerías 675-N(30,0 L/S) y 675-S (20 L/s), de código MO-5, tiene un pH igual a 6,0 unidades, temperatura 9,1°C y una conductividad eléctrica de 47 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

De esta poza sale el agua por rebose y es conducida por una cuneta (código N-1), cuyo caudal se estima en 115 L/s, siendo este el caudal del agua que provendría del interior de las labores de la mina Marcapunta Oeste.

Vista Fotográfica N° 1. Cámara de bombeo N° 3.



Vista Fotográfica N° 2. Cámara RB-2.



➤ ***Cámara de Turbulencia***

A esta cámara; ingresa el agua de la cámara N° 3, mediante una tuberías de PVC de 6 pulgadas de diámetro, la cámara tiene aproximadamente 4,8 m de ancho por 16,0 m de largo por 2,0 m de profundidad, las tuberías descargan las aguas desde una altura de 2 m, generando turbulencia en las aguas, en esta cámara se estaría convirtiendo el Fe^{+2} a Fe^{+3} , por gravedad es conducido hacia el sedimentador N° 1, a través de una cuneta. Ver vista fotográfica N° 3.

Vista Fotográfica N° 3. Toma de muestra en la cámara de turbulencia.



➤ ***Sedimentador N° 1***

A este dispositivo ingresa el efluente de la cámara de turbulencia (120 L/s), por una cuneta, que tiene 4,2m de ancho por 22,0 m de largo y 1,80 m de profundidad, cuenta con un canal de rebose de concreto, se tomó dos muestras de agua en recipientes de

plásticos de 1 litro de capacidad, el efluente tiene un pH igual de 6,0 unidades, Conductividad eléctrica 177 $\mu\text{s}/\text{cm}$, temperatura 10,0°C, el agua es conducido hacia el sedimentador N° 2.

➤ ***Sedimentador N° 2***

Ingresa las aguas del sedimentador N° 1, cuenta con paredes de concreto armado, tiene 5,0 m de ancho por 25 m de largo, las aguas de este sedimentador son conducidas por rebose hacia la cámara de bombeo RB-2.

➤ ***Cámara de bombeo RB-2***

Recibe las aguas del sedimentador N° 2, es de concreto armado, tiene 24 m de largo x 6 m de ancho y 2 metros de profundidad, no cuenta con zona de agua limpia, ni de lodos, es una piscina, donde se encuentran sumergidas las 3 bombas Gould, cuya capacidad de bombeo es de 170 L/s, al entrar en operación dichas bombas remueven las partículas sedimentadas, esto se debe porque los impulsores de las bombas se encuentran sumergidos dentro de la zona de lodos.

Las aguas de esta cámara son conducidas a través de 3 tuberías de 12 pulgadas de diámetro, que sale por la galería 359, en aquella oportunidad solo se encontraba operando una bomba cuyo caudal de agua medido In situ en la descarga del tanque TK-1 fue de 120 L/s, en la galería se encuentra la cámara de la bomba N° 1, la cual

capta las aguas de las goteras del techo de la rampa de drenaje, enviando el agua al sedimentador N° 2. Caudal de la bomba N° 1 es de 5,0 L/s.

Las tuberías de la cámara RB-2, llegan a la superficie, donde el agua se descarga en el tanque TK-1, de acero al carbón de 6,0 pies de altura por 5 pies de diámetro.

El agua se descarga hacia un canal de concreto. Al pie del segundo tanque existe una bomba Wifley de 4 pulgadas de diámetro, la cual capta agua y lo conduce hacia una estación donde alimenta a los tanques cisternas, encargados de regar las carreteras de acceso.

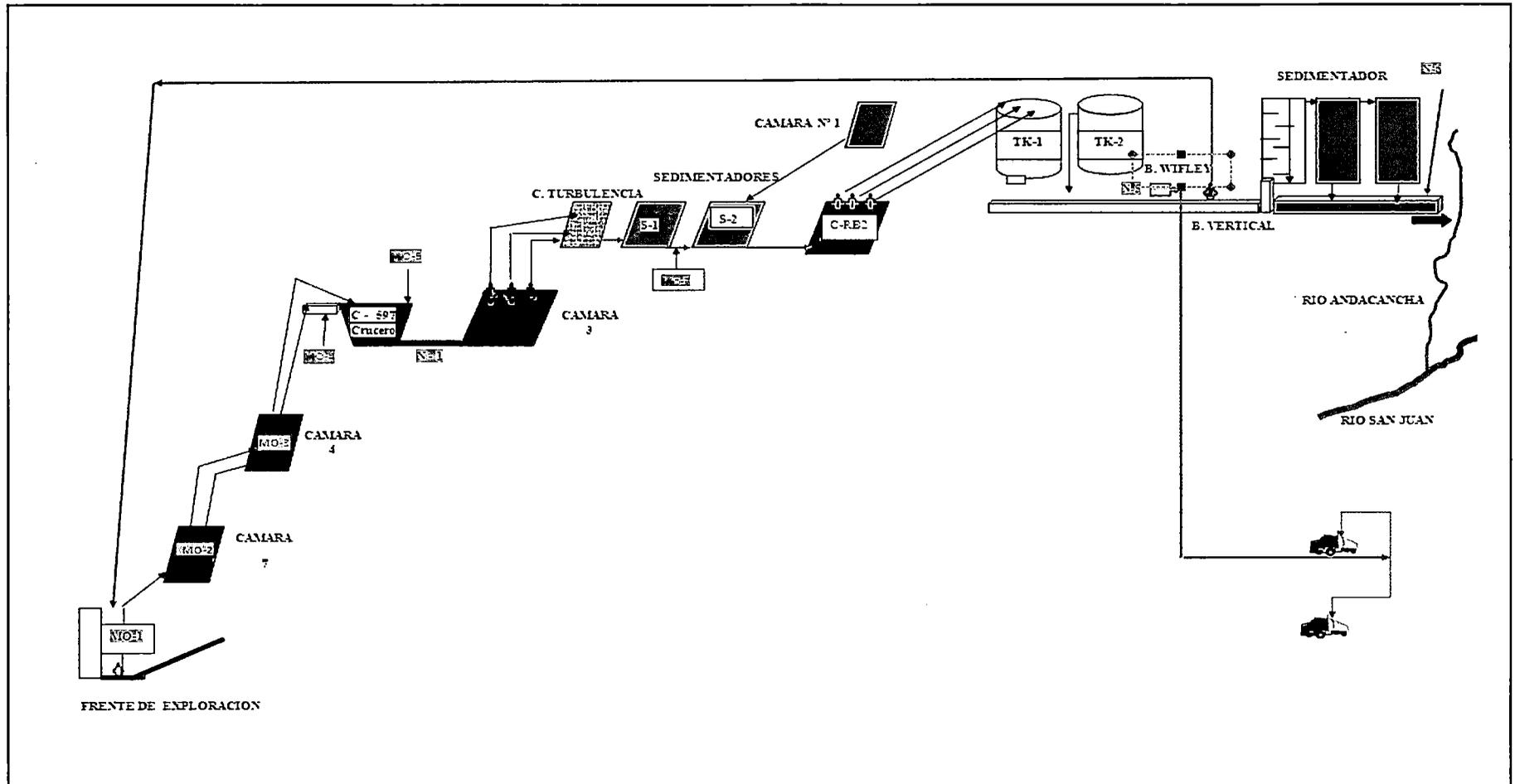
Aguas abajo de la bomba señalada, existe una bomba vertical pequeña con tubería de descarga de 2 pulgadas, la cual capta agua y lo conduce al interior mina, para el proceso de exploración.

El agua continúa su curso por el canal hasta la entrada del desarenador, para luego conducir el agua al primer sedimentador, el agua sedimentada se conduce hacia el segundo sedimentador, el efluente final es conducido hacia el canal, cuyas aguas se vierten al riachuelo Andacancha, descargando finalmente al río San Juan.

El desarenador tiene 2,60 m de ancho por 18,80 m de largo por 1,20 profundidad, el primer y segundo sedimentador tienen 4,5 y 5,40 m de ancho por 18,80 m de largo respectivamente, son de concreto armado. El canal que conduce el efluente final del 2° sedimentador es de concreto armado, en este tramo se encuentra el punto de monitoreo N-6, ubicado en las coordenadas UTM N: 8 806953 y E: 359 623, a una altitud de 4

155 msnm, el agua tiene un pH igual a 6,39 unidades, temperatura 11,1°C y una conductividad de 230 $\mu\text{s}/\text{cm}$ y un caudal de 120 L/s.

Figura N° 5. Diagrama de flujo de la situación actual del efluente de la mina Marcapunta Oeste



CAPITULO IV

4.1 ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN DE REMOCION DEL COBRE DEL EFLUENTE DE LA MINA MARCAPUNTA OESTE

4.1.1 Caracterización del efluente e investigación de la remoción de los metales pesados

A fin de efectuar la investigación que permita la remoción de los metales pesados del efluente de la mina citada, se realizó una visita en el mes de julio del año 2011 al interior de la mina, donde se realizó un recorrido desde la rampa tope hasta los sedimentadores ubicados en el exterior de la bocamina, donde se determinó 3 puntos de control importantes, siendo los siguientes:

- Punto de control N-1, ubicado en el canal que conduce el efluente hacia la cámara N° 3.
- Punto de control N-5, ubicado en el canal de concreto armado al pie del TK-2, que conduce el efluente hacia las pozas de sedimentación.
- Punto de control N-6, en el canal de descarga de los sedimentadores, antes de la confluencia con el riachuelo Andacancha.

4.1.2 Evaluación de los resultados de las pruebas de remoción de los metales pesados

- El efluente de la mina Marcapunta Oeste en las muestras N-1, N-5 y N-6, son ácidos por tener valores de pH menores al límite permisible (6-9 Unidades).
- Presenta en los punto de muestreo N-1, N-5 y N-6, valores de sólidos totales de suspensión, arsénico y fierro superiores a los límites permisibles establecidos en el Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM.
- En los puntos de muestreo N-1, N-5 y N-6, presentan valores de cobre y fierro superiores al nivel permisible establecido en la norma citada.
- En el punto de muestreo N-1 presenta el valor de plomo superior al establecido en la norma legal vigente.

4.1.3 Separación de las aguas limpias de las contaminadas del interior mina

La visita a la mina se realizó en el mes de setiembre del 2011, en aquella oportunidad se encontró que las actividades de exploración, paralizada, donde se observó a simple vista que el efluente era limpio, con bajo contenido de sólidos totales en suspensión. Sin embargo el sistema de bombeo se encontraba operando.

Como parte del desarrollo del estudio, para remover los metales pesados del efluente de la mina citada, se debe determinar si en el interior de la mina existen aguas limpias y contaminadas, con la finalidad de separarlas y disminuir el caudal de las aguas contaminadas, para el efecto se tomaron muestras en 10 puntos de control, las mismas que fueron debidamente etiquetadas y embaladas para trasladarlas al laboratorio de la UNI, donde fueron analizados. En la Tabla N° 9. Se da a conocer los puntos de control, ubicación en coordenadas UTM y su descripción respectiva.

Tabla N° 9. Ubicación y descripción de los puntos de control del efluente del interior de la mina Marcapunta Oeste.

N°	PUNTO DE CONTROL	COORDENADAS UTM	DESCRIPCIÓN
1	MO-1	IM	Punto ubicado en la rampa tope nivel 538.
2	MO-2	IM	Cámara de la bomba N° 7, rampa nivel 538.
3	MO-3	IM	Cámara de bombeo N° 4.
4	MO-4	IM	Agua que ingresa a la cámara 597.(Crucero)
5	MO-5	IM	Efluente natural que proviene de las galerías 575-N y 675-S.
6	MO-6	IM	Agua que proviene de la galería 560.
7	MO-7	IM	Efluente tomado en la descarga del sedimentador N° 1.
8	N-1	IM	Efluente de la cámara de turbulencia.

N°	PUNTO DE CONTROL	COORDENADAS UTM	DESCRIPCIÓN
9	N-5	N:8 807 022 E: 359 683	Efluente ubicado al pie de la bomba Wifley, exterior de la bocamina.
10	N-6	N: 8 806 953 E: 359 623	Efluente antes de descargar al río Andacancha.

IM: Interior mina

➤ **Resultados analíticos:**

En la Tabla N° 10, se detallan los resultados del emitidos por el laboratorio de la UNI, efectuados en el mes de setiembre del presente año.

Tabla N° 10. Resultados analíticos del efluente del interior de la mina Marcapunta Oeste.

N°	PUNTO DE CONTROL	CAUDAL l/s	pH	Sólidos mg/l	N mg/l	Cd Total mg/l	Cu mg/l	Pb Disuelto mg/l	Pb mg/l	Zn mg/l	CN Total mg/l	Acidos y Grasas mg/l	Cn Hexavalente mg/l	HCG mg/l
1	MO-1	18,50	5,6	298	0,338	0,001	4,47	11,76	0,092	0,067	0,001	0,012	0,002	0,0011
2	MO-2	19,00	5,3	311	0,248	0,002	4,85	12,21	0,167	0,080	0,001	0,014	0,001	0,0012
3	MO-3	20,00	5,4	222	0,148	0,001	4,72	3,85	0,054	0,064	0,001	0,011	0,002	0,0011
4	MO-4	25,00	4,9	3,0	0,141	0,001	1,45	0,33	0,002	0,030	0,002	0,033	0,002	0,0002
5	MO-5	70,00	4,8	5,0	0,358	0,002	1,95	0,59	0,002	0,023	0,002	0,040	0,003	0,0008
6	MO-6	20,00	7,7	104	0,136	0,001	0,15	0,23	0,001	0,041	0,001	0,002	0,004	0,0005
7	MO-7	115,00	7,2	61	0,379	0,001	0,19	0,30	0,002	0,005	0,001	0,003	0,005	0,00004
8	N-1	115,00	5,4	14	0,709	0,001	2,45	8,04	0,133	0,053	0,001	0,011	0,001	0,0001
9	N-5	120,00	7,0	56	0,830	0,001	0,22	0,29	0,002	0,004	0,001	0,012	0,003	0,0008

Nº	PUNTO DE CONTROL	CAUDAL L/s	pH	STC. mg/l	As. mg/l	Cd. Total mg/l	Cr. mg/l	Fe. Disuelto mg/l	Pb. mg/l	Zn mg/l	CN Total mg/l	Aceites y Grasas mg/l	CF Hexavalente mg/l	Hg mg/l
10	N-6	120,00	7,0	3.0	1,189	0,001	0,37	0,15	0,006	0,023	0,001	0,002	0,008	0,0005
	DS-010-2010- MINAM*	---	6-9	50	0,1	0,05	0,5	2,0	0,2	1,5	1,0	20	0,1	0,002
	DS-010-2010- MINAM**	----	6-9	25	0,08	0,04	0,4	1,6	0,16	1,2	0,8	16	0,008	0,0016

(*)Límite en cualquier momento(**)Limite para el promedio anual.

➤ **Comentarios**

De la Tabla N° 10, se desprende los comentarios siguientes:

- Las aguas de los puntos de control MO-1; MO-2 y MO-3, son ácidas y están contaminadas con presencia de STS, As, Cu y Fe.
- Las aguas de los puntos de control MO-4 y MO-5, son ácidas y están contaminadas As y Cu.
- Las aguas de los puntos de control MO-6 y MO-7, están contaminadas de STS y As.
- El agua en el punto N-1, es ácida, está contaminada con As, Cu y Fe.
- El agua en el punto N-5, se encuentra contaminada con presencia de STS y Arsénico.
- El efluente minero está contaminado, por tener presencia de Arsénico con valores superiores al Límite Máximo Permisible establecido en el Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM. Límites Máximos Permisibles, para la Descarga de Efluentes Líquidos de la Actividad Minero – Metalúrgicas. Ver anexo 5-A.
- Es necesario optimizar el efluente de la Mina Marcapunta Oeste, removiendo los elementos metálicos de cobre, fierro, arsénico, sólidos totales en suspensión y el parámetro físico del pH.
- Al efluente del interior de la mina, actualmente se le adiciona reactivos, dentro de ellos sulfuro de sodio, cal, floculante e de manera deficiente etc.
-

4.1.4 Medición de caudales

Se procedió a medir el caudal del efluente en los diferentes puntos de control donde se tomó la muestra, en la Tabla N° 13, se da a conocer la lectura de los caudales en los 10 puntos de control. El método empleado en la medición del caudal, se realizó en forma práctica, haciendo uso de una bolilla de material sintético, de peso despreciable, el cual se dejó caer a la canaleta de agua, tomándose el tiempo en recorrer una distancia de 10 m lineales, en cada uno de los puntos la medición se realizó en tres oportunidades, obteniendo la velocidad promedio para cada punto, luego se determinó el volumen del canal, obteniéndose de esta manera el caudal en cada uno de los puntos de control.

4.1.5 Adición de reactivos

Durante la visita de campo se determinó que el titular minero, trata las aguas del interior de la mina Marcapunta Oeste, adicionando reactivos, desde el Crucero 579 (lechada de cal 300 ml/minuto, sulfuro de sodio 250 ml/minuto y floculante 200 ml/minuto,), de igual manera en la cámara de turbulencia, entrada del sedimentador N° 1, en los sedimentadores ubicados cerca al riachuelo Andacancha, adicionando siempre los mismos reactivos. Sin embargo la adición de estos reactivos lo realiza en forma inadecuada, porque en los depósitos usados, no cuentan con sistema de agitación, para mantener homogénea la solución de los reactivos y lograr remover los elementos metálicos, en forma eficiente.

CAPITULO V

5.1 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS Y DISEÑO DEL PROCESO DE REMOCION DE METALES PESADOS.

5.1.1 Selección del proceso de remoción de los metales pesados del efluente minero.

En este capítulo, se da a conocer las alternativas analizadas, que permitirán remover los elementos metálicos contenidos en el efluente de la mina, para lo cual se realizó un plan piloto: en la Universidad Nacional de Ingeniería, en ambas alternativas se aplicaría el mismo plan piloto, pero en escenarios diferentes.

5.1.2 Planteamiento de alternativas

Escenario 1: Aprovechando la infraestructura que actualmente existe en el interior mina.

El tratamiento del efluente, se realizará, aprovechando la infraestructura que existe en el interior mina (cámara turbulencia, sedimentadoras y cámara de bombeo RB-2), además de ello se construirán 3 nuevos sedimentadores y reusando los tanques que actualmente se encuentran en el exterior de la mina.

Escenario 2: Construcción de una nueva planta de tratamiento.

En este escenario se contempla construir una nueva planta, para tratar el efluente de la mina Marcapunta Oeste.

5.1.3 Criterios usados en la selección de alternativas

La remoción del cobre efectuado en la UNI se realiza porque el efluente tiene alto contenido de hierro 59,25 mg/L y S.T.S 240 mg/L. Al oxidar el Fe⁺² a Fe⁺³ y adicionar lechada de cal se precipita el Fe⁺³ en forma de Fe(OH)₃, coprecipitando (arrastrando) al mismo tiempo al cobre, arsénico y plomo en forma de óxidos de la solución. A continuación se detallan las etapas de remoción del cobre.

➤ ***Oxidación***

El hierro ferroso reacciona con el oxígeno para formar hierro férrico, como se aprecia en la formula siguiente:



➤ ***Adición de lechada de cal***

Se adiciona la lechada de cal, agitando durante 8 minutos, hasta alcanzar un pH de 8,5 unidades. Donde se llevan a cabo las reacciones siguientes:

➤ **Neutralización:**



➤ **Precipitación del Hierro:**



La lechada de cal reacciona con los elementos metálicos de Fe^{+3} , formando hidróxido de fierro III, precipitándolo.

➤ **Coprecipitación del Cobre:**

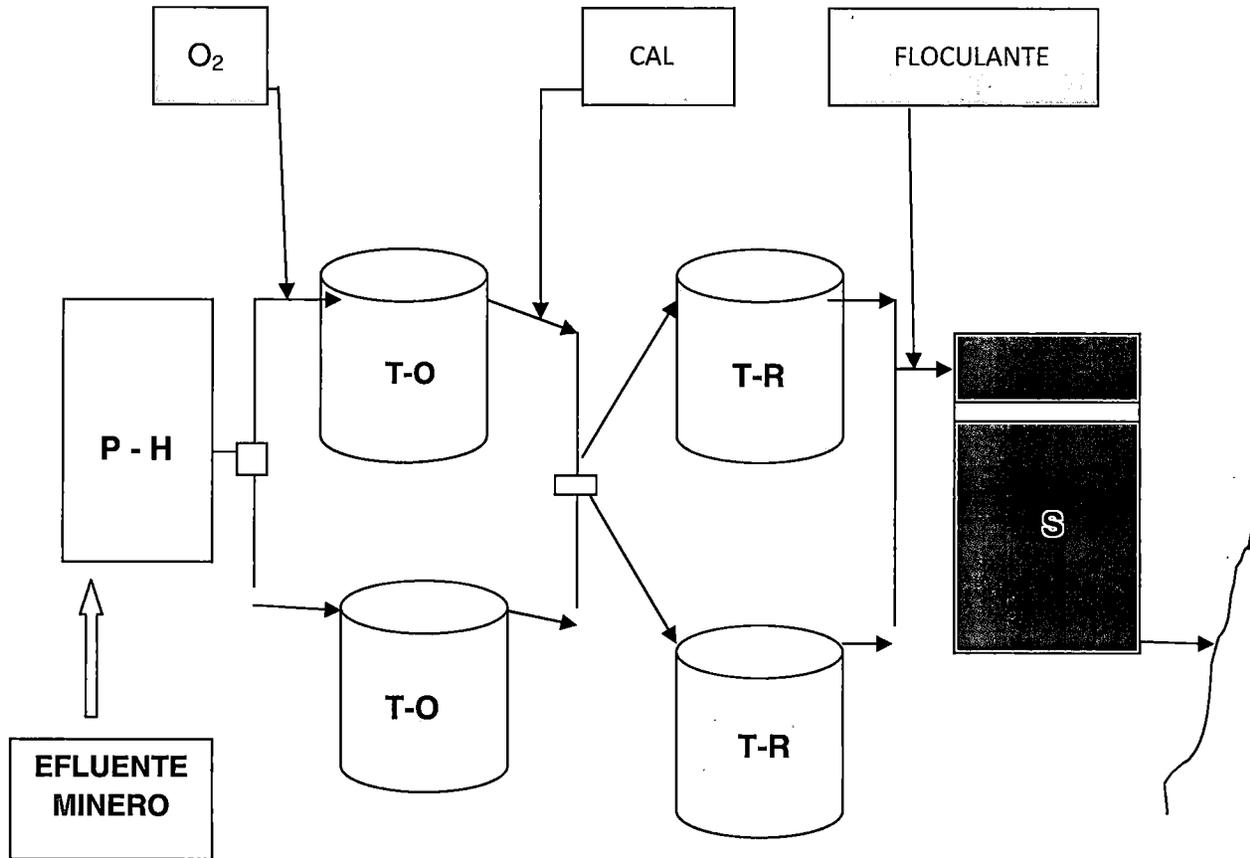
La lechada de cal reacciona con los otros elementos metálicos forma hidróxidos y óxidos de Cu, Pb y As, los cuales son coprecipitados por el hidróxido de fierro III.

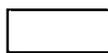
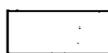
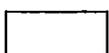
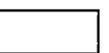


➤ **Adición del floculante**

El floculante se adiciona al efluente con lechada de cal, agitando durante 4 minutos, se deja sedimentar obteniéndose un agua limpia y transparente.

Figura N° 6. Esquema de remoción de los metales pesados



- | | | | |
|---|-----------------------|---|--------------------------|
|  | : Tanque de oxidación |  | : Sedimentador |
|  | : Tanque reactor |  | : Poza de homogenización |
|  | : Tanque de oxígeno |  | : Tanque de cal |
|  | : Tanque floculante | | |

5.1.4 Descripción de la alternativa seleccionada

Alternativa A. Aprovechando la misma infraestructura que existe actualmente en el interior de la mina Marcapunta Oeste.

Para tratar el efluente de la mina Marcapunta Oeste, se podría usar y acondicionar la misma infraestructura que existe actualmente en el interior de la mina, conformada, por la poza de turbulencia, sedimentadores 1 y 2, así como la poza RB-2 (poza de bombeo) y el sistema de bombeo para transportar el efluente desde el ultimo frente de exploración, hasta el exterior de la bocamina.

A la poza de turbulencia se le debe acondicionar una tubería de aire, que se tomaría de la tubería de aire que ingresa al interior mina, el diámetro debe ser de ½” de acero al carbón, con su respectiva válvula y barómetro para controlar la presión del aire, con la finalidad de mantener la turbulencia del agua en la poza citada y pasar el Fe^{+2} a Fe^{+3} , se le adiciona la lechada de cal al sedimentador N° 1, se conduce al efluente hacia el sedimentador N° 2, pasando luego a la poza RB-2, siendo bombeados hacia el exterior a la altura del punto de control N-5, donde se le adiciona el floculante, el efluente es conducido hacia las nuevas pozas de sedimentación (ubicadas en los alrededores de los actuales sedimentadores), por medio de un nuevo canal que se construirá paralelo al canal que existe actualmente.

Donde se precipitará el hidróxido de fierro III formado, coprecipitando al mismo tiempo el cobre, plomo y arsénico. Obteniendo de esta manera un agua clara y

transparente con valores de elementos metálicos dentro de lo establecido en la norma legal vigente.

El costo directo aproximado que demandaría la construcción de los 03 sedimentadores, construcción de canal paralelo al actual, la habilitación de los tanque para la lechada de cal y floculante, así como tuberías y accesorios, terrenos, edificios, estructuras, instalaciones eléctricas, así como pinturas y otros demandaría una inversión de \$. 523 000. Ver detalle en la Tabla N° 11.

Tabla N° 11.Costo directo de la alternativa A

Equipos del proceso y auxiliares del proceso	\$ 450 000
Tuberías y accesorios	12 000
Terrenos, edificios y estructura	45 000
Instalaciones eléctricas	12 000
Pinturas y otros	4 000
Total	523 000

➤ ***Ventajas y desventajas de la alternativa***

- Esta alternativa, sería eficiente durante la vida útil de la mina, ya que para el cierre no se podría continuar operando con 10 bombas en el interior mina, como actualmente se viene haciendo.

- El manejo de los lodos en el interior mina, no se realizaría en forma eficiente, como se haría fuera de ella.
- Se debe tener en cuenta que el efluente de la mina Marcapunta Oeste, va a ser con el tiempo un pasivo ambiental permanente.
- Para operar la planta con esta alternativa se requeriría de 10 hombres, en dos turnos trabajando 12 horas diarias, durante los 7 días de la semana, el jornal promedio es de \$. 3463 por mes, anualmente se estima un gasto de \$. 124 678,00. El número de obreros se incrementa porque tendría que haber dos hombres encargados de operar las bombas del interior mina.

Alternativa B: Construcción de una nueva planta fuera de la bocamina, a la altura donde se encuentran actualmente los sedimentadores.

Esta alternativa ha considerado desarrollar el proceso de tratamiento basado en la oxidación, aplicación de cal y floculante. Las pruebas se desarrollaron en el laboratorio de la Facultad de Minas de la UNI. Este método es aplicado cuando el efluente contiene altos contenidos de TSS y elementos metálicos como el Fe.

5.1.5 Prueba batch en vaso

Se realizó en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minería y Metalúrgica de la Universidad Nacional de Ingeniería, cuyo procedimiento se explica a continuación.

En un vaso Pyrex, se tomó 200 ml del efluente del punto de control N-1. Se agitó y adicionó 3.5 ml de lechada de cal (al 10% en peso) agitando hasta alcanzar un pH de 8,5 unidades. Se agregó 6 gotas de floculante magnafloc, agitándose en forma controlada, dejándose reposar (sedimentar), obteniendo un agua transparente, cuya lectura de pH fue de 7,2 unidades. Analizada el agua tratada, se obtuvo un contenido de Sólidos Totales Suspendidos igual a 21,4 mg/L, Cobre 0,082 mg/L, Plomo 0,092 mg/L, Arsénico 0,045 mg/L. Valores por debajo del Límite Máximo Permissible(0,5 mg/L) alo establecido en el Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM. Ver Anexo 1.

Tabla N° 12. Resultados obtenidos durante la prueba batch.

MUESTRAS	pH	STS mg/L	As mg/L	Cu mg/L	Fe mg/L	Pb mg/L
N-1	5,0	240	1,852	13,52	59,25	0,296
1 ^{ra} Corrida	7,2	21,4	0,045	0,082	0,64	0,092
2 ^{da} corrida	7,1	22,6	0,048	0,092	0,80	0,098
3 ^{ra} corrida	6,9	22,9	0,051	0,12	0,78	0,096
Promedio	7,06	25,9	0,048	0,076	0,74	0,095
DS-010-2010-MINAM*	6-9	50	0,1	0,5	2.0	0,2
DS-010-2010-MINAM**	6-9	25	0,08	0,4	1,6	0,16

De la tabla anterior se tiene, que el valor promedio de pH en las tres corridas tiene el valor de 7,06 Unidades, Sólidos Totales en Suspensión 25,9 mg/L, Arsénico 0,048 mg/L, Cobre 0,078 mg/L y Plomo 0,095 mg/L, Todos estos valores son inferiores a los Límites Permisibles, establecido en la norma legal vigente.

5.1.6 Eficiencia de remoción

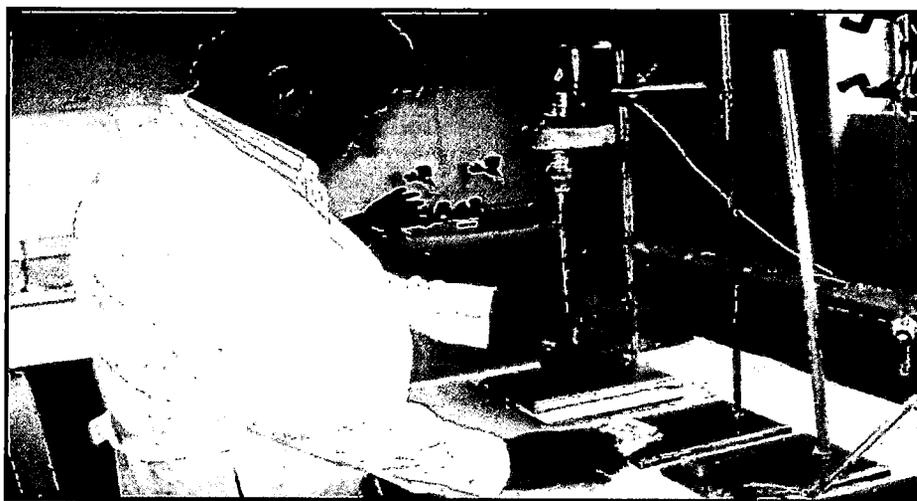
A fin de constatar si se cumple con el objetivo del proyecto, se determina la eficiencia de remoción de los elementos metálicos, del efluente citado. En el cuadro siguiente se aprecia la eficiencia de remoción de cada uno de los elementos metálicos. Ver Tabla N° 13.

Tabla N° 13. Eficiencia de remoción de los elementos metálicos.

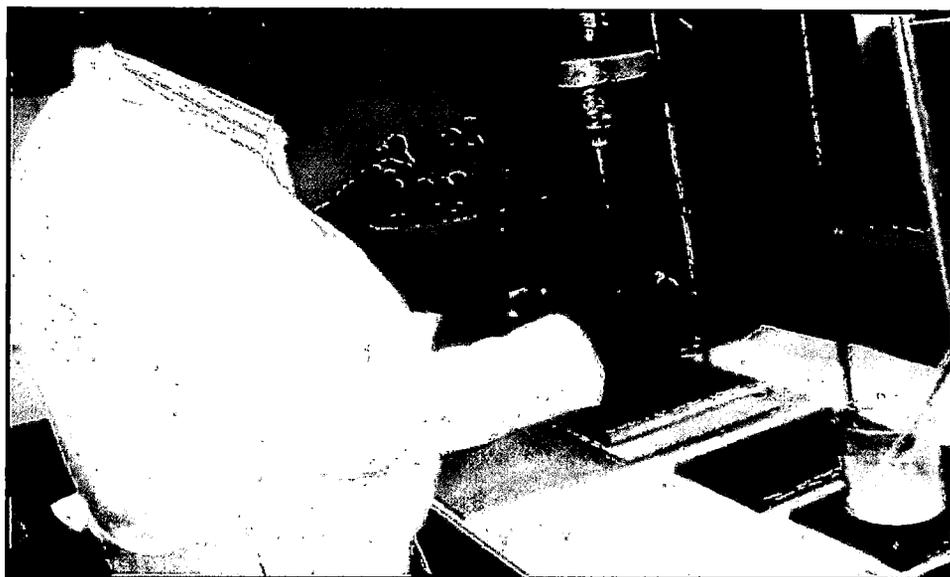
MUESTRAS	pH Unidades	STS mg/L	As mg/L	Cu mg/L	Fe mg/L	Pb mg/L
N-1	5.0	240	1.852	13.52	59.25	0.296
Promedio	7,06	25,9	0,048	0,076	0,74	0,095
Eficiencia	%	89,2	97,4	99,43	98,75	67,9
DS-010-2010- MINAM*	6-9	50	0.1	0.5	2.0	0.2
DS-010-2010- MINAM**	6-9	25	0.08	0.4	1.6	0.16

En el Gráfico N° 12, se presenta la eficiencia de remoción de los elementos metálicos.

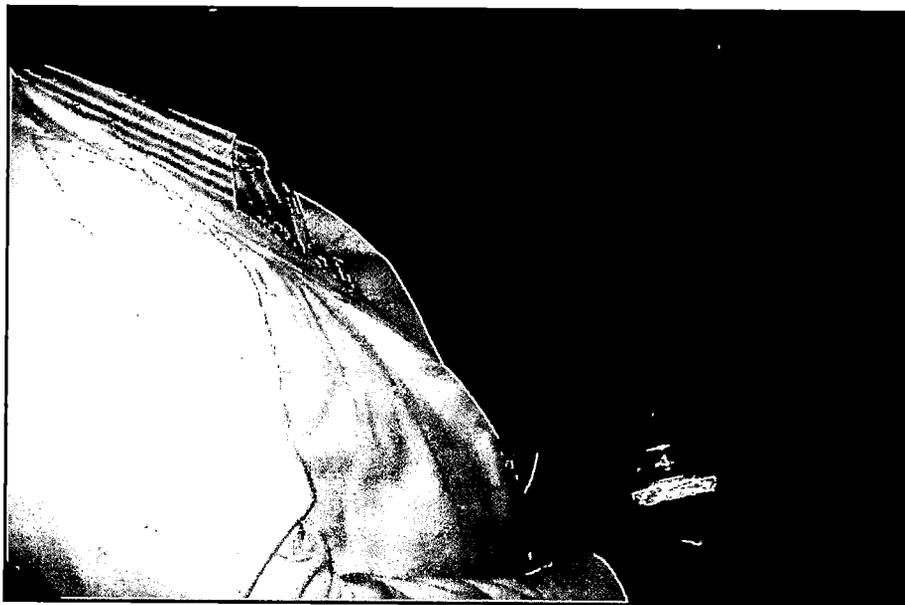
Vista Fotográfica N° 4. Prueba batch en vaso Laboratorio de la UNI, midiendo pH.



Vista Fotográfica N° 5. Adicionando lechada de cal al efluente.



Vista Fotográfica N° 6. Agua tratada, con los precipitados en el fondo del vaso.



CAPITULO VI

6.1 COSTO DEL PROYECTO

6.1.1 Costo directo de construcción de la planta

El costo directo aproximado que demandaría la construcción de la nueva planta, es de \$ 692,461, en la Tabla N° 14, se da a conocer el detalle de los gastos.

Tabla N° 14. Costo directo de la alternativa B.

Equipos del proceso y auxiliares del proceso	\$ 539 468
Tuberías y accesorios	21000
Instrumentación	38 000
Terrenos, edificios y estructura	76 000
Instalaciones eléctricas	12 000
Pinturas y otros	6 000
Total	\$. 692 461

Tabla N° 15. Cuadro comparativo de alternativas

	ALTERNATIVA A	ALTERNATIVA B
A. OBRAS CIVILES	Construcción de 3 nuevos sedimentadores, acondicionamiento de tanques para reactivos	Planta nueva
B. CAUDALES	120 L/seg	120 L/seg
C. USO DE FLOCULANTE	Sí	Sí
D. USO DE CAL	SI	SI
E. USO DE OXIGENO	No	Sí
F. COSTOS	\$ 523 000	\$ 692 461
G. CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN	3 meses	➤ 6 meses

6.1.2 Criterios usados en la selección de las alternativas

➤ *Consideraciones ambientales*

La alternativa B, considera la instalación de una nueva planta, la cual se ubicará en los alrededores donde se encuentran los sedimentadores, lo cual implica disturbar una mayor área de terreno.

De lo que se establece en el desarrollo de la alternativa A, que considera solo construir 3 sedimentadores, acondicionar los tanques para la preparación de lechada de cal y solución del hidróxido de sodio, así como hacer uso de la infraestructura que actualmente existe en el interior mina.

➤ *Consideraciones técnicas*

- El desarrollo de las alternativas A y B, considera igual consumo de reactivos, dentro de ellos la cal, floculante, oxígeno. Ambos generan lodos.
- El manejo de lodos en ambas alternativas, considera transportarlos al depósito de relaves, para su disposición final.
- La alternativa **A**, operaría mientras la mina tenga vida. Sin embargo la alternativa B, podría operar en las dos condiciones es decir cuando la mina opere y deje de operar.

- La alternativa **B**, estaría en condiciones de operar cuando las características del efluente cambien, pudiendo adaptarse incluso al cambio del uso de otros reactivos.

➤ ***Consideraciones Económicas.***

La implementación del sistema de tratamiento para la alternativa B, ha estimado el monto del costo directo, para los equipos del proceso, auxiliares e instalación la suma de \$. 692 461, dólares americanos. De otro lado, para la implementación del sistema de tratamiento y los equipos dosificadores de reactivos de la alternativa A, se estima un costo aproximado de \$. 523 000 dólares americanos.

De lo indicado en las alternativas A y B se tiene que la mejor alternativa, es la B; para remover efluente de la mina Marcapunta Oeste se hará instalando una nueva planta, ya que esta podría operar sin problemas cuando la mina opere y deje de operar, el impacto que generará es moderadamente positivo, porque este es un pasivo ambiental, que generara puestos de trabajo permanente.

Si bien esta alternativa demanda de mayor inversión, sin embargo se debe tener en cuenta, que a diferencia de la alternativa anterior, esta ofrece mayor seguridad con el personal, porque la planta estaría ubicada fuera de la mina, sin poner en riesgo la integridad física de sus obreros porque no se debe olvidar que en el área donde se encuentra la poza de turbulencia con los sedimentadores y la cámara de bombeo, se encuentran al borde del de la labor por donde transitan vehículos, que no solo

podrían accidentar a las personas, sino también las emisiones y polución de partículas en el interior de la mina pondrían en riesgo la integridad física de quienes laborarían en el proceso de Remoción de Metales Pesados de los Efluentes de la Mina Marcapunta Oeste”.

6.1.3 Descripción de la alternativa seleccionada

La planta para la “Remoción de Metales Pesados de los Efluentes de la Mina Marcapunta Oeste”, consta de las secciones siguientes:

- Poza de homogenización
- Sección oxidación
- Sección control de pH y formación de hidróxido de hierro III.
- Sección floculación
- Disposición de lodos.

➤ Sección oxidación

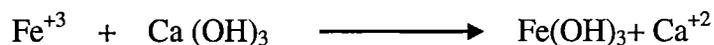
El efluente que proviene del interior mina de 120 L/s, es descargado a una poza de igualación, siendo bombeado a los tanques agitadores cilíndricos de 4,8 m de diámetro por 5,0 m de altura, de acero al carbón, el cual es oxidado mediante la adición de oxígeno (100 Kg día), con una presión controlada mediante una válvula y manómetro, el tiempo aproximado para lograr una oxidación completa y homogénea

es de aproximadamente 8 minutos, Fe^{+2} a Fe^{+3} . El oxígeno se toma de una tubería que ingresa al interior de la mina, este se almacena en un tanque cilíndrico cerrado (tanque pulmón), el efluente oxidado se descarga por gravedad por una tubería de 12 pulgadas de diámetro, hacia la sección siguiente. El proceso se realiza a temperatura y presión natural.



➤ ***Sección neutralización y formación de hidróxido de fierro III***

La tubería que conduce al efluente oxidado lo descarga al tanque reactor de forma cilíndrica, de acero al carbón forrado con jebe de 5,0 m de diámetro, por 5,0 m de altura, donde se adiciona 300 ml/min, de lechada de cal (1 555 Kg/día), el cual es agitado por un impulsor manteniendo en movimiento la lechada de cal para lograr una mezcla homogénea que permita alcanzar un pH mayor o igual a 8,5 unidades del pH, formando de esta manera el hidróxido de Fierro $\text{Fe}(\text{OH})_3$, el cual es un compuesto estable, el hidróxido formado es derivado hacia los dos sedimentadores de concreto armado.



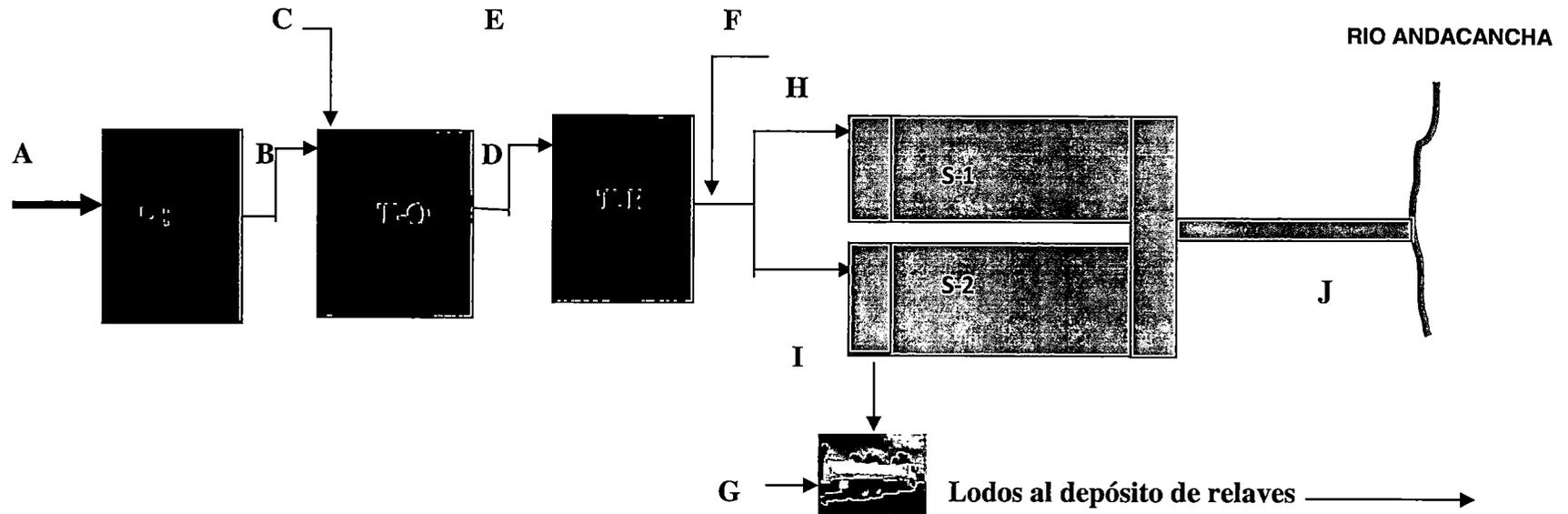
➤ ***Sección floculación***

El efluente con presencia de hidróxido, es derivado de los tanques reactores, hacia 2 sedimentadores de concreto armado de 26,9 m de largo por 7,40 m de ancho y 3,40 m de profundidad, mediante una tubería de 12 pulgadas de diámetro, se adiciona floculante magnaflock, el cual forma flóculos con las partículas que se encuentran en el seno del efluente y debido a la gravedad de su peso precipita, coprecipitando al mismo tiempo los metales de cobre, plomo y arsénico, respectivamente, obteniéndose de esta manera una agua limpia y transparente, con bajo contenido de elementos metálicos.

➤ ***Disposición de lodos***

Los lodos que se forman en el sedimentadores de 9 440 tn/día, serán bombeados en un carro cisterna, el cual lo trasladará hasta el depósito de relaves, para su disposición final. Ver plano N° 1.

Figura N° 7. Diagrama de bloques del Proyecto, Remoción de Metales Pesados de los Efluentes de la Mina Marcapunta Oeste.



6.1.4 Determinación de la capacidad de la planta en base a la información hidrológica y/o hidrogeológica

De acuerdo al estudio Investigación Hidrogeológica del Socavón Marcapunta Oeste, Mina Colquijirca. Efectuado por GROUND WATER INTERNATIONAL SAC. En el Ítem drenaje y bombeo de Marcapunta Oeste, señala que El Brocal inició el bombeo de Marcapunta Oeste. En esta temporada la descarga fue relativamente estable, aproximadamente 34 L/s, que probablemente representa la recarga estacional de una porción del cerro Marca Punta junto con la recarga desde los valles Huachuacaja y San Juan.

El Brocal inició la labor con una bomba con capacidad de aproximadamente 60 L/s. Actualmente están utilizando cuatro bombas de esta capacidad. Hasta el momento, el nivel piezométrico ha bajado aproximadamente 25 m debajo de la bocamina (4 169 msnm), de aproximadamente 210 m hasta el punto de inundación original (4 053 msnm). No hubo mucho avance desde junio, debido a la poca estabilidad de las rocas saturadas de las paredes del túnel del Grupo Mitu por más de un año. El flujo promedio para mantener esta posición, se estima en aproximadamente 120 L/s.

➤ *Oxidación*

Durante el proceso de oxidación se consume 100 Kg/día de O₂, el oxígeno se adiciona al efluente en el tanque de oxidación donde el tiempo de residencia es de 8 minutos, tiempo suficiente para oxidar el Fe⁺² a Fe⁺³. El tanque es de acero al carbón STANDARD API 620 de 1 pulgada de espesor, de 4,8 m de diámetro por 5,0 m de altura, cuya presión de entrada es de 14,7 PSI.

El suministro del oxígeno debe ser controlado, tratando en todo momento que el contacto entre el oxígeno con el efluente sea homogéneo, de tal manera que se logre la oxidación completa, el efluente oxidado es conducido hacia el tanque reactor de neutralización.

➤ *Neutralización*

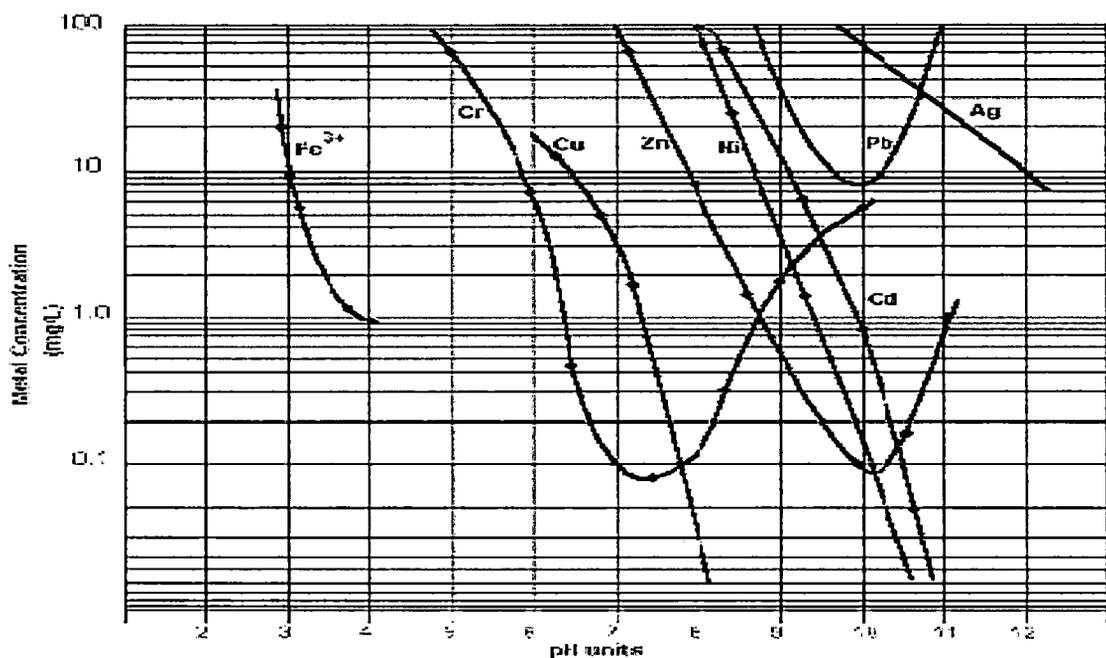
El método usado más común para quitar los iones solubles del metal es precipitar el ion como hidróxido metálico. El proceso puede ser automatizado y controlado fácilmente por un controlador simple del pH. Elevando el pH de la solución con un material alcalino común tal como cal o hidróxido del sodio (sosa), los compuestos metálicos se convierten en insolubles y son precipitados en la solución, en el presente caso se tiene que:

El efluente oxidado, se mezcla con 300 cc/s de lechada de cal, hasta alcanzar 8,5 unidades de pH, el tiempo de contacto se ha estimado en 20 minutos, en estas

condiciones el ion férrico contenido en el efluente se torna insoluble, formando el hidróxido de fierro III, e iniciándose el proceso de la precipitación. Coprecipitando al mismo tiempo los otros elementos metálicos, en forma de óxidos (Cu, Pb y As) que se encuentran en su seno, como se explica en el grafico N° 1. El efluente es conducido por gravedad mediante un canal hacia un sedimentador de concreto armado donde se realiza el proceso de sedimentación,

El proceso se realiza en dos reactores de acero al carbón de forma cilíndrica de 4,8 m de diámetro y 5,0 m de altura, con un espesor de $\frac{1}{4}$ de pulgada, forrado interiormente con una geomembrana, con sistema de agitación mecánico de paletas de 170 rpm, accionado mediante un motor con una potencia de 30 Kwatt, el tanque contara con 4 deflectores.

Figura N° 8. Grado de solubilidad de los elementos metálicos. (14)



6.1.5 Precipitación del fierro

Es la separación de sustancias por asentamiento gravitacional, mediante la adición de reactivos químicos que alteran su estado físico solubilidad (precipitantes, coagulantes, floculantes etc.). La precipitación química comprende tres pasos: coagulación, floculación y sedimentación, para el presente caso se tiene:

La sedimentación, se realiza en dos sedimentadores de concreto armado, de 26,9 m de largo por 7,0 m de ancho y 3,40 m de profundidad, cuyo tiempo de residencia es de 80 minutos, velocidad de sedimentación 0,24 cm/s, los 2 sedimentadores trabajan en paralelo, la limpieza de los sedimentadores, se hará mientras estos se encuentren trabajando, mediante un sistema de bombeo continuo de lodos, el cual será bombeado directamente a un tanque cisterna y trasladado a la planta concentradora, donde se recuperara los elementos metálicos valiosos.

6.1.6 Coprecipitación

Es el proceso mediante el cual una sustancia, que en condiciones normales es soluble, siendo arrastrado durante la precipitación de la sustancia deseada. (15).

La coprecipitación es un fenómeno físico químico, que se genera en el momento que se precipita el hidróxido de fierro III, ya que este se encuentra rodeado de una serie de cargas negativas debido a la presencia de sólidos suspendidos, radicales oxidrilos generado por la cal, iones de yeso y lamas, los cuales en su conjunto arrastran a los

elementos metálicos tales como el cobre, arsénico, plomo, cadmio, etc., limpiando de esta manera el efluente contaminado, a los valores establecidos en los ECAs y LMP, de la norma legal vigente.

6.1.7 Floculación

➤ Floculante

Polímero inorgánico (silicio activado) y polímeros naturales (almidones) eran los primeros que se utilizaban. Pero el uso de floculantes sintéticos a menudo da como resultado una cantidad mínima de lodo. Combinado con técnicas modernas de separación puede permitir producir un lodo muy denso que se puede tratar directamente en una unidad de desecación (16).

➤ Floculación

La floculación es el proceso de unión entre flóculos formados a fin de aumentar su volumen y peso de manera que pueden decantar. Consiste en la captación mecánica de las partículas neutralizadas dando lugar a un entramado de sólidos de mayor volumen. De esta forma, se consigue un aumento considerable del tamaño y la densidad de las partículas coaguladas, aumentando por tanto la velocidad de sedimentación de los flóculos (17).

Existen ciertos productos químicos llamados floculantes que ayudan al proceso de floculación. Un floculante aglomera las partículas individuales, aumentando la calidad del flóculo (más pesado y voluminoso).

Hay diversos factores que influyen en la floculación:

a) Agitación lenta y homogénea.

La floculación es estimulada por una agitación lenta de la mezcla puesto que así se favorece la unión entre los flóculos. Un mezclado demasiado intenso no interesa porque rompería los flóculos ya formados.

b) Temperatura del agua.

Generalmente, temperaturas bajas dificultan la clarificación del agua, por lo que se requieren periodos de floculación más largos o mayores dosis de floculante.

c) Tipos de floculantes

Según su naturaleza, los floculantes pueden ser:

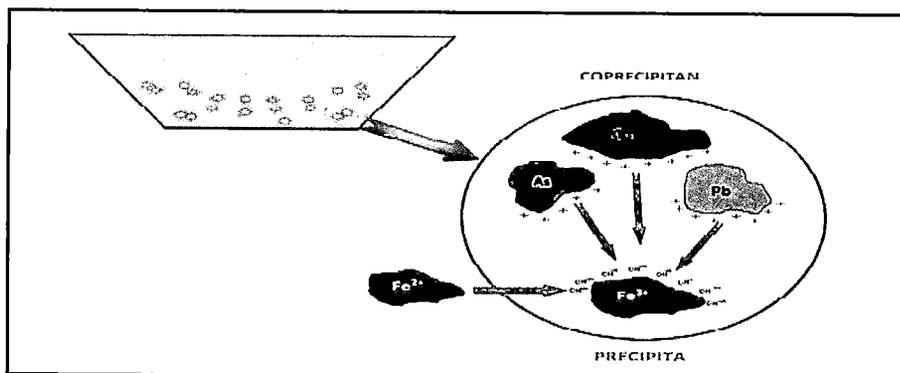
- **Minerales:** por ejemplo la sílice activada. Se le ha considerado como el mejor floculante capaz de asociarse a las sales de aluminio. Se utiliza sobre todo en el tratamiento de agua potable.

- Orgánicos: son macromoléculas de cadena larga y alto peso molecular, de origen natural o sintético.

Según el carácter iónico de estos grupos activos, se distinguen:

- Polielectrolitos no iónicos: son poliacrilamidas de masa molecular comprendida entre 1 y 30 millones.
- Polielectrolitosaniónicos: caracterizados por tener grupos ionizados negativamente (grupos carboxílicos) .
- Polielectrolitos catiónicos: caracterizados por tener en sus cadenas una carga eléctrica positiva, debida a la presencia de grupos amino.

Figura N° 9. Proceso de coprecipitación.



Fuente propia

La coprecipitación ocurre cuando las impurezas se incorporan al precipitado durante su formación.

El elemento metálico hierro precipita en forma de hidróxido de hierro III, por adición de la lechada de cal y floculante, por adsorción superficial, coprecipitando los elementos metálicos de cobre, arsénico y plomo, liberando de esta manera al efluente que proviene del interior de la mina Marcapunta Oeste de los elementos metálicos citados, con valores por debajo de los ECA.

6.1.8 Proceso de sedimentación

Tiene por objeto separar del agua cruda la arena y partículas en suspensión gruesa inferiores a 0,2 mm y superiores a 0,05 mm, con el fin de evitar se produzcan depósitos en las obras de conducción, proteger las bombas de la abrasión y evitar sobrecargas en los procesos posteriores de tratamiento.

Se construirán 2 sedimentadores, donde se precipitarán todos los lodos y partículas gruesas debido al floculante que se adiciona a la efluente que proviene del reactor químico, el tiempo de retención del efluente es de 1 hora 20 minutos, en este componente se debe precipitar los elementos metálicos en forma de hidróxido, residuos sólidos de los reactivos que no se diluyeron en su totalidad, así como los lodos que genera la cal, tales como yeso, lamas entre otros. El efluente final del sedimentador es un agua, que contiene elementos metálicos, cuyos valores se

encuentran por debajo de lo establecido en el Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM.

6.1.9 Composición y volúmenes de los residuos generados

Los residuos que genera el proceso de remoción de metales pesados de los efluentes de la mina Marcapunta Oeste, está conformado por metales, lamas, yeso en forma de lodos, de la manera siguiente:

Características del efluente

Caudal

$Q = 120 \text{ L/s}$.

Tabla N° 16. Concentración de los parámetros físicos y metálicos del efluente Marcapunta Oeste.

ELEMENTO	Unidades de pH
pH	5
STS mg/L	240
Fe mg/L	59,25
As mg/L	1,852

Cd mg/L	0,01
Cu mg/L	13,52
Pb mg/L	0,296
Zn mg/L	0,146
Mn mg/L	0,114

En la Tabla N° 17, se presenta el resumen de los residuos generados y en el Anexo N° 2 se encuentra los cálculos.

Tabla N° 17. Contenido metálico en el efluente, distribución (%), hidróxido formados y contenido de lodos totales.

ELEMENTOS	CONCENTRACION mg/L	PRECIPITACION mg/L	Nº DE PARTÍCULAS	DISTRIBUCIÓN %	HIDROXIDOS mg/L	PRECIPITACION mg/L	DISTRIBUCIÓN %	CONCENTRACION mg/L	DISTRIBUCIÓN %
STS	240							2488	26,12
Cal	0,15 gr/L	----	1555			2054		4774	50,13
Fierro	59,25	614		79,0	1174		82,18	1670	18,0
Arsénico	1,852	19,20		2,46	32,3		2,3	60,5	0,64
Cadmio	0,001	0,01		0,0013	0,013		0,00091	0,185	0,002
Cobre	13,52	140		18,0	215		15,05	434	4,6
Plomo	0,296	3,069		0,34	3,57		0,25	4,78	0,1
Zinc	0,146	1,51		0,187	2,30		0,161	5,0	0,1
Manganeso	0,114	1,18		0,14	1,90		0,13	3,6	0,04
TOTAL		779	1555	100,0	1429	2054	100,0	9440	100,0

6.1.10 Disposición de lodos

Los lodos que genera el proceso de tratamiento de las aguas del efluente de la mina Marcapunta Oeste, serán transportados hacia el depósito de relaves, para su disposición final, los lodos serán bombeados a un carro cisterna, el cual transportará dichos lodos. Aproximadamente se generará unas 9.44 toneladas de lodos por día. Ver plano N° 2.

6.1.11 Ubicación de la Planta

Área de terreno de la planta de remoción de metales pesados de los efluentes de la mina Marcapunta Oeste.

El terreno donde se construirá la nueva planta de remoción de metales pesados de los efluentes de la mina Marcapunta Oeste, se ubicará, en el área adyacente donde se encuentra actualmente los sedimentadores, ocupará un área de terreno aproximado de 900 m², de 100 m de largo, por 90 m de ancho. Ver plano N° 1

Suministro de reactivo

Los reactivos que se usaran en el proceso de remoción de metales pesados de los efluentes de la mina Marcapunta Oeste son los siguientes: CaO (cal) el cual será

adquirido en la ciudad de Lima, cuyo consumo diario es de 1 555 Kg/día, Flocculante también será adquirido en la ciudad de Lima (18 Kg/día), el oxígeno será tomado del aire que ingresa al interior mina mediante que proviene de la casa compresora (100 Kg/día).

➤ *Suministro de energía*

La puesta en marcha de la nueva planta de remoción de metales pesados de los efluentes de la mina Marcapunta Oeste, se hará con energía que se comprará a Electrocentro, la energía que se necesita para poner en operación la nueva planta es de 650 Kw/hora.

➤ *Mano de obra*

La mano de obra para poner en marcha la planta y mantenerla en operación continua, se necesitará de dos ingenieros y personal obrero 8 para operar la planta durante las 24 horas, durante los 7 días de la semana.

CAPITULO VII

7.1 DISEÑO DE LOS EQUIPOS DE LA PLANTA DE REMOCION DE METALES PESADOS DE LOS EFLUENTES DE LA MINA MARCAPUNTA OESTE

A continuación se presentan los cuadros donde se da a conocer las características del diseño de los equipos que conforman la construcción de la nueva planta de “Remoción de metales pesados de los efluentes de la mina Marcapunta Oeste”. La memoria del cálculo de diseño de dichos equipos se presenta en la sección Anexo N° 3.

7.1.1 Tanque agitador de oxidación

En la Tabla N° 18, se da a conocer las características de diseño de la poza de igualación, el cálculo en el Anexo N° 3.

Tabla N° 18. Características de diseño de la poza de homogenización

Caudal	120 L/s
Tiempo de residencia	2 h
Volumen de diseño	950 m ³
N° de pozas	1 poza
Longitud de la poza	40 m
Altura dela poza	2,70 m
Ancho de la poza	10 m
Velocidad del flujo	0,44 cm/s
Características del concreto armado	
Fuerza del concreto	280 Kg/cm ²
Ancho del concreto	0,25 m
Fierro corrugado	5/8 pulgada, malla total cada 20 cm, en ambos sentidos y en piso.
Piedra chancad y arena gruesa	50 x 50 %.

7.1.2 Tanque de oxígeno

En la Tabla N° 19, se da a conocer las características de diseño de los tanques de oxidación, que son en número de 2. El cálculo del diseño se da conocer en la sección Anexo N° 3.

Tabla N° 19. Características de diseño del tanque de oxidación

Caudal	120 L/s
Concentración del Fe^{+2}	59.25 mg/L
Tiempo de contacto para pasar de Fe^{+2} a Fe^{+3}	20 min
Volumen de diseño	158 m ³
N° de tanques de oxidación	2 tanques en paralelo
Diámetro del tanque	4,80 m
Altura del tanque	5,0 m
Agitador mecánico	Tipo turbina de 6 paletas.
Diámetro del impulsor	1,60 m
Altura de impulsor sobre el fondo	1,60 m
Ancho de paleta	0,32 m
Longitud de paleta del impulsor	0,40 m

Ancho de los deflectores	0,48 m
Numero de deflectores	4 deflectores
Diámetro del disco central	1,20 m
Potencia del motor requerido	44 Kw
Velocidad de agitación	260 r.p.m. (4,00 r.p.s).
Material de construcción del tanque	Acero al carbón
Código	STANDARD API 620
Espesor de la pared del cuerpo	¼ de pulgada

7.1.3 Tanque reactor de cal

En la Tabla N° 20, se da a conocer las características de diseño de los tanques reactores de Cal, que son en número de 2. El cálculo del diseño se da conocer en la sección Anexo N° 3.

Tabla N° 20. Características de diseño del tanque reactor de cal

Caudal	120 L/s
Volumen de diseño	155 m ³
N° de tanques reactores	2 tanques reactores

Diámetro del tanque	4,80 m
Altura del tanque	5,0 m
Agitador mecánico	Tipo turbina de 6 paletas.
Diámetro del impulsor	1,60 m
Altura de impulsor sobre el fondo	1,60 m
Ancho de paleta	0,32 m
Longitud de paleta del impulsor	0,40 m
Ancho de los deflectores	0,48 m
Numero de deflectores	4 deflectores
Diámetro del disco central	1,20 m
Potencia del motor requerido	44 Kw
Velocidad de agitación	260 r.p.m. (4,0 r.p.s).
Material de construcción del tanque	Acero al carbón
Código	STANDARD API 620
Espesor de la pared del cuerpo	¼ de pulgada

7.1.4 Tanque de preparación de lechada de cal

En la Tabla N° 21, se da a conocer las características de diseño del tanque de preparación de lechada de cal. El cálculo del diseño se da conocer en la sección Anexo N° 3.

Tabla N° 21. Características de diseño del tanque de lechada de cal.

Caudal	120 L/s
Concentración de la cal	10 g/L
Cal sólida en la lecha de cal	15 g de cal/ L
Consumo de cal seca	1555 Kg/día
Volumen de la lechada de cal	15 m ³
Diámetro del tanque	2,80 m
Altura del tanque	3,0 m
Agitador mecánico	Tipo turbina de 6 paletas.
Diámetro del impulsor	0,93 m
Altura de impulsor sobre el fondo	0,93 m
Ancho de paleta	0,13 m
Longitud de paleta del impulsor	0,24 m
Ancho de los deflectores	0,28 m
Diámetro del disco central	0,7 m
Potencia del motor requerido	20 Kw

Material de construcción del tanque	Acero al carbón
Código	STANDARD API 650
Espesor de la pared del cuerpo	¼ de pulgada

7.1.5 Sedimentador

En la Tabla N° 22, se da a conocer las características de diseño de los sedimentadores. El cálculo del diseño se da conocer en la sección Anexo N° 3.

Tabla N° 22. Características de diseño del sedimentador

Caudal	120 L/s
Tamaño de partícula	0,02 cm de diámetro
Temperatura del agua	11 °C
Densidad del efluente	1030 g/L
Viscosidad cinemática	1,274 cm ² /s
Densidad relativa	2,0
Tiempo de residencia	80 minutos
Volumen de diseño	560 m ³
Dimensiones del sedimentador	
Largo – ancho – altura	26,9 m - 7,40 m - 3,40 m
Velocidad horizontal	0,48 cm/s

Velocidad de sedimentación	0,38 cm/s
Coeficiente de arrastre	1222
Diseño de la pantalla difusa	
Velocidad de paso entre los orificios	0,08 m/s
Área total de los orificios	1,65 m ²
Numero de orificios	206 orificios
Porción de altura ocupada por los orificios	1,80 m
Numero de filas de orificios	10 filas
Número de columnas de orificios	21
Espaciamiento de los orificios entre las filas	0,18 m
Espaciamiento entre columnas	1,7 m
Características del concreto armado	
Fuerza del concreto	280 Kg/cm ²
Ancho del encofrado	0,30 m
Fierro corrugado	5/8 pulgada, malla total cada 20 cm en ambos sentidos y piso 50 %.
Piedra chancada y arena gruesa	

7.1.6 Sistema de bombas

En la Tabla N° 23, se da a conocer las características de diseño del sistema de bombeo. El cálculo del diseño se da conocer en la sección Anexo N° 4.

Tabla N° 23. Características de diseño del sistema de bombeo

Caudal	120 L/s
Concentración de sólidos por peso	$C_w = 5 \%$
Densidad del solido	$S = 1.2 \text{ t/m}^3$
Densidad de la pulpa	$\partial = 1.02 \text{ t/m}^3$
Presión de descarga	$H_p = 1 \text{ Atm}$
Altura estática de descarga	$Z_d = 8 \text{ m}$
Longitud equivalente de descarga	29.4 m
Velocidad de pulpa	1.69 m/s
Factor de fricción de Darcy, es igual a	$f = 0.00146.$
Perdida por fricción en la tubería de descarga	$H_f = 0.15$
Altura dinámica total	$H_w = 17.55$
Eficiencia de la bomba	$e_w = 82 \%$
Potencia requerida (P)	40 Kw

7.1.7 Disposición de residuos

El proyecto, generará lodos como residuos en el sedimentador, estos serán trasladados en un tanque cisterna al depósito de relaves para su disposición final. Los residuos que

genere el personal que operara la planta, serán dispuestos en los cilindros de colores, para su respectiva disposición final.

7.1.8 Tuberías

Las tuberías y accesorios, a ser usados, serán adquiridos en la ciudad de Lima y tendrá una inversión de \$ 21 000,00.

7.1.9 Tanque de Agua

Se construirá un tanque para almacenar agua, de concreto armado, cuya capacidad será de 12 m³, tendrá una inversión de \$. 9 500,00.

CAPITULO VIII

8.1 ESTIMACIÓN DE COSTOS Y EVALUACIÓN ECONÓMICA

8.1.1 Estimación del capital fijo

Este rubro está conformado por el capital fijo total y el capital de trabajo.

8.1.1.1 Costos directos

Comprende los costos directos e indirectos

El costo directo del proceso, comprende los rubros siguientes:

Poza de igualación, tanques agitadores para el proceso de oxidación, tanques reactores, tanque de preparación de cal, tanque para floculante, bombas centrifugas y sedimentadores.

En cuanto a los Auxiliares del proceso, dentro de ellos tenemos:

Tubería y accesorios con edificios y estructuras de 900m², las instalaciones eléctricas, pinturas y otros. Según el detalle del cuadro N° 1 (Anexo N° 6) el costo directo total asciende a la suma de \$ 697 044,00 (18).

8.1.1.2 Costos indirectos

Este rubro comprende lo siguiente:

La ingeniería y supervisión, se asume el 10 % del costo directo, la construcción de la planta (7), la comisión de contratistas, y finalmente los imprevistos que corresponde al 10% del costo total directo. La suma de todos estos costos, corresponde al costo físico de la planta, que asciende al monto de \$. 923 561,12. El costo de la puesta en marcha, corresponde al 10% del costo físico de la planta, \$. 92 356,11 y los intereses durante el periodo de complementación del proyecto que corresponde al 12% del costo físico de la planta \$. 110 924,00 (8). El costo fijo total es la suma de del costo directo y el costo indirecto, cuyas suma es de \$. 1 126 841,23.

8.1.1.3 Capital de inversión total

El capital de trabajo, está conformado por los rubros siguientes: Inventario de reactivos, costo anual de la cal, floculante y oxígeno. El efectivo disponible, se considera el 10% del inventario de reactivos (19), la suma asciende a \$ 201 954,00.

El capital de la inversión total para el proyecto, asciende al monto de \$. 1 328 795,23 como se detalla en el anexo 7.

8.1.1.4 Costos del proceso

Está conformado por lo siguiente:

Costo directo e indirecto y costo fijo.

A. Costo directo

➤ Reactivos:

Este rubro está conformado por el costo de los reactivos, ha sido considerado para un año de operación, continua.

- Oxígeno: el costo para producir este insumo es de \$ 1,20/kg de oxígeno, se consume 88 00 kg de oxígeno por día, el monto anual es de \$ 38 544,00.
- Cal: se consume 1 555 kg/día, el costo de cal es de \$. 0,20 /kg, cuyo monto anual es de \$. 113 515.
- Floculante: el costo es de \$. 4,80/kg, siendo el monto anual de \$.31 536,00.
- El costo anual de los reactivos asciende a la suma de \$. 183 595,00.

➤ ***Mano de obra***

La planta requiere 8 hombres para operar la planta, en dos turnos trabajando 12 horas diarias, durante los 7 días de la semana, el jornal promedio es de \$. 34,6329 por día, anualmente se estima un gasto de \$. 99 743,00.

3 *Supervisión de operación*

El costo de supervisión asciende a \$. 72 000,00, se considera 3 ingenieros con sueldos promedios de \$. 2 000,00 por mes.

➤ ***Suministro de energía y servicios***

El costo asciende a la suma de \$ 120 348,00.

➤ ***Mantenimiento y reparación***

En este rubro se considera el 6% del costo fijo, cuyo gasto asciende a \$ 97 270,00. El costo directo asciende a la suma de \$. 572 956,00. Ver anexo 6.

8.1.1.5 Costo indirecto

En este rubro comprende, cargas a la planilla y gastos de laboratorio.

➤ ***Carga a la planilla***

Comprende los gastos por concepto de beneficios sociales, se considera el 100% de los gastos de mano de obra y supervisión, el costo anual corresponde a \$ 171 743,00 (9).

➤ ***Gastos de laboratorio***

Los gastos para este ítem ascienden a la suma de \$. 15 800,00 por año, donde se monitorearán 2 puntos de control, 2 veces por semana. El costo indirecto del proceso asciende a la suma de \$. 187 543,00, ver Tabla N° 5.

8.1.1.6 Costo fijo

En el costo fijo, se considera los rubros siguientes:

- Depreciación: para determinar la depreciación se usa el método de la línea recta, con una vida útil de 10 años, se estima en \$. 187 543,00 (20).
- Impuestos: se considera el 2% del capital fijo cuyo monto es de\$.13 849,00.
- Seguros: se estiman en el 1% del capital fijo, cuyo monto es de \$. 6 924,00. El costo total del proceso asciende a \$. 850 518,00

CONCLUSIONES

1. En el Perú, los efluentes ácidos que provienen del proceso minero metalúrgico, ocasionan impactos ambientales y socioeconómicos.
2. Existe una serie de métodos que se vienen aplicando a nivel internacional, para remover los elementos metálicos de los efluentes mineros ácidos, contaminados con Hierro, Cobre, Plomo, Arsénico, a nivel internacional, en el presente caso se ha seleccionado el de tratarlo con oxígeno, lechada de cal y floculante.
3. El método señalado en el numeral anterior es fácil de ejecutar y económico.
4. El efluente crudo de la mina Marcapunta Oeste, es ácido porque tiene un pH igual a 5,0 unidades.
5. Tiene además contenidos apreciables de Sólidos Totales Suspendidos 240 mg/L y elementos metálicos pesados, como fierro con valores iguales a: Hierro 59,25 mg/L, Cobre 13,52 mg/L y Arsénico 1,852 mg/L. Dichos valores son superiores a lo establecido en el Decreto Supremo 010-2010-MINAM.
6. Los depósitos de cal y floculante actualmente, no cuentan con sistema de agitación, a fin de mantener homogénea su concentración y que su efecto neutralizador y coagulante sea eficiente. Y se obtenga agua limpia.
7. Las aguas del interior de la mina citada, todas se encuentran contaminadas, debido a la presencia del elemento Arsénico, valor más bajo es de 0,141 mg/l.
8. El impacto ambiental durante la ejecución de las alternativas A y B, es positivo moderado.

9. Ambas alternativas harán uso del criterio establecido por el Laboratorio de la UNI: Oxidación del efluente pasando el Fe^{+2} a Fe^{+3} , adición de lechada de cal y floculante. Obteniendo de esta manera un agua clara y transparente, con valores de elementos metálicos por debajo de lo establecido en la norma legal vigente.
10. Durante el proceso de investigación, se efectuó 3 corridas, donde se obtuvo valores de pH, Sólidos Totales en Suspensión, y elementos metálicos, dentro del Límite Permisible establecido en los Estándares de Calidad de Calidad Ambiental para Agua.
11. La remoción de los elementos metálicos del efluente de la mina citada, es óptima alcanzando un porcentaje promedio mayor a 90 % de eficiencia, lo cual indica que el proyecto cumple con su objetivo y factible de realizar.
12. La alternativa, A considera hacer uso de las instalaciones que existen actualmente, en interior mina (Cámara de turbulencia, sedimentadores 1 y 2, cámara de bombeo RB2), 10 bombas. Adicionando a ello la construcción de 3 sedimentadores nuevos en el área adyacente donde se ubican actualmente los sedimentadores, construcción de un nuevo canal, paralelo al que existe actualmente (desde donde se encuentran los tanques que reciben el efluente, hasta los actuales sedimentadores), acondicionamiento de los tanque para el uso de cal y floculante, así como el sistema eléctrico
13. La alternativa B Seleccionada, considera la construcción de una nueva planta de tratamiento el efluente minero de Marcapunta Oeste, el cual comprende Un tanque de igualación, 2 tanques de oxidación, 2 tanques reactores, dos sedimentadores de concreto armado, tanque para preparación de cal y floculante, un tanque de agua, sistema eléctrico, canales de conducción del efluente tratado hacia el río

Andacancha. La nueva planta será construida cerca al área adyacente donde actualmente se encuentran los sedimentadores, ocupará un área de 900 m².

14. La alternativa A, tiene una inversión de costo directo de \$/. 523 000,00, y será construido en 3 meses, mientras que la alternativa B de \$. 697 044,00, y el periodo de construcción será de 6 meses.
15. La calidad de las aguas del río Andacancha, mejorara sustancialmente y cumplirá con lo establecidos en los ECAs de calidad de agua.
16. Los lodos que generará el proyecto es de 9,44 t/día, el cual será dispuesto en el depósito de relaves.
17. El capital de inversión total de la Alternativa B seleccionada, comprende la suma de \$. 1 328 795,23.
 - **Costo directo:** asciende a la suma de \$ 697 044,00 (7).
 - **Costo indirecto:** comprende el costo físico de la planta, cuyo monto es de \$. 923 561,12, los intereses durante el periodo de complementación del proyecto \$. 110 924,00 (8). El costo fijo es de \$. 1 126 841,23.
 - **Capital de inversión total:** la suma asciende a \$ 201 954,00.
18. El desarrollo del presente trabajo, ha de servir para que empresas con similares características en su efluente minero, puedan ser tratados con el mismo criterio desarrollado para el efluente minero citado.
19. Espero que el presente trabajo de investigación, sirva para conocimiento de los alumnos que se están formando como profesionales, así como para profesionales, que les permita enriquecer sus conocimientos.

RECOMENDACIONES

1. El titular minero, debe construir una nueva planta, para tratar sus efluentes mineros que provienen de la mina Marcapunta Oeste.
2. El titular minero, debe desarrollar el estudio de factibilidad, que le permita realizar finalmente el estudio de ingeniería de detalle para desarrollar el proyecto.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Remoción de metales pesados por medios no convencionales ingeniero Lina Inés AgoubordeManosalva .Pag. (6, 7, 8, 9, y 10). Año 2008 – Chile.
- (2) Modificación del Estudio de Impacto Ambiental, Proyecto de Ampliación de operaciones a 18 000 TMD. Sociedad Minera El Brocal S.A. Capitulo 1. Pg. 8. Año 2011. Lima – Perú.
- (3) Remoción de metales pesados por medios no convencionales ingeniero Lina Inés AgoubordeManosalva .pag. 6. año 2008 – Chile.
- (4) Remoción de metales pesados por medios no convencionales ingeniero Lina Inés AgoubordeManosalva .Pag. 7. Año 2008 – Chile.
- (5) Remoción de metales pesados por medios no convencionales ingeniero Lina Inés AgoubordeManosalva .Pag. 8-9. Año 2008 – Chile.
- (6) Remoción de metales pesados por medios no convencionales ingeniero Lina Inés AgoubordeManosalva .Pag. 9. Año 2008 – Chile.
- (7) Remoción de metales pesados por medios no convencionales ingeniero Lina Inés AgoubordeManosalva .Pag. 10. Año 2008 – Chile.
- (8) Remoción de metales pesados por medios no convencionales ingeniero Lina Inés AgoubordeManosalva .Pag. 23. Año 2008 – Chile.
- (9) Optimización del sistema de tratamiento de los efluentes mineros de la zona Marcapunta Oeste de la U.E.A. Colquijirca Sociedad Minera el Brocal S.A.A. Empresa Mercantil S.A. Año 2012. Lima Perú

- (10) Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Asuntos Ambientales. Guía Ambiental para el Manejo de Drenaje Acido de Minas. Volumen IV. Pg. 9, 11, 12 , 13, 14 y 20. Año 1997. Lima Perú.
- (11) Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS/OPS) Tratamiento de Agua para Consumo Humano. Plantas de Filtración Rápida Manual I: Teoría Tomo I. Capítulo 4 Coagulación y Capitulo 6 Floculación-Año 2006. Lima- Perú.
- (11) <http://es.wikipedia.org/wiki/Floculaci%C3%B3n>. Lima Perú.
- (12) <http://definicion.de/sedimento/#ixzz2DuUEgR7A>. Lima Perú
- (13)http://es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Tratamiento_f%C3%ADsico-qu%C3%ADmico. Lima – Perú.
- (14) <mhtml:file:///G:/Precipitaci3n de Hidroxidos Met3licos.mht>. Visitado el 07/03/2012. Lima Perú.
- (15) Ingeniería de aguas residuales/Tratamiento físico-químico. Wikilibros. Visitado 16/02/2012.
- (16).http://es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Tratamiento_f%C3%ADsico-qu%C3%ADmico. Lima – Perú.
- (16) Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS/OPS) Tratamiento de Agua para Consumo Humano. Plantas de Filtración Rápida Manual I: Teoría Tomo I. Capítulo 4 Coagulación y Capitulo 6 Floculación-Año 2006. Lima- Perú.
- (17) Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS/OPS) Tratamiento de Agua para Consumo Humano. Plantas de Filtración Rápida Manual I: Teoría Tomo I. Capítulo 4 Coagulación y Capitulo 6 Floculación-Año 2006. Lima- Perú.
- (18) Peter M.S.&Timmerhaus, “Plant Design and economic for Chemical Engineers. Pág. 136. SegundaEdición MC-Graw – Hill. Book Co Inc. 1968 New York.

(19) Peter M.S.&Timmerhaus, "Plant Design and economic for Chemical Engineers.

Pág. 136. SegundaEdición MC-Graw – Hill. Book Co Inc. 1968 New York.

(20) Peter M.S.&Timmerhaus, "Plant Design and economic for Chemical Engineers.

Pág. 136. SegundaEdición MC-Graw – Hill. Book Co Inc. 1968 New York.

SECCIÓN ANEXOS

ANEXO 1
CÁLCULO DE REACTIVOS USADOS

CÁLCULOS DE REACTIVOS USADOS EN EL PROYECTO

PROYECTO: REMOCIÓN DE METALES PESADOS DE LOS EFLUENTES DE LA MINA MARCAPUNTA OESTE

El cálculo de los reactivos a ser usados, durante la remoción del cobre y los otros elementos metálicos, como plomo, arsénico y fierro, se ha realizado para un caudal de 120 L/s, a continuación se presenta los cálculos realizados en los reactivos siguientes:

1. CAL

$$\text{CaO} = 120 \text{ L/s} \times 0,15 \text{ g/L} \times 86400 \text{ s/día} \times 1\text{Kg}/106\text{mg} = 1555 \text{ Kg/día.}$$

El consumo de cal seca será de 1555 Kg/día.

2. FLOCULANTE

Durante la corrida se usó 0,05% de floculante magnafloc en 100 ml de efluente. Lo que significa, una concentración de floculante igual a:

0.05 g de magnafloc en 100 ml de agua destilada. 0,0005 g/ml.

Floculante que se adiciona a 200 ml de efluente, 6 gotas, igual a 0,3 ml de lechada de cal, en los 0,3 ml hay 0,00015 g.

- $120 \text{ L/s} \times 0,005 \text{ g/L} \times 86\,400 \text{ s/día} = 51\,840 \text{ g/día}$
- $0,6 \text{ g/s} \times 51\,840 \text{ g/día} \times 1\text{Kg}/1\,000\text{g} = 51,82 \text{ Kg/día}$ de magnaflock.
- 51,82 Kg/día.

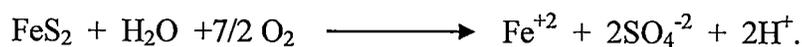
3. OXÍGENO

Con relación al consumo de oxígeno, se tiene lo siguiente:

Concentración del $\text{Fe}^{+2} = 59,29 \text{ mg/L}$Dato del informe de laboratorio.

Flujo del efluente $1230 \text{ L/s} = 10368 \text{ m}^3/\text{día}$.

$10368 \text{ m}^3/\text{día} \times 59,25 \text{ mg/L} \times 1000 \text{ L/m}^3 \times 1 \text{ Kg}/106 \text{ mg} = 614,3 \text{ Kg } \text{Fe}^{+2}/\text{día}$.



Se necesita 1 Kg de oxígeno, para oxidar el Fe^{+2} , a Fe^{+3} , para oxidar 614,3 Kg de Fe^{+2} , se necesitará.

$$614,3 \text{ Kg/día de Fe}^{+2} / (7 \text{ Kg Fe}^{+2} / 1 \text{ Kg O}_2) = 97,8 \text{ Kg O}_2/\text{día}.$$

100 Kg de Oxígeno/día.

ANEXO 2

COMPOSICIÓN Y VOLUMENES DE RESIDUOS

**PROYECTO: REMOCION DE METALES PESADOS DE LOS EFLUENTES DE
LA MINA MARCAPUNTA OESTE.**

➤ **COMPOSICIÓN Y VOLUMENES DE LOS RESIDUOS**

Está conformado por metales, lamas, yeso en forma de lodos, de la manera siguiente:

Características del efluente

Caudal

$$Q = 120 \text{ L/s}$$

**Cuadro N° 1. Concentración de los parámetros físicos y metálicos del efluente
Marcapunta Oeste.**

ELEMENTO	Concentraciones
pH Unidades	5
STS, mg/L	240
Fe mg/L	59,25
As, mg/L	1,852
Cd, mg/L	0,01
Cu, mg/L	13,52
Pb, mg/L	0,296
Zn, mg/L	0,146
Mn, mg/L	0,114

1. SÓLIDOS TOTALES SUSPENDIDOS

Concentración 240 mg/L

$$\text{S.T.S} = 120 \text{ L/s} \times 240 \text{ mg/L} \times 86400 \text{ s/día} \times 1\text{Kg}/10^6 \text{ mg} = 2488 \text{ Kg/ día.}$$

$$\text{S.T.S} = 2488 \text{ Kg/día.}$$

El proceso genera 2488 K/día de sólidos totales suspendidos.

2. CAL

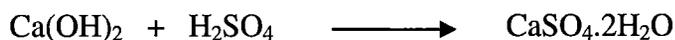
$$\text{CaO} = 120 \text{ L/s} \times 0,15 \text{ g/L} \times 86400 \text{ s/día} \times 1\text{Kg}/106\text{mg} = 1555 \text{ Kg/dia.}$$



$$\text{Ca(OH)}_2 = 1555 \times 74/56 = 2054 \text{ Kg/día}$$

La cal genera 2054 Kg/día de residuos.

Lodos de cal



$$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 2054 \times 172/74 = 4774 \text{ Kg/día.}$$

3. **FIERRO**

Concentración 59,25 mg/L

$$\text{Fe} = 120 \text{ L/s} \times 5025 \text{ mg/l} \times 86400 \text{ s/día} \times 1 \text{ Kg}/106 \text{ mg} = 614 \text{ Kg/ día}$$

$$\text{Fe} = 614 \text{ Kg/día}$$

El proceso genera 4774 Kg/día como lodos de cal.



$$\text{Fe(OH)}_3 = 614 \times 107/56 = 1174 \text{ Kg/Día.}$$



$$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 1174 \times 308/214 = 1670 \text{ Kg/día}$$

$$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 1670 \text{ Kg/día Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O.}$$

Durante la optimización del efluente de la mina Marcapunta Oeste, se generar 1670 Kg/día de fierro en forma de $\text{Fe}(\text{SO}_4)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

4. **ARSÉNICO**

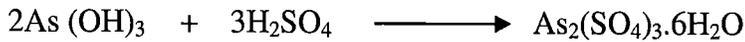
$$\text{As} = 120 \text{ L/s} \times 1,852 \text{ mg/L} \times 86400 \text{ s/día} \times 1 \text{ Kg}/10^6 \text{ mg} = 19,20 \text{ Kg/día.}$$

Durante el proceso de tratamiento del efluente se generará 19,20 Kg/día de Arsénico.



$$\text{As(OH)}_3 = 19,2 \times 126/75 = 32,3 \text{ Kg/día.}$$

Lodos de arsénico



$$\text{As}(\text{SO}_4)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 498 \times 30,5/252 = 60,5 \text{ Kg/día.}$$

Durante la remoción del efluente de la mina Marcapunta Oeste, se generará 60,5 Kg/día de arsénico en forma de $\text{As}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

5. CADMIO

$$\text{Cd} = 120 \text{ L/s} \times 0,001 \text{ mg/L} \times 86400 \text{ s/día} \times 1\text{Kg}/10^6\text{mg} = 0,010 \text{ Kg/día.}$$

El proceso genera 0,010 Kg/día de cadmio.



$$\text{Cd}(\text{OH})_2 = 0,01 \times 146,4/112 = 0,013 \text{ Kg/día.}$$

Lodos de cadmio



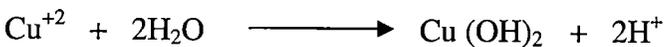
$$\text{CdSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 0,185 \text{ Kg/día.}$$

Durante la remoción de los metales pesados del efluente de la mina Marcapunta Oeste, se generará 0,185 Kg/día de cadmio en forma de $\text{CdSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

6. COBRE

$$\text{Cu} = 120 \text{ L/s} \times 13,52 \text{ mg/L} \times 86400 \text{ s/día} \times 1\text{Kg}/10^6\text{mg} = 140 \text{ Kg/día.}$$

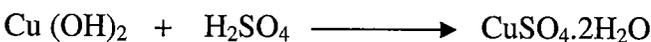
El proceso genera 140 Kg/día.



$$\text{Cu}(\text{OH})_2 = 140 \times 98/64 = 215 \text{ Kg/L}$$

$$\text{Cu}(\text{OH})_2 = 215 \text{ Kg/L}$$

Lodos de cobre

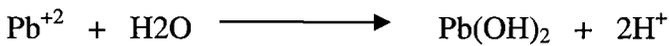


$$\text{CuSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 215 \times 198/98 = 434 \text{ Kg/día}$$

Durante la remoción de los metales pesados del efluente de la mina Marcapunta Oeste, se generará 434 Kg/día de cobre en forma de $\text{CuSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

7. PLOMO

$$\text{Pb} = 120 \text{ L/s} \times 0,296 \text{ mg/L} \times 86400 \text{ s/día} \times 1\text{Kg}/10^6\text{mg} = 3,069 \text{ Kg/día.}$$



$$\text{Pb(OH)}_2 = 3,069 \times 241,3/207,2 = 3,57 \text{ Kg/día.}$$

$$\text{Pb(OH)}_2 = 3,57 \text{ Kg/día.}$$

Lodos de plomo

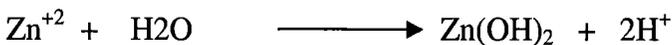


$$\text{PbSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 3,57 \times 323,2/241,3 = 4,78 \text{ Kg/día.}$$

Durante la optimización del efluente de la mina Marcapunta Oeste, se generará 4,78 Kg/día de plomo en forma de $\text{PbSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

8. ZINC

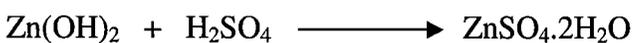
$$\text{Zn} = 120 \text{ L/s} \times 0,146 \text{ mg/L} \times 86400 \text{ s/día} \times 1\text{Kg}/10^6\text{mg} = 1,51 \text{ Kg/día.}$$



$$\text{Zn(OH)}_2 = 1,51 \times 99,4/65,4 = 2,3 \text{ Kg/día}$$

$$\text{Zn(OH)}_2 = 2,3 \text{ Kg/día}$$

Lodos de zinc

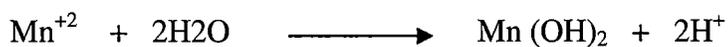


$$\text{ZnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 2,3 \times 197,4/99,4 = 5,0 \text{ Kg/día.}$$

El proceso generara 5,0 Kg/día de lodos de zinc.

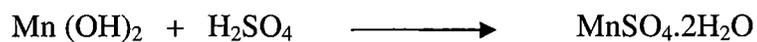
9. MANGANESO

$$\text{Mn} = 120 \text{ L/s} \times 0,114 \text{ mg/L} \times 86400 \text{ s/día} \frac{1\text{Kg}}{10^6\text{mg}} = 1,18 \text{ Kg/día.}$$



$$\text{Mn}(\text{OH})_2 = 1,18 \times \frac{90}{56} = 1,90 \text{ Kg/día}$$

Lodos de manganeso



$$\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 1,90 \frac{172}{90} = 3,6 \text{ Kg/día.}$$

Durante la remoción de los metales pesados del efluente de la mina Marcapunta Oeste, se generará 3,6 Kg/día de manganeso en forma de $\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Cuadro N° 1-1. Contenido metálico en el efluente, distribución (%), hidróxido formados y contenido de lodos totales.

PARAMETROS	CONCENTRACIÓN Mg/L	METALES Kg/día	NO METAL Kg/día	DISTRIBUCIÓN %	HIDROXIDOS Kg/día	HIDROXIDO Kg/día NO METAL	DISTRIBUCIÓN %	LODOS Kg/día	DISTRIBUCIÓN %
STS	240							2488	26,12
Cal	0,15 gr/L	---	1555			2054		4774	50,13
Fierro	59,25	614		79,0	1174		82,18	1670	18,0
Arsénico	1,852	19,20		2,46	32,3		2,3	60,5	0,64
Cadmio	0,001	0,01		0,0013	0,013		0,00091	0,185	0,002
Cobre	13,52	140		18,0	215		15,05	434	4,6
Plomo	0,296	3,069		0,34	3,57		0,25	4,78	0,1
Zinc	0,146	1,51		0,187	2,30		0,161	5,0	0,1
Manganeso	0,114	1,18		0,14	1,90		0,13	3,6	0,04
TOTAL		779	1555	100,0	1429	2054	100,0	9440	100,0

ANEXO 3

MEMORIA DE CÁLCULO DE LOS EQUIPOS

MEMORIA DE CÁLCULO DE LOS EQUIPOS

PROYECTO: REMOCION DE METALES PESADOS DE LOS EFLUENTES DE LA MINA MARCAPUNTA OESTE

1. CAPACIDAD DE DISEÑO

El diseño del sistema de remoción de metales pesados de los efluentes de la mina Marcapunta Oeste, se efectúa teniendo en cuenta los criterios siguientes:

- Caudal de diseño 120 L/s.
- Se aplicará criterios establecidos, cuyas fuentes se encuentran en textos, estudios desarrollados, normas legales vigentes en nuestro país, guías, Etc.

El diseño requiere procesos de:

- Oxidación
- Diseño del reactor
- Sedimentación
- Área de secado
- Disposición de lodos.

1.2 PARAMETROS

- En el cuadro N° 1, se da a conocer los parámetros del punto de control N-1.

Cuadro N° 1. Características de los Parámetros del Efluente

PARAMETROS	VALORES
pH Unidades de pH	5,0
STS - mg/L	240
As - mg/L	1,852
Cd – mg/L	0,001
Cu - mg/L	13,52
Fe - mg/L	59,25
Pb - mg/L	0,296
Zn - mg/L	0,146
Mn - mg/L	0,114

2. DISEÑO DE LOS COMPONENTES

2.1 POZA DE HOMOGENIZACION

Caudal 120 L/s

$Q = 432 \text{ m}^3/\text{h}$

➤ **Se asume tiempo de residencia 2 h**

$$V = 432 \text{ m}^3/\text{h} \times 2 \text{ h}$$

$$V = 864 \text{ m}^3$$

➤ Para efectos de diseño, se considera un 10 %, mas al volumen original, por seguridad.

$$V_D = 864 \times 1,1 = 950 \text{ m}^3$$

$$V_D = 950 \text{ m}^3$$

$$V_D = A \times h$$

➤ Relación $L/a = 4$, entonces $L = 4 a$. Donde $L =$ longitud, $a =$ ancho.

➤ Profundidad de la poza se asume en 2 m, siendo la altura total igual a:

$$h = 2 \text{ m} + \text{borde libre} + \text{altura de lodos}$$

$$h = 2 \text{ m} + 0,30 \text{ m} + 0,60 \text{ m} = 2,90 \text{ m}.$$

Reemplazando datos se tiene:

$$a = \sqrt{950/(4 \times 2.90)} = 10 \text{ m}.$$

$$L = 4 (10) = 40 \text{ m}.$$

- **Dimensiones de la poza de igualación: Largo 40 m; ancho 10 m y profundidad 2,90 m.**

La poza será construida con concreto armado, cuyas paredes tendrán un ancho de 0,25 m, se usará fierro corrugado de 5/8 pulgada, respectivamente la mezcla del concreto será de piedra chancada y arena gruesa al 50 %. Malla total cada 0,20 m, en ambos sentidos y en el piso, la potencia del concreto será de 280 Kg/cm².

- **Calculo de la velocidad del flujo (V_f):**

$V_f = Q/a \times h$, reemplazando datos tenemos:

$$V_f = (0,120 \text{ m}^3/\text{s}) / 10 \text{ m} \times 2,7 \text{ m} = 0,0044 \text{ m/s}$$

$$V_f = 0,44 \text{ cm/s.}$$

2.2 DISEÑO DEL TANQUE DE OXIDACIÓN

- Concentración del $\text{Fe}^{+2} = 59,25 \text{ mg/L}$
- Cantidad de $\text{Fe}^{+2}/\text{día}$, que se genera.

$$10\,368 \text{ m}^3/\text{día} \times 59,25 \text{ mg/L} \times 1\,000 \text{ L/m}^3 \times 1 \text{ Kg}/106 \text{ mg} = 614 \text{ Kg/día Fe}^{+2}$$



Por regla de tres se tiene que:

$$(614 \text{ Kg/día Fe}^{+2}) / (7\text{Kg Fe}^{+2})/1 \text{ Kg O}_2 = 88 \text{ Kg O}_2$$

- La densidad del Oxígeno es: $1,429 \text{ Kg/m}^3$
- El volumen molar del Oxígeno es: $17,36 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}$
- Cálculo del Oxígeno que se consume por día.

$$Q_{\text{O}_2} = 88 \text{ Kg/día}/1,429 \text{ Kg/m}^3 = 0,062 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_{\text{O}_2} = 0,1 \text{ m}^3/\text{día}.$$

- **Dimensionamiento del tanque de oxidación**

$$\text{Caudal } Q = 120 \text{ L/s}$$

$$10\,368 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q = 432 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$QT = Q_{O_2} + Q = 0,1 \text{ m}^3/\text{día} + 10\,368 \text{ m}^3/\text{día} = 10\,368,1 \text{ m}^3/\text{día}$$

- Tiempo de contacto entre el efluente y el O_2 , para oxidar el F^{+2} a F^{+3} , se estima en 20 min.

- **Cálculo del volumen del tanque**

$$V = Q \times t$$

$$V = 10\,368,1 \text{ m}^3/\text{día} \times 20 \text{ min} \times 1 \text{ día}/1440 \text{ min} =$$

$$V = 144 \text{ m}^3$$

- Para efectos de diseño, se considera un 10 %, mas al volumen original, por seguridad.

$$V_D = 144 \times 1.1 = 158 \text{ m}^3$$

$$V_D = 158 \text{ m}^3$$

Se considera 2 tanques de oxidación, los cuales trabajarán en paralelo., con 43.2 m^3 de efluente.

El tanque es de forma cilíndrica, se asume que la relación $D = h$. Entonces el

- **Volumen del tanque queda establecido:**

$$V_D = A \times h:$$

$$A = 0,3927 \times D^2$$

$V = (0,3927 \times D^2) \times D$. Resolviendo se tiene:

$$D = 4,8 \text{ m.}$$

$$h_t = h + \text{Borde libre} = 4,8 + 0,20 \text{ m} = 5,0 \text{ m}$$

$$h_t = 5,0 \text{ m.}$$

➤ **Cálculo del agitador mecánico**

Se selecciona un agitador de turbina de 6 paletas planas.

➤ **Diámetro del impulsor (d)**

Se estima en un tercio el diámetro del tanque.

$$D = 4,8/3 = 1,6 \text{ m.}$$

➤ **Altura del impulsor sobre el fondo (h')**

Se asume igual al diámetro del impulsor.

$$h' = 1,6 \text{ m}$$

➤ **Ancho de la paleta (b)**

Se asume la quinta parte del diámetro del impulsor

$$B = 0,32 \text{ m.}$$

➤ **Longitud de la paleta del impulsor (B)**

Se asume la cuarta parte del diámetro del impulsor

$$B = 0,4 \text{ m.}$$

➤ **Ancho de los deflectores (e)**

Se considera la décima parte del diámetro del tanque

$$E = 0,48 \text{ m.}$$

➤ **Número de deflectores**

El número de deflectores en el tanque de oxidación, son 4 montados desde el fondo hasta la superficie del tanque.

➤ **Diámetro del disco central (a)**

Se considera la cuarta parte del diámetro del tanque.

$$A = 1,20 \text{ m}$$

➤ **Cálculo de la potencia requerida**

$$P = G^2 \times \mu \times V$$

Donde:

G = Gradiente de velocidad S-1

μ = Viscosidad dinámica del agua Kg/m-s

V = Volumen efectivo del tanque

$$P = (700\text{S}^{-1})^2 \times 1,139 \times 10^{-3} \text{ Kg/m-s} \times 79 \text{ m}^3$$

$$P = 44\,090 \text{ K/m}^2 - \text{S}^2$$

$$P = 44 \text{ Kw.}$$

➤ **Cálculo de la velocidad de agitación**

$$N = (P/K \times \rho \times d^5)^{1/3}$$

P = Potencia requerida: Watt

K = Constante 6,3

ρ = Densidad del agua. Kg/m³

d = Diámetro del impulsor: m

N = Número de revoluciones por minuto: r.p.m

$$N = 44\,090/6,3 \times 1\,000 \times 1,60 = 4,37 \text{ r.p.m}$$

$$N = 260 \text{ r.p.s.}$$

2.3 REACTOR DE CAL

➤ Caudal

$$Q = 120 \text{ L/s}$$

$$Q = 432 \text{ m}^3/\text{h}$$

- El tiempo de contacto entre el efluente oxidado y la cal, se asume en 20 minutos.

➤ Volumen del reactor

$$V = Q \times t$$

$$V = 432 \text{ m}^3/\text{h} \times 20 \text{ min} \times 1\text{h}/60 \text{ min}$$

$$V = 144 \text{ m}^3.$$

➤ Volumen de diseño

Para efectos de diseño (V_d), se incrementa el volumen al 10 %.

$$V_d = 144 \text{ m}^3 \times 1,10 = 155 \text{ m}^3.$$

Es necesario contar con 2 reactores de cal, los cuales deben operar en forma paralela, siendo el volumen de cada uno de ellos de 79 m^3 .

Se asume que $D = h$

$$D = \sqrt{4 \times 79/3,1416} = 4,65 \text{ m}$$

$$D = 4,80 \text{ m}$$

Altura del reactor (h_t)

$$h_t = h + \text{borde libre} = 4,80 \text{ m} + 0,2$$

$$h_t = 5 \text{ m.}$$

➤ **Cálculo del agitador mecánico**

Se selecciona un agitador de turbina de 6 paletas planas.

➤ **Cálculo del diámetro del impulsor (d)**

Se estima la tercera parte del diámetro del reactor.

$$d = 1,6 \text{ m}$$

➤ **Altura del impulsor sobre el fondo (h')**

Se asume igual al diámetro del impulsor.

$$h' = 1,6 \text{ m}$$

➤ **Ancho de la paleta (b)**

Se asume la quinta parte del diámetro del impulsor (10)

$$B = 0,32 \text{ m.}$$

➤ **Longitud de la paleta del impulsor (B)**

Se asume la cuarta parte del diámetro del impulsor

$$B = 0,4 \text{ m.}$$

➤ **Ancho de los deflectores (e)**

Se considera la decima parte del diámetro del tanque (10)

$$e = 0,48 \text{ m.}$$

➤ **Numero de deflectores**

El número de deflectores en el tanque de oxidación, son 4 montados desde el fondo hasta la superficie del tanque.

➤ **Diámetro del disco central (a)**

Se considera la cuarta parte del diámetro del tanque.

$$a = 1,20 \text{ m.}$$

➤ **Cálculo de la potencia requerida**

$$P = G^2 \times \mu \times V$$

Donde:

G = gradiente de velocidad S-1

μ = Viscosidad dinámica del agua Kg/m-s

V = Volumen efectivo del tanque

$$P = (700 \text{ s}^{-1})^2 \times 1,139 \times 10^{-3} \text{ Kg/m-s} \times 79 \text{ m}^3$$

$$P = 44 \text{ 090 K/m}^2 - \text{s}^2$$

$$P = 44 \text{ Kw}$$

➤ **Cálculo de la velocidad de agitación**

$$N = (P/K \times \rho \times d^5)^{1/3}$$

P = Potencia requerida: Watt

K = Constante 6,3

ρ = Densidad del agua. Kg/m³

d = Diámetro del impulsor: m

N = Número de revoluciones por minuto: r.p.m

$N = 44\ 090/6,3 \times 1\ 000 \times 1,60 = 4,37$ r.p.s.

N = 260 r.p.m.

Cuadro N° 2.3-1. Características de diseño del tanque reactor de cal

Caudal	120 L/s
Volumen de diseño	155 m ³
N° de tanques reactores	2 tanques reactores
Diámetro del tanque reactor	4,80 m
Altura del tanque reactor	5,0 m
Agitador mecánico	Tipo turbina de 6 paletas.
Diámetro del impulsor	1,60 m
Altura de impulsor sobre el fondo	1,60 m
Ancho de paleta	0,32 m
Longitud de paleta del impulsor	0,40 m
Ancho de los deflectores	0,48 m
Numero de deflectores	4 deflectores
Diámetro del disco central	1,20 m
Potencia del motor requerido	44 Kw
Velocidad de agitación	260 r.p.m.
Material de construcción del tanque	Acero al carbón
Código	STANDARD API 620
Espesor de la pared del cuerpo	¼ de pulgada

2.4 TANQUE DE PREPARACIÓN DE LECHADA DE CAL

Concentración de CaO en la solución de lechada de cal: 10 g/L.

Consumo de cal sólida en un litro de lechada de cal: 0,15 g/L de lechada de cal que se adiciona al efluente oxidado.

Consumo de cal seca

$$\text{CaO} = 120 \text{ L/s} \times 0,15 \text{ g/L} \times 86\,400 \text{ s/día} \times 1 \text{ Kg}/1\,000 \text{ g} = 1\,555 \text{ Kg/día.}$$

Lechada de cal (L_{cal}): la Relación Lechada de cal a cal seca es de 0,1, con esto se tiene que el peso de la lechada de cal es:

$$L_{\text{cal}} = 1\,555/0,1 = 15\,550 \text{ Kg/día}$$

La densidad de la lechada de cal es $\rho = 1\,100 \text{ Kg/m}^3$

$$V_{\text{cal}} = 15\,550 \text{ Kg}/1\,100 \text{ Kg/m}^3$$

$$V_{\text{cal}} = 15,0 \text{ m}^3 \text{ de lechada de cal.}$$

➤ **Volumen de diseño**

Para efectos de diseño (V_d), se incrementa el volumen al 10 %.

$$V_d = 15,0 \text{ m}^3 \times 1,10 = 17 \text{ m}^3$$

Dimensionamiento del tanque de lechada de cal

Se asume que el $D = h$

$$D = \sqrt{4 \times 17/3,1416}$$

$$D = 2,80 \text{ m}$$

$$h_t = h + \text{borde libre} = 2,80 + 0,20 = 3,0 \text{ m.}$$

➤ ***Cálculo del agitador mecánico***

Se selecciona un agitador de turbina de 6 paletas planas.

➤ ***Diámetro del impulsor (d)***

Se estima en un tercio el diámetro del tanque.

$$D = 2,8/3 = 0,93 \text{ m.}$$

➤ ***Altura del impulsor sobre el fondo (h')***

Se asume igual al diámetro del impulsor.

$$h' = 0,93 \text{ m.}$$

Ancho de la paleta (b)

Se asume la quinta parte del diámetro del impulsor

$$B = 0,13 \text{ m}$$

➤ Longitud de la paleta del impulsor (B)

Se asume la cuarta parte del diámetro (0,93 m) del impulsor

$$b = 0,24 \text{ m}$$

➤ Ancho de los deflectores (e)

Se considera la décima parte del diámetro del tanque

$$e = 0,28 \text{ m.}$$

➤ Número de deflectores

El número de deflectores en el tanque de oxidación, son 4 montados desde el fondo hasta la superficie del tanque.

Diámetro del disco central (a)

Se considera la cuarta parte del diámetro del tanque.

$$a = 0,7 \text{ m.}$$

➤ *Cálculo de la potencia requerida*

$$P = G^2 \times \mu \times V.$$

Donde:

G = gradiente de velocidad S-1

μ = Viscosidad dinámica del agua Kg/m-s

V = Volumen efectivo del tanque

$$P = (500 \text{ S}^{-1})^2 \times 0,0045 \text{ Kg/m-s} \times 15 \text{ m}^3$$

$$P = 17\,212.5 \text{ K/m}^2 - \text{S}^2$$

$$P = 20 \text{ Kw.}$$

➤ *Cálculo de la velocidad de agitación*

$$N = (P/K \times \rho \times d^5)^{1/3}$$

P = Potencia requerida: Watt

K = Constante 6,3

ρ = Densidad del agua. Kg/m³

d = Diámetro del impulsor: m

N = Número de revoluciones por minuto: r.p.m

$N = 17\ 212 / 6,3 \times 1\ 100 \times 0,93 = 3,0$ r.p.s

N = 180 r.p.m.

Cuadro N° 2.4-1. Características de diseño del tanque de preparación de lechada de cal.

Caudal	120 L/s
Concentración de la cal	10 g/L
Cal sólida en la lechada de cal	15 g de cal/ litro
Consumo de cal seca	1 555 Kg/día
Volumen de la lechada de cal	15 m ³
Diámetro del tanque	2,80 m
Altura del tanque	3,0 m
Agitador mecánico	Tipo turbina de 6 paletas.
Diámetro del impulsor	0,93 m
Altura de impulsor sobre el fondo	0,93 m
Ancho de paleta	0,13 m
Longitud de paleta del impulsor	0,24 m
Ancho de los deflectores	0,28 m
Diámetro del disco central	0,7 m
Potencia del motor requerido	20 Kw
Material de construcción del tanque	Acero al carbón
Código	STANDARD API 650
Espesor de la pared del cuerpo	¼ de pulgada

2.5 DISEÑO DE LOS SEDIMENTADORES

➤ *Caudal de diseño*

$$Q = 120 \text{ L/s}; \quad Q = 432 \text{ m}^3/\text{h}. \quad Q = 0,12 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Caudal de diseño } Q = 120 \times 1,1 = 132 \text{ L/s.}$$

➤ *Determinación del área superficial*

$$A_s = Q/V_s$$

Datos para el cálculo de la velocidad de sedimentación (V_s)

- El tamaño de la partícula es aproximadamente 0,02 cm de diámetro
- Temperatura del agua 11°C. La densidad del efluente es 1 030 g/L.
- Viscosidad cinemática $\eta = 1,274 \text{ cm}^2/\text{s}$
- Densidad relativa $\rho_r = 2,3$

➤ *V_s : Velocidad de sedimentación m/s.*

$$V_s = 1/18 \times 981 \text{ m/s}^2 / [2,3 - 1,0] / (1,274)^2 \times 0,02^2 = 0,022 \text{ cm/s}$$

$$\text{➤ } V_s = 0,022 \text{ m/s}$$

➤ Comprobar el número de Reynolds

$$Re = (0,022 \times 0,02)/1.274 = 2,6 \times 10^{-3}$$

Si la V_s es 0,022 cm/s, del gráfico N° 1 se tiene que el número de Reynolds es igual a 1×10^{-2} .

El número de Reynolds 1×10^{-2} es mayor a $2,6 \times 10^{-3}$, valor que se encuentra dentro de la Ley de Stokes.

Termino de la velocidad de sedimentación

$$V_s/[g(\rho_r - 1)\eta]^{1/3} = 0,02$$

$$V_s = 0,02 \times [g(\rho_r - 1)\eta]^{1/3} = 11,7566 \times 0,02 = 0,24 \text{ cm/s.}$$

Del gráfico N° 1 se tiene que con una velocidad de sedimentación de 0,24, se tiene un N_{Re} igual a 0,02, valor que se encuentra dentro de lo que establece la Ley de Stokes.

Determinar el coeficiente de arrastre:

$$C_D = 24/Re + 3/\sqrt{Re} + 0,34$$

$$C_D = 24/0,02 + 3/\sqrt{0,02} + 0,34$$

$$C_D = 1222.$$

Entonces la velocidad de sedimentación de los sedimentadores será:

$V_s = \sqrt{4/3 \times 8/CD (\rho_s - 1) d}$. Reemplazando datos se tiene que la velocidad de sedimentación será de 00,2 cm/s.

- Si se asume una eficiencia del 75 %, de acuerdo con la gráfica 3 se adopta un coeficiente de seguridad igual a 1,62.

$A_s = (Q \times \text{coeficiente de seguridad} / A_s)$

$A_s = 0,132 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,62 / 0,0002 \text{ m/s} = 1\,069 \text{ m}^2$

➤ **Dimensiones:**

Se asume la relación $L/a = 4$, entonces $L = 4a$

$4 a \times a = 1\,069 \text{ m}^2$

Ancho = 16 m

Longitud = 16 m x 4 = 64 m.

De acuerdo a los valores obtenidos, es necesario considerar 2 sedimentadores cuyas longitudes sea igual a 16 m y ancho de 8 m cada uno.

➤ **Cálculo de la velocidad horizontal**

$$V_h = 0,132 \text{ m}^3/\text{s} / 1\,069 \text{ m}^2 = 0,00012 \text{ m/s.}$$

➤ **Para el diseño del sedimentador se tiene:**

- Caudal $Q = 0,132 \text{ m}^3/\text{s}$
- Velocidad del efluente en el sedimentador $0,0002 \text{ m/s}$.

➤ **Se determina el área superficial A_s**

$$A_s = 0,132 \text{ m}^3/\text{s} / 0,0002 \text{ m/s} = 660 \text{ m}^2$$

Se asume la relación siguiente:

$$L/a = 4, \text{ entonces se tiene que } L = 4a$$

Si área es igual a $A = L a$. Reemplazando valores se tiene que:

$$L = 4 \times 16 \text{ m} = 64 \text{ m}$$

Para calcular la altura del sedimentador se establece la relación $L/H = 10$

Reemplazando valores se tiene que:

$$H = L/10$$

$$H = 2.6 \text{ m.}$$

La altura total $H_t = H + 0.20 \text{ m de borde libre} + \text{altura de lodos} = 3.0 \text{ m}$

Cálculo del volumen del sedimentador:

$$V_s = 26 \times 7,0 \times 3,00 = 546 \text{ m}^3$$

Determinación del tiempo de residencia (T°)

$$T^\circ = V/Q = 546 \text{ m}^3/475 \text{ m}^3/\text{h} = 1 \text{ h } 20 \text{ minutos.}$$

➤ Dimensionamiento total del sedimentador

La distancia entre la entrada y la pantalla difusora (L_1), se asume en 0,70 m, por lo tanto la longitud total del sedimentador es de:

$$L_t = 26,0 \text{ m} + 0,70 \text{ m} + \text{espesor de la pantalla} = 26,90 \text{ m}$$

$$L_t = 26,90.$$

La relación $L_a = 26,90/7 = 4,45$, valor que está dentro del rango de (3 – 6), lo que indica que el diseño es conforme.

La relación $L/H = 5$ a 20

$$26,90/3,0 = 89,6. \text{ Esta dentro del rango.}$$

Nota: Se debe construir dos sedimentadores de 26,90 m de largo 7,0 m de ancho y 3 m de profundidad.

➤ **Diseño de la pantalla difusora**

Se asume que la velocidad de paso entre los orificios sea de $V_o = 0,08 \text{ m/s}$.

➤ **El área total de los orificios (A_o)**

$$A_o = Q / V_o$$

$$A_o = 0,132 \text{ m}^3/\text{s} / 0,08 \text{ m/s} = 1,65 \text{ m}^2$$

- Se adopta un diámetro de orificio de (d_o) de 0,10 m
- Se determina el diámetro de cada orificio $a_o = \pi/4(D)^2$

Donde $a_o = 0,008 \text{ m}^2$

➤ **Se determina el número de orificio**

$$N = A_o/a_o = 1,65/0,008 = 206 \text{ Orificios}$$

- **Se determina la porción de la altura de la pantalla difusora, ocupada con orificios.**

$$H = H - 2/5 H = 3,0 - 2/5 \times 3,0 = 1,8$$

$$H = 1,8 \text{ m.}$$

- Se asume un número de filas de orificios n_f igual a 10 filas.
- El número de columnas es $N_c = 206/10 = 21$ columnas
- Se determina el espaciamiento de los orificios entre las filas a_1 .

$$a_1 = h/h_f = 1.8/10 = 0,18 \text{ m.}$$

- **Espaciamiento entre columnas a_2**

$$a_2 = B - a_1 (n_c - 1)/2$$

$$a_2 = 7.0 - 0,18 (21 - 1)/2 = 1,70 \text{ m}$$

Cuadro N° 2.5-1. Características de diseño del sedimentador

Caudal	120 L/s
Tamaño de partícula	0,02 cm de diámetro
Temperatura del agua	11 °C
Densidad del efluente	1 030 g/L
Viscosidad cinemática	1,274 cm ² /s
Densidad relativa	2,0
Tiempo de residencia	80 minutos
Volumen de diseño	560 m ³
Dimensiones del sedimentador	
Largo – Ancho - Altura	26,9 m - 7,40 m - 3,40 m
Velocidad horizontal	0,00012 cm/s
Velocidad de sedimentación	0,24 cm/s
Coeficiente de arrastre	1222
Diseño de la pantalla difusa	
Velocidad de paso entre los orificios	0,08 m/s
Área total de los orificios	1,65 m ²
Numero de orificios	206 orificios
Porción de altura ocupada por los orificios	1,80 m
Numero de filas de orificios	10 filas
Número de columnas de orificios	21
Espaciamiento de los orificios entre las filas	0,18 m
Espaciamiento entre columnas	1,7 m
Características del concreto armado	
Fuerza del concreto	280 Kg/cm ²
Ancho del encofrado	0,30 m
Fierro corrugado	5/8 pulgada, Malla total cada 20 cm en ambos sentidos y piso.
Piedra chancada y arena gruesa	50 X 50 %.

2.6 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO DE LA POZA DE IGUALACIÓN

Nº de bombas : 4.

Caudal : $Q = 120 \text{ L/s}$

Concentración de sólidos por peso : $C_w = 5 \%$

Densidad del solido : $S = 1,2 \text{ t/m}^3$.

Densidad de la pulpa : $\partial = 1,02 \text{ t/m}^3$

Presión de descarga : $H_p = 1 \text{ Atm.}$

Altura estática de descarga : $Z_d = 8 \text{ m}$

Altura estática de admisión : $Z_a = 1.2 \text{ m}$

Diámetro de la tubería : $d = 300 \text{ mm}$

Accesorios

2 codos de 45° 1 x 6.2 = 12,2 m

Longitud de tubería de descarga = 16,0 m

Longitud de tubería de admisión = 1,2 m

Longitud equivalente de descarga = 29,4 m

Calculo de la altura dinámica total metros – columna de pulpa.

a) Presión de entrada a los tanques de oxidación

$$H_p = 1 \text{ atm} = 1,033 \text{ Kg/cm}^2$$

$$H_p = (1.0333 \times 10)/1.02 = 10,13 \text{ m} - \text{columna de pulpa.}$$

b) Altura estática de descarga

$$Z_d = 8,0 \text{ metros de columna.}$$

$$\text{Altura estática de admisión} = 1,20 \text{ metros de columna.}$$

c) Perdida por fricción en la tubería de descarga

Velocidad de pulpa

$$V = 127 \times Q/d^2 = 127 \times 120/(300)^2 = 1,69 \text{ m/s.}$$

Conociendo el $D = 330 \text{ m}$ y velocidad = $1,69 \text{ m/s}$, se va al grafico N° 3 y se determina que el Factor de fricción de Darcy, es igual a $f = 0,00146$.

Reemplazando este valor en la ecuación $H_f = (f \times L \times v^2) / d \times 2g$.

$$H_f = \{0,0146 \times 29,4 \times (1,69)^2\} / 0,3 \times 2 \times 9,81 = 0,15.$$

Pérdida por reductor:

$$H = 11,15 [4.10 - 1,69]^2 / 2 \times 9,81 = 0,34$$

d) Pérdida por tubería de admisión:

$$H_f = 0,0146 \times 2 \left[\frac{1,69^2}{0,3 \times 2 \times 9,81} \right] = 0,0142$$

Perdida de admisión.

$$H_i = 0,5 \times V^2/2g = 0,5 \times [1,69]^2/2 \times 9,81 = 15,8 \text{ m.}$$

Conociendo el diámetro $d = 300 \text{ mm}$ se va a la figura N° 5 y se determina el valor $H_R = 0,90$.

Con este valor calculamos la altura dinámica total en metros de columna de agua.

$$H_w = H_m/H_R = 15,8/0,9 = 17,55 \text{ metros de columna de agua.}$$

De la curva característica de la bomba figura (7), con $Q = 120 \text{ L/s}$ y

$$H_w = 17,55$$

Se determina la eficiencia de la bomba $e_w = 82 \%$

Potencia requerida (P).

$$P = Q \times H_w \times \rho / 1,02 \times e_w$$

De otro lado $H_m = H_w \times H_r$

$$E_m = e_m \times H_r$$

Entonces reemplazando datos tenemos:

$$P = 120 \times 17,55 \times 1,02/1,02 \times 82 = 24,56. \text{ Kw}$$

La bomba requerida es de 30 Kw.

Se elije una bomba de 40 Kw.

Numero de bombas requeridas 2 bombas para la poza de igualación y 2 bombas para bombear los lodos del sedimentador.

Cuadro N° 2.6-1. Características de diseño del sistema de bombeo

Caudal	120 L/s
Concentración de sólidos por peso	$C_w = 5 \%$
Densidad del sólido	$S = 1,2 \text{ t/m}^3$
Densidad de la pulpa	$\partial = 1,02 \text{ t/m}^3$
Presión de descarga	$H_p = 1 \text{ Atm}$
Altura estática de descarga	$Z_d = 8 \text{ m}$
Longitud equivalente de descarga	29,4 m
Velocidad de pulpa	1,69 m/s
Factor de fricción de Darcy, es igual a	$f = 0,00146.$
Perdida por fricción en la tubería de descarga	$H_f = 0,15$
Altura dinámica total	$H_w = 17,55$
Eficiencia de la bomba	$e_w = 82 \%$
Potencia requerida (P)	40 Kw

Cuadro N° 2.6-2. Balance de consumo de energía de los equipos.

N°	EQUIPO	N°	POTENCIA Kw	POTENCIA Kw
1	Bombas	4	40	160
2	Tanques de oxidación	2	50	100
3	Tanques reactores	2	50	100
4	Tanque lechada de cal	1	20	20
5	Tanque de floculante	1	20	20
6	Otros			100
TOTAL				500

ANEXO 4

RESULTADOS ANALÍTICOS – 25/06/2011.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
Instituto de Minería y Medio Ambiente

PARAMETROS FISICO-QUIMICOS, METALES Y REMOCIÓN DEL COBRE DE EFLUENTE DE AGUA.

SOLICITADO: SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A.

Procedencia de Muestras: Labor Subterránea

Recepción de muestras: Lima, 25 de Julio del 2011

Atención: Ing. César Rodríguez, Ing. Juan Pinillos

1.- MUESTRAS DE AGUA EVALUADAS

Muestras	Descripción
1	Interior mina
5	Antes de poza de sedimentación
6	Después de poza de sedimentación

Av. Túpac Amará N° 210, Lima 25, Apartado 1301-Perú
Teléfono: (511) 4824427, Central Telefónica (511) 4811070, Anexo 386
e-mail: labespectro@uni.edu.pe

MARCO REFERENCIAL

El D.S. N° 010-2010-MINAM de fecha 21 de Agosto del 2010 indica en su anexo 01 la implementación de los siguientes Límites Máximos Permisibles.

LÍMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA LA DESCARGA DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE ACTIVIDADES MINERO-METALÚRGICAS

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el promedio anual
pH	mg/L	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

* En muestra no filtrada

Los parámetros fisico-químicos y metales fueron determinados según Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater -19th Edition 2005.

2.- RESULTADO DEL ANALISIS DE AGUAS DE MINA

Muestras	pH	Sólidos Totales en suspensión mg/L	As total mg/L
1	5,0	240	1,852
5	5,3	33	0,222
6	5,6	32	0,001
Límite en cualquier momento D.S. N° 010-2010-MINAM	6-9	50	0,1
Límite para el promedio anual D.S. N° 010-2010-MINAM	6-9	25	0,08

Muestras	Cd total mg/L	Cu total mg/L	Fe total mg/L	Pb total mg/L
1	0,001	13,52	59,25	0,296
5	0,001	2,29	6,19	0,119
6	0,002	1,97	5,73	0,155
Límite en cualquier momento	0,05	0,5	2	0,2
Límite para el promedio anual D.S. N° 010-2010-MINAM	0,04	0,4	1,6	0,16

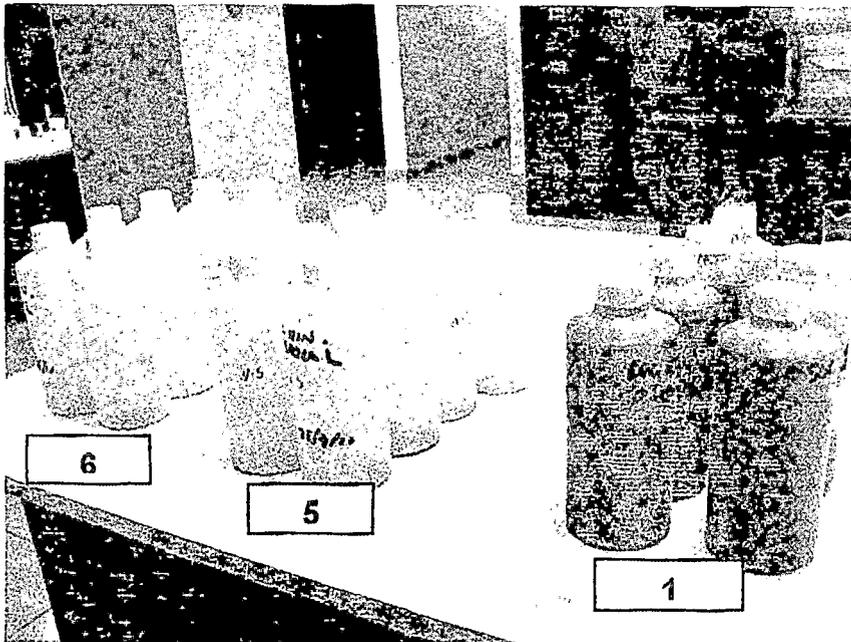
Muestras	Zn total mg/L	Mn total Mg/L
1	0,146	0,114
5	0,050	0,090
6	0,075	0,089
Límite en cualquier momento	1,5	
Límite para el promedio anual D.S. N° 010-2010-MINAM	1,2	

Los resultados de caracterización geoquímica de los efluentes indican la necesidad de la optimización de los sistemas de tratamiento para la remoción principalmente del cobre, sólidos totales en suspensión y otros elementos como As, Fe que serían coprecipitados durante la etapa de optimización de los procesos de remoción asimismo el ajuste del pH.

3.- ALTERNATIVA DE REMOCIÓN DEL COBRE Y SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN

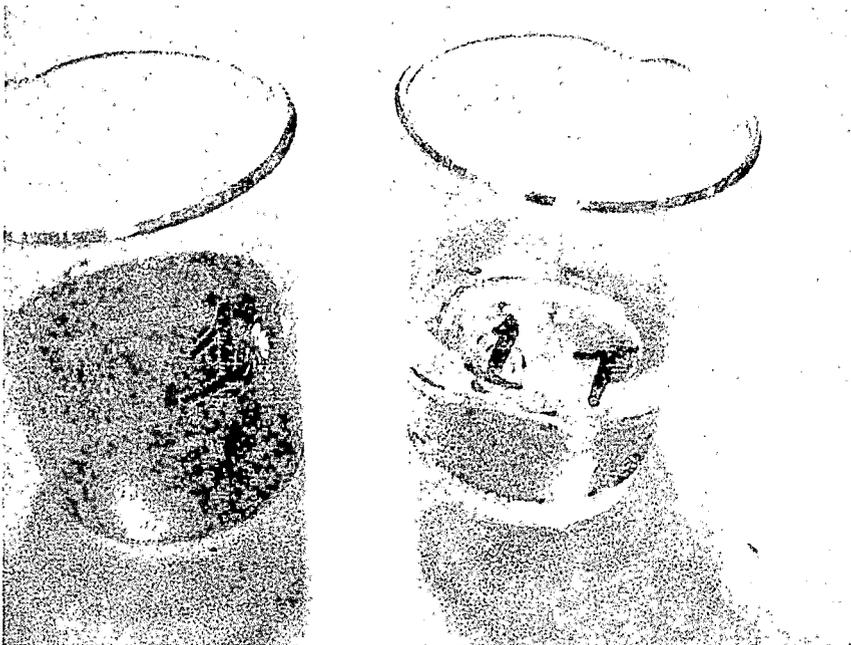
- 3.1 De acuerdo a las características geoquímicas las aguas del Interior mina, antes de la poza de sedimentación y después de la poza de sedimentación ; tienen valores del pH de 5,0, 5,3 y 5,6 ; esto es débilmente ácidos ; por lo cual es necesario una neutralización con cal en una primera etapa.
- 3.2 El ajuste del pH se realiza con una lechada de cal aplicada a la muestra 1 del interior de mina hasta un pH entre 8- 8,5 ; seguida de una agitación hasta formación de hidróxidos de hierro y coprecipitación del cobre con una adición final de floculante a fin de aumentar la velocidad de sedimentación del lodo.

MUESTRAS EVALUADAS



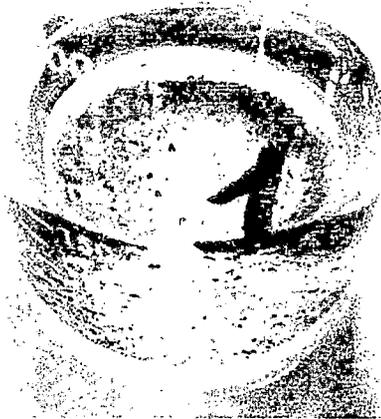
Frascos con aguas del Interior de mina (1) con alto contenido de sólidos totales en suspensión, antes de la poza de sedimentación(5) y después de la poza de sedimentación(6) ; donde los valores del pH son 5,0, 5,3 y 5,6

MUESTRA DE AGUA INICIAL Y TRATADA



Muestra de agua de interior mina (1) antes del tratamiento y la muestra tratada (1T) mostrando transparencia con los sólidos removidos en el fondo del vaso.

MUESTRA TRATADA



La muestra tratada con cal hasta un pH de 8-8,5 además de la adición de un floculante permite obtener un agua tratada con 0,079 mg/L de cobre.

PARAMETROS DE DOSIFICACIÓN

Consumo de cal :

Concentración : 10 gramos de cal / Litro (cal con 61,76% de CaO total)

Consumo en pruebas : 0,03 gramos cal/200 ml de agua a tratar

Consumo en 1 litro : 0,15 gramos cal/Litro de agua a tratar

Esto significa un consumo de 150 gramos cal/m³ de agua a tratar.

Para un caudal de 120 Litros/minutos equivale a un tratamiento de 172,8 m³/día.

Entonces el consumo de cal sería 172,8 m³/día x 150 gramos de cal/m³ ; lo cual es igual a 25920 gramos de cal/día equivalente a 25,92 Kg cal/día

Consumo de floculante

Concentración de floculante magnafloc = 0,05 % w/V

Consumo 0,75 gramos/m³

Para un caudal de 120 Litros/minutos; el consumo sería 129,6 gramos de floculante/día.

CONCLUSIONES

1.-Se obtiene una óptima remoción del cobre en la muestra 1 porque contiene un alto valor de hierro que ayuda a coprecipitar al cobre, sólidos suspendidos y otros elementos. Esto no sucede con las muestras de agua 5 y 6 donde el contenido de hierro es menor.

2.-La remoción del cobre en la muestra de interior mina llega aun valor de 0,079 mg/L menor al valor de 0,2 mg/L exigido en los ECAs.

Lima, 3 de Agosto del 2011



MSc. Atilio Mendoza Apolaya
Director del Instituto de Minería y Medio Ambiente



ANEXO 5

RESULTADOS ANALITICOS – 12/09/2011.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
Instituto de Minería y Medio Ambiente

ANALISIS DE DIEZ MUESTRAS DE AGUA PROCEDENTES DE MINA MARCAPUNTA OESTE SEGÚN D.S. N° 010-2010

SOLICITADO: SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.

Procedencia de Muestras: Mina Marcapunta Oeste –Mina El Brocal

Recepción de muestras : Lima, 12 de Setiembre del 2011

Referencia : Ing. Juan Pinillos

1.- MUESTRAS DE AGUA EVALUADAS

N° Laboratorio	Muestra	Descripción
1	MO-1	Punto ubicado en la rampa 538 (Tope)
2	MO-2	Cámara de la bomba N°7, rampa 538
3	MO-3	Cámara de bombeo N°4
4	MO-4	Agua que ingresa a la cámara 597
5	MO-5	Efluente natural que proviene de la galería 575-N y 675-S
6	MO-6	Agua que proviene de galería 560
7	MO-7	Efluente tomado después de la descarga del sedimentador 1
8	N-1	Efluente de la cámara de turbulencia (antes de los sedimentadores-interior mina)
9	N-5	Efluente antes de sedimentadores fuera de la mina (al pié de bomba wifley)
10	N-6	Efluente aguas debajo de los sedimentadores exteriores)

Av. Túpac Amará N° 210, Lima 25, Apartado 1301-Perú

Teléfono: (511) 4824427 , Central Telefónica (511) 4811070, Anexo 386

e-mail: labespectro@uni.edu.pe

2.- MARCO REFERENCIAL

El D.S. N° 010-2010-MINAM de fecha 21 de Agosto del 2010 indica en su anexo 01 la implementación de los siguientes Límites Máximos Permisibles.

LÍMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA LA DESCARGA DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE ACTIVIDADES MINERO-METALÚRGICAS

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el promedio anual
pH	mg/L	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

* En muestra no filtrada

Los parámetros físico-químicos y metales fueron determinados según Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater -19th Edition 2005.

3.- RESULTADO DEL ANALISIS DE AGUAS DE MINA MARCAPUNTA OESTE

Nº Laboratorio	Muestra	pH	Sólidos Totales en suspensión mg/L	Aceites y grasas mg/L	Cianuro Total mg/L	As total mg/L
1	MO-1	5,6	298	0,012	0,001	0,338
2	MO-2	5,3	311	0,014	0,001	0,248
3	MO-3	5,4	222	0,011	0,001	0,148
4	MO-4	4,9	3	0,033	0,002	0,141
5	MO-5	4,8	5	0,040	0,002	0,358
6	MO-6	7,7	104	0,002	0,001	0,136
7	MO-7	7,2	61	0,003	0,001	0,379
8	N-1	5,4	14	0,011	0,001	0,709
9	N-5	7,0	56	0,012	0,001	0,830
10	N-6	7,0	3	0,002	0,001	1,189
Límite en cualquier momento D.S. Nº 010-2010-MINAM		6-9	50	20	1	0,1
Límite para el promedio anual D.S. Nº 010-2010-MINAM		6-9	25	16	0,8	0,08

Nº Laboratorio	Código	Cd total mg/L	Cr Hexavalente mg/L	Cu total mg/L	Fe Disuelto mg/L	Pb total mg/L
1	MO-1	0,001	0,002	4,47	11,76	0,092
2	MO-2	0,002	0,001	4,85	12,21	0,167
3	MO-3	0,001	0,002	4,72	3,85	0,054
4	MO-4	0,001	0,002	1,45	0,33	0,002
5	MO-5	0,001	0,003	1,95	0,59	0,002
6	MO-6	0,002	0,004	0,15	0,23	0,001
7	MO-7	0,001	0,005	0,19	0,30	0,002
8	N-1	0,001	0,001	2,45	8,04	0,133
9	N-5	0,001	0,003	0,22	0,29	0,002
10	N-6	0,004	0,008	0,37	0,15	0,006
Límite en cualquier momento		0,05	0,1	0,5	2	0,2
Límite para el promedio anual D.S. Nº 010-2010-MINAM		0,04	0,08	0,4	1,6	0,16

Nº Laboratorio	Código	Hg total mg/L	Zn total mg/L
1	MO-1	0,0011	0,067
2	MO-2	0,0012	0,080
3	MO-3	0,0011	0,064
4	MO-4	0,0002	0,030
5	MO-5	0,0008	0,023
6	MO-6	0,0005	0,041
7	MO-7	0,00004	0,005
8	N-1	0,0001	0,053
9	N-5	0,0008	0,004
10	N-6	0,0005	0,023
Límite en cualquier momento		0,002	1,5
Límite para el promedio anual D.S. N° 010-2010-MINAM		0,0016	1,2

Los resultados de caracterización geoquímica de los efluentes indican la necesidad de la optimización de los sistemas de tratamiento para la remoción principalmente del **cobre, hierro, arsénico, sólidos totales en suspensión** y neutralización del **pH**, los otros elementos ocurren en menor proporción y serían coprecipitados durante la etapa de optimización de los procesos de remoción.

Lima, 01 de Diciembre del 2011


MSc. Atilio Mendoza Apolaya

Director del Instituto de Minería y Medio Ambiente



ANEXO 6

COSTOS DEL PROYECTO

**ESTIMACION DE COSTOS Y EVALUACION ECONÓMICA DEL
PROYECTO**

**PROYECTO: REMOCION DE METALES PESADOS DE LOS EFLUENTES
DE LA MINA MARCAPUNTA OESTE**

Índice de cuadros

Cuadro N° 1. Detalle del costo fijo total.	2
Cuadro N° 2. Costo directo del proceso.....	3
Cuadro N° 3. Costo indirecto del proceso.....	3
Cuadro N° 4. Costo fijo.....	4
Cuadro N° 5. Costo total del proceso.....	4

Cuadro N° 1. Detalle del costo fijo total.

COSTOS DIRECTOS		
Equipos de proceso	Cantidad	Costo Total \$/.
Poza de igualación	1	70000,00
Tanques agitadores	2	125 000,00
Tanques reactores	2	140 444,00
Tanque para preparación de cal	1	32 000,00
Tanque para floculante	1	12 600,00
Bombas centrifugas verticales	2	36 000,00
Sedimentadores de concreto armado y disipadores	2	128 000,00
Total		544 044,00
Auxiliares de proceso	Cantidad	Costo Total
Tubería y accesorios	—	21 000,00
Instrumentación	—	38 000,00
Terrenos para edificios y estructuras	—	76 000,00
Instalaciones eléctricas	—	12 000,00
Pinturas y otros	—	6 000,00
Total		153 000,00
Total de Costo Directo		697 044,00
COSTOS INDIRECTOS		
Ingeniería y supervisión (10% C.D.)	—	69 704,40
Construcción de la planta	—	66 197,00
Comisiones de contratistas (3% C.D.)	—	20 911,32
Imprevistos (10% C.D.)	—	69 704,40
Costo Físico de la Planta (C.F.P.)		923561,12
Costo puesta en marcha (10% C.F.P.)	—	92 356,11
Intereses durante el periodo de complementación del proyecto	—	110924,00
COSTO FIJO TOTAL		1 126 841,23
CAPITAL DE TRABAJO		
Inventario de reactivos		183 595,00
Efectivo disponible		18 359,00

TOTAL	\$/ 201 954,00
CAPITAL DE INVERSION TOTAL	
Costo fijo total	1 126 841,23
Capital de trabajo	201 954,00
INVERSION TOTAL	1 328 795,23

COSTO TOTAL DEL PROCESO

Cuadro N° 2. Costo directo del proceso

COSTO DIRECTO DEL PROCESO	
1. Reactivos	\$/ 183 595,00
2. Mano de obra	99 743,00
3. Supervisión y operación	72 000,00
4. Suministro de energía y servicios	120348,00
5. Mantenimiento y reparación	97 270,00
Costo total directo	\$/ 572 956,00

Cuadro N° 3. Costo indirecto del proceso

COSTO INDIRECTO DEL PROCESO	
1. Cargas a la planilla	\$/ 171 743,00
2. Gastos de laboratorio	15 800,00
Costo total indirecto	\$/ 187543,00

Cuadro N° 4. Costo fijo

COSTOS FIJOS	
1. Depreciación	\$/ 69 246,00
2. Impuestos (2% C.F.)	13 849,00
3. Seguros (1% C.F.)	6 924,00
Costos fijo total	\$/ 90 019,00

Cuadro N° 5. Costo total del proceso

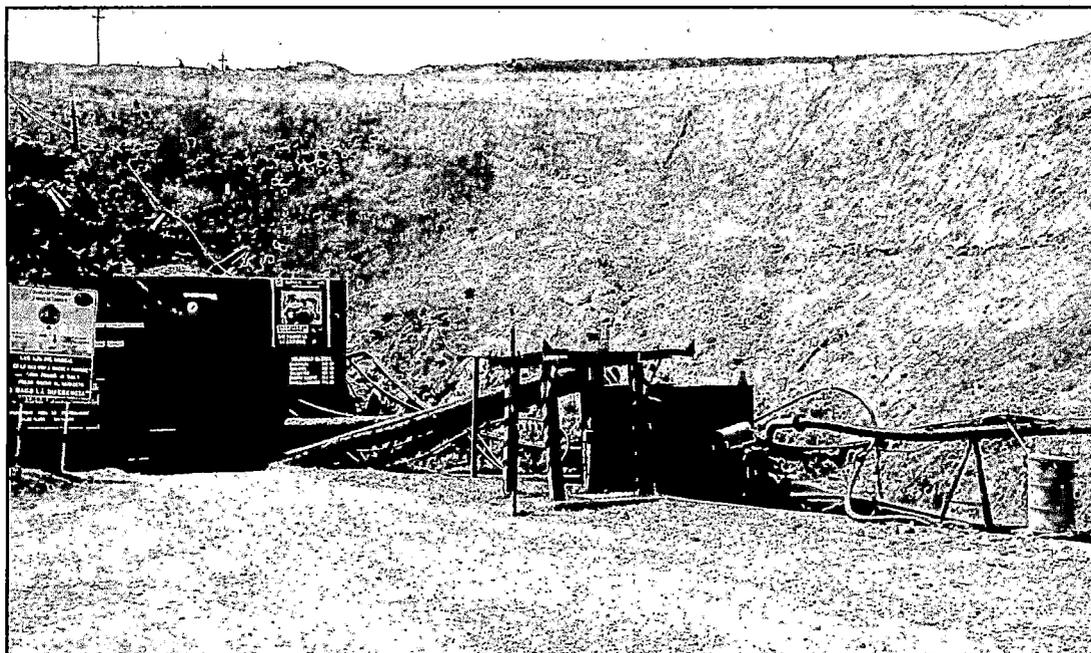
COSTO TOTAL DEL PROCESO	
Costo total directo	\$/ 572 956,00
Costo total indirecto	187 543,00
Costo fijo	90 019,00
Costo total del proceso	\$/ 850 518,00

ANEXO 7

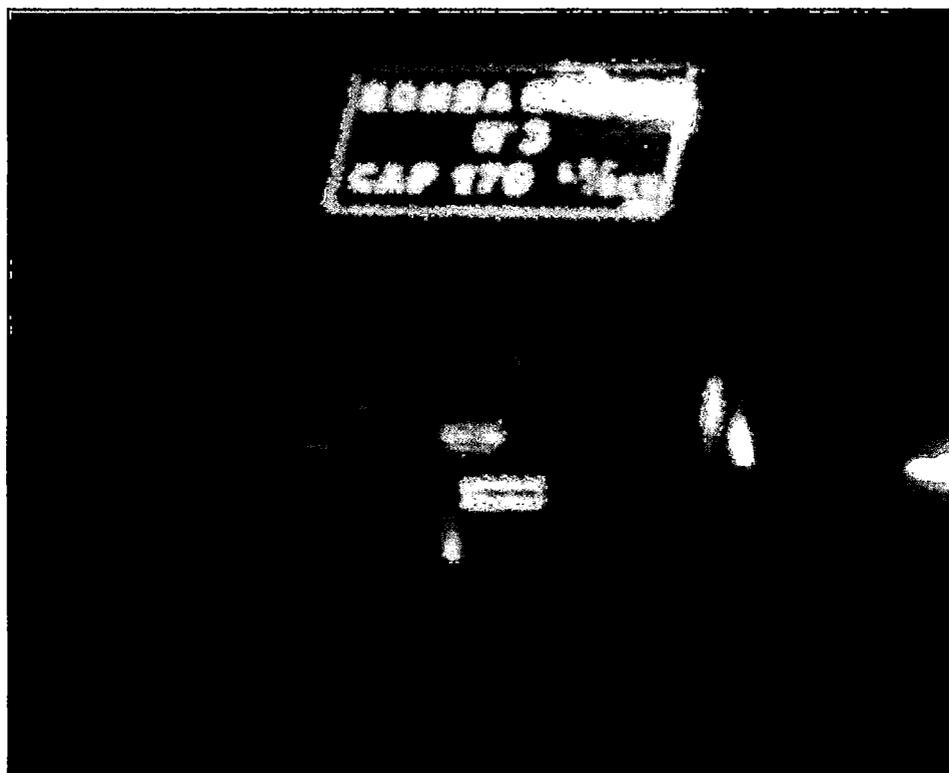
VISTAS FOTOGRAFICAS

VISTAS FOTOGRAFICAS DEL MES DE SETIEMBRE DEL 2011.

Vista Fotográfica N°1. Bocamina, bomba Wifley y Vertical



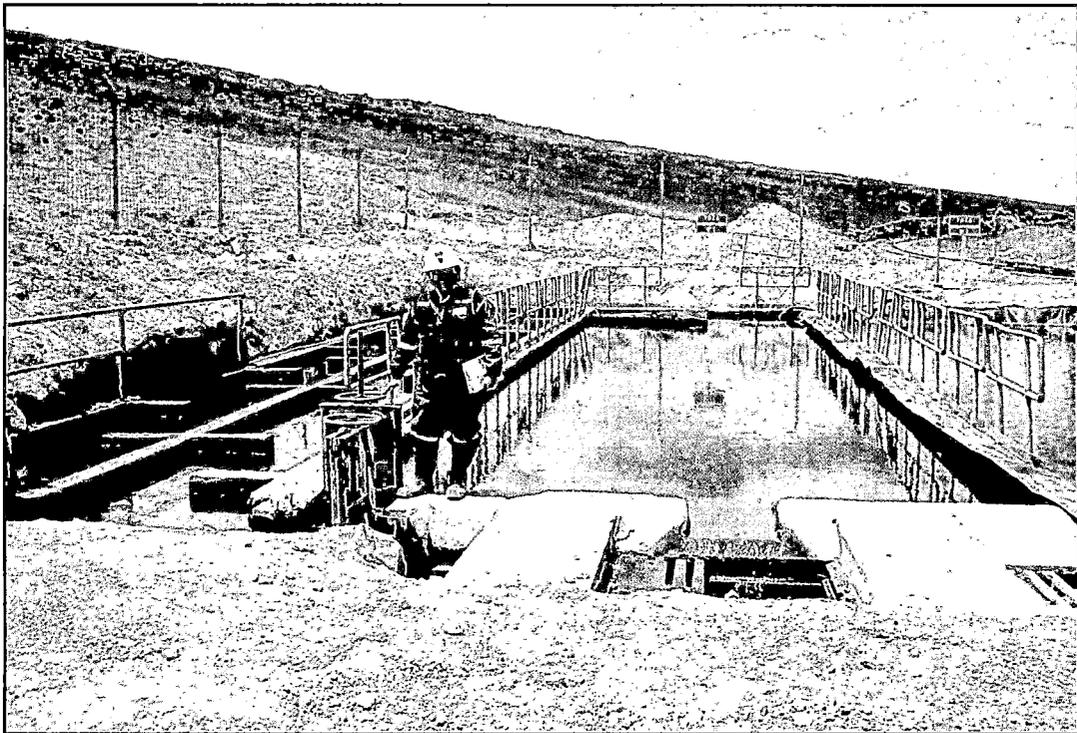
Vista Fotográfica N°2. Bomba Gould N° 3, ubicada en la poza de agua clara zona RB2



Vista Fotográfica N°3. Toma de muestra de agua, de la cámara de turbulencia



Vista Fotográfica N°4. Poza de sedimentación, ubicadas aguas debajo de la bocamina principal



Vista Fotográfica N°5. Toma de muestra en el punto N-6, agua de la descarga del sedimentador al río Andacancha.



ANEXO 8

MAPAS