

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA



OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA FRESCA MEDIANTE LA
RECIRCULACIÓN DEL EFLUENTE DE UNA PLANTA DE PROCESOS

TESIS

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

ELABORADO POR:

CHRISTIAN ENRIQUE DEXTRE CHICÓN

ASESOR:

M.Sc. ATILIO MENDOZA APOLAYA

LIMA – PERÚ

2012

DEDICATORIA

**A MI ESPOSA MILAGRITOS Y A MI
PEQUEÑA HIJA ANTUANETTH,
A MIS PADRES, A MIS
HERMANOS Y A MIS SOBRINOS
MARÍA ISABEL, LUCÍA ESTEFANY
Y LEONARDO.**

AGRADECIMIENTO

ESTE TRABAJO NO HUBIERA SIDO POSIBLE SIN LA CONFIANZA Y EL APOYO DE MIS AMIGOS Y COLEGAS DE TRABAJO:

ING. ROGERIO FERNÁNDEZ

ING. VÍCTOR DE LA CRUZ

ING. MAURO DUEÑAS

ING. LUIS CIRIACO

ING. MANUEL CARHUAZ

A ELLOS, MI AGRADECIMIENTO ETERNO.

RESUMEN

La realidad minera actual respecto a la responsabilidad ambiental y social que nos corresponde como sector representativo de la industria nacional, nos sumerge en una permanente y minuciosa vigilancia de nuestras partes interesadas: autoridades e instituciones del estado (Ministerio de Salud, Ministerio de Energía y Minas, Ministerio de Agricultura, Ministerio del Ambiente, Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, etc.), gobiernos e instituciones locales (Municipalidades Distritales, Municipalidades Provinciales, Comunidades Campesinas, etc.) y Organismos No Gubernamentales (ONGs).

Por lo tanto, el sector minero tiene grandes incentivos para mejorar continuamente su performance ambiental: cumplir la exigente y cambiante legislación ambiental y contribuir con el desarrollo sostenible de las comunidades aledañas cuyo cumplimiento nos llevarán inexorablemente a una convivencia sostenida con nuestros vecinos, incidiendo favorablemente sobre la imagen nacional e internacional de nuestras empresas.

La presente tesis describe las actividades implementadas para lograr la optimización del consumo de agua fresca mediante la recirculación del

efluente de la planta concentradora de mediana minería poli metálica de 2000 TMSD de capacidad, que produce concentrados de Zinc y Plomo, con contenidos de plata y cobre. El efluente mencionado corresponde a la fase líquida de la pulpa de los relaves de la flotación de zinc, con un volumen aproximado de 60 l/s, cuyas características principales son el pH alcalino (9 a 11), iones y compuestos propios de los reactivos de flotación (cobre, zinc, CN, calcio, etc.) y las partículas finas en suspensión.

Los trabajos de investigación y actividades descritas en el presente trabajo incluyen:

- El diseño de las alternativas a evaluar.
- El diseño y los resultados de las pruebas metalúrgicas a nivel de laboratorio, para cada una de las diferentes alternativas propuestas, realizadas con el fin de determinar el comportamiento de los elementos valiosos en el proceso de flotación selectiva y en base a ellos definir la alternativa más óptima, la cual maximice el volumen de recirculación y también el *factor metalúrgico*, que idealmente no debería ser menor al obtenido con 100% de agua fresca.
- El análisis a nivel conceptual de los costos de implementación y operación de las alternativas propuestas, ponderando los riesgos de cada alternativa, para determinar su viabilidad a nivel conceptual.

- La investigación metalúrgica más profunda de la alternativa más viable para determinar la factibilidad de su implementación a escala industrial.

A continuación describe el diseño de la ingeniería, la construcción y puesta en funcionamiento del proceso seleccionado, la medición y evaluación de los resultados de su operación, principalmente los impactos ambientales.

El principal objetivo de esta tesis es reducir al mínimo el consumo de agua fresca, así como también la concentración de elementos metálicos en el vertimiento de plantas concentradoras de características similares, mediante la reutilización de sus efluentes en el proceso de concentración de minerales sin perjudicar los resultados operativos o, por el contrario, beneficiándolos.

ABSTRACT

The current mining reality about the environmental and social responsibility that falls to us as an industry representative of the domestic industry, immerses us in a permanent and thorough monitoring of our stakeholders: authorities and state institutions (Ministry of Health (MINS), Ministry of Energy and Mines (MINEM), Ministry of Agriculture (MINAG), Ministry of Environment, Water Utility and Sewerage Lima (SEDAPAL), etc.), local governments and institutions (District Municipalities, Provincial Municipalities, Rural Communities, etc.) and Non-Governmental Organizations (NGOs).

Therefore, the mining sector has strong incentives to continuously improve its environmental performance: meet the demanding and changing environmental legislation and contribute to sustainable development in surrounding communities whose fulfillment will lead inexorably to a sustained coexistence with our neighbors, impacting positively on national and international image of our companies.

This thesis describes the activities implemented to achieve the optimization of fresh water consumption by recycling the effluent from the poly metallic concentrator plant, 2000 MTD, which produces zinc and lead concentrates, with silver and copper contents. The effluent corresponds to the liquid phase of the pulp from the flotation tailings of zinc, with a volume of 60 lps, whose

main features are the alkaline pH (9 to 11), ions and flotation reagents (copper, zinc, CN, calcium, etc.) and fine particles in suspension.

The research and activities described in this paper include:

- The design of alternatives to evaluate.
- The design and results of metallurgical testing in the laboratory, for each of the various alternatives proposed, carried out to determine the behavior of the valuable elements in the selective flotation process and, based on them, define the most optimal process, which maximizes the amount of recirculation and also the metallurgical factor, which ideally should not be less than that obtained with 100% fresh water.
- The conceptual level analysis of the implementation and operation costs of the proposed alternatives, weighing the risks of each one to determine its viability on a conceptual level.
- The deepest metallurgical research of the most viable alternative to determine the feasibility of its industrial scale implementation.

The following describes the engineering design, construction and operation of the selected process, measurement and evaluation of the results of its operation, mainly environmental impacts.

The main objective of this thesis is to minimize fresh water consumption, and also reduce the concentration of metallic elements in the waste water of concentrator plants with similar characteristics, through the reuse of effluents

in the process of concentration of minerals without harming the operating results or, otherwise, benefiting them.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

La empresa fue constituida en el año 1950 habiendo funcionado como empresa de exploraciones de su matriz norteamericana proveedora de productos mineros y químicos, servicios técnicos y equipos para la exploración petrolífera a nivel mundial. Esta matriz, luego de adquirir una concesión minera en nuestro país empezó a producir sulfato de bario, utilizado como agente de peso en los fluidos de perforación petrolíferas.

A mediados de los 80' la matriz norteamericana decide vender la empresa a una compañía de capitales suizos dedicada a la comercialización de mercancías, entre las que destacaban los metales. Bajo esta nueva administración, la planta superó su capacidad máxima de 600 TMSD a 1100 TMSD de producción de concentrados polimetálicos en sólo dos años – a principios de los 90' - manteniendo a la empresa como uno de las más importantes y rentables en el rubro minero a nivel nacional.

Durante los 90' la empresa agotó las reservas polimetálicas existentes en esta concesión, decidiendo sus accionistas iniciar un nuevo proyecto en una

antigua concesión minera ubicada a 60 Km. de la anterior, iniciándose el mismo en el 2001.

A fines de ese año se llevó a cabo la audiencia pública del EIA del nuevo proyecto y gracias al éxito obtenido, en el año 2002 la autoridad sectorial otorga la autorización de construcción de la planta concentradora, la cual termina en el 2003, iniciándose el proceso de producción sostenida a principios del 2004.

Desde el inicio de sus operaciones, la clasificación del cuerpo superficial de agua fue, de acuerdo a la Ley General de Aguas, de Clase III: Agua usada para irrigar vegetales comestibles y para consumo de animales (D.L. N° 17752, Ley General de Aguas, 24 de julio de 1969), sin embargo, el 03 de Agosto del 2005 la autoridad competente en la clasificación de las aguas superficiales a nivel nacional, Ministerio de Salud, emite la R.D. N° 1152/2005/DIGESA/SA mediante la cual indica que la clasificación para el cuerpo superficial de agua en esta parte de la cuenca a partir de esa fecha sería la Clase II: Abastecimiento de agua doméstica equivalente a procesos combinados de mezcla y coagulación, sedimentación, nitración y cloración aprobados por el ministerio de Salud.

Este escenario propicia la priorización del proyecto de Recirculación del Efluente de la Planta Concentradora el cual aseguraba el cumplimiento de la nueva legislación y también la optimización del consumo de agua fresca y por lo tanto la sostenibilidad de sus operaciones.

Actualmente, el contexto legal en cuanto a calidad de aguas y vertimientos minero-metalúrgicos se refiere, está en un proceso de transición por cuanto se han publicado y/o reglamentado las nuevas normativas como son los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua (D.S. 002-2008-MINAM) y los nuevos Límites Máximos Permisibles (LMP) para Descargas de Efluentes Minero-metalúrgicos (D.S. 010-2010 MINAM) para cuya implementación el Estado Peruano ha otorgado un plazo de cumplimiento previa presentación y aprobación de un Plan Integral de Adecuación e Implementación de las ECAs y LMPs antes mencionados. El plazo para la adecuación está vigente, por lo tanto también están aún vigentes la Ley General de Aguas, D.L. N° 17752, y la R.M. N° 011-96-MEM/VMM.

Objetivo

La implementación del proyecto ambiental recirculación del efluente de la planta concentradora, tiene como objetivo fundamental la preservación del ambiente, específicamente la protección de las aguas naturales mediante la

optimización de su consumo y el cumplimiento de la nueva normativa nacional para cuerpos superficiales.

Alcance

El proceso de recirculación del efluente de la planta concentradora se circunscribe a una Planta Concentradora de mediana minería polimetálica de 2000 TMSD de capacidad, que produce concentrados de Zinc y Plomo, con contenidos de plata y cobre, es decir no se realiza el proceso de separación Pb-Cu. El efluente mencionado corresponde a la fase líquida de la pulpa de los relaves la flotación de zinc, con un volumen aproximado de 60 l/s, cuyas características principales son el pH alcalino (9 a 11), iones y compuestos propios de los reactivos de flotación (Cobre, Zinc, CN, Calcio, etc.), y partículas finas en suspensión.

Hipótesis

El efluente del procesamiento de minerales polimetálicos puede ser reutilizado nuevamente en el proceso sin afectar los resultados metalúrgicos, y que las particularidades de cada operación determinarán si es necesario su tratamiento previo y el tipo de tratamiento.

Metodología de la Investigación

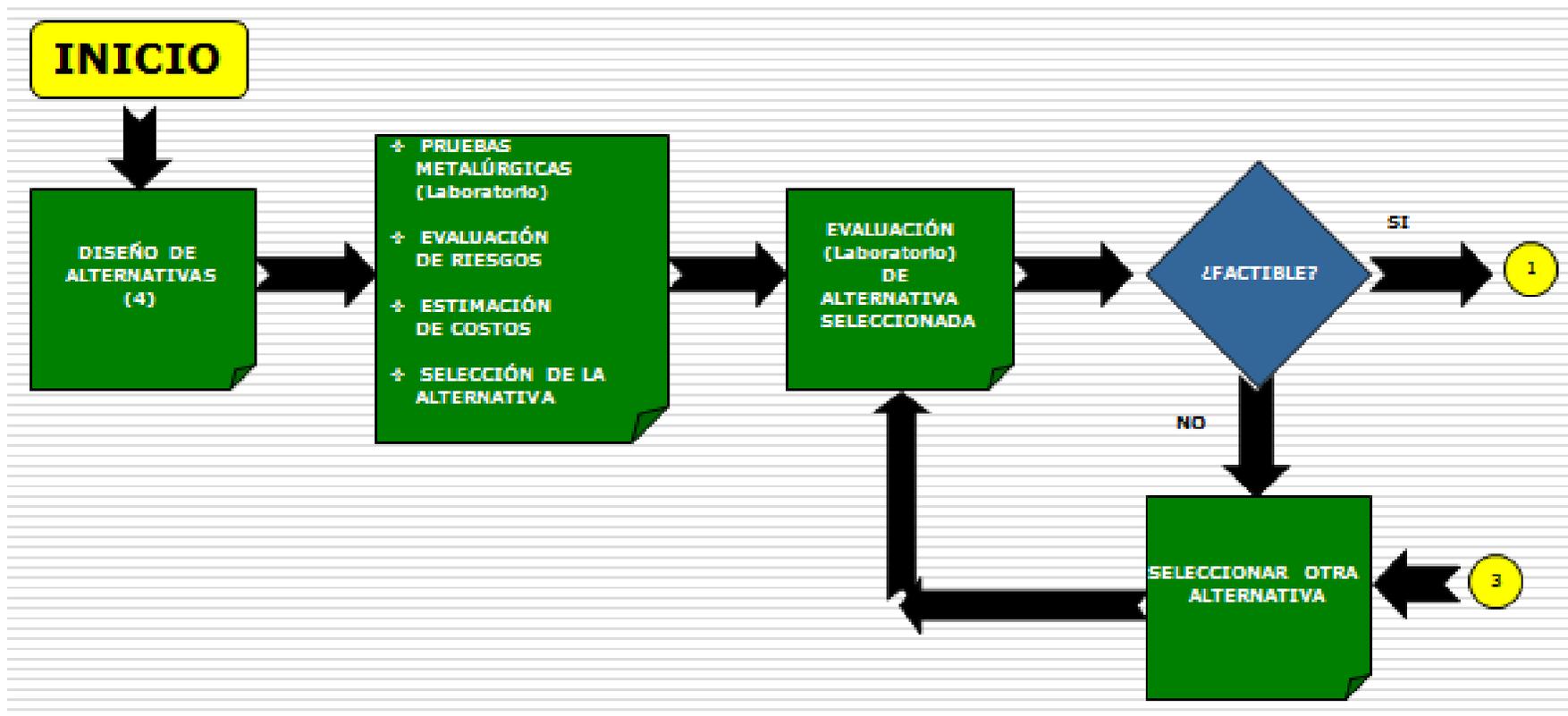
La fase de investigación de la presente tesis corresponde a:

1. Diseño de alternativas de recirculación basado en el análisis de los procesos y enmarcadas en las facilidades de la planta concentradora.
2. Diseño y ejecución de pruebas metalúrgicas a nivel de laboratorio, simulando las alternativas diseñadas.

Las pruebas metalúrgicas de laboratorio consistieron en:

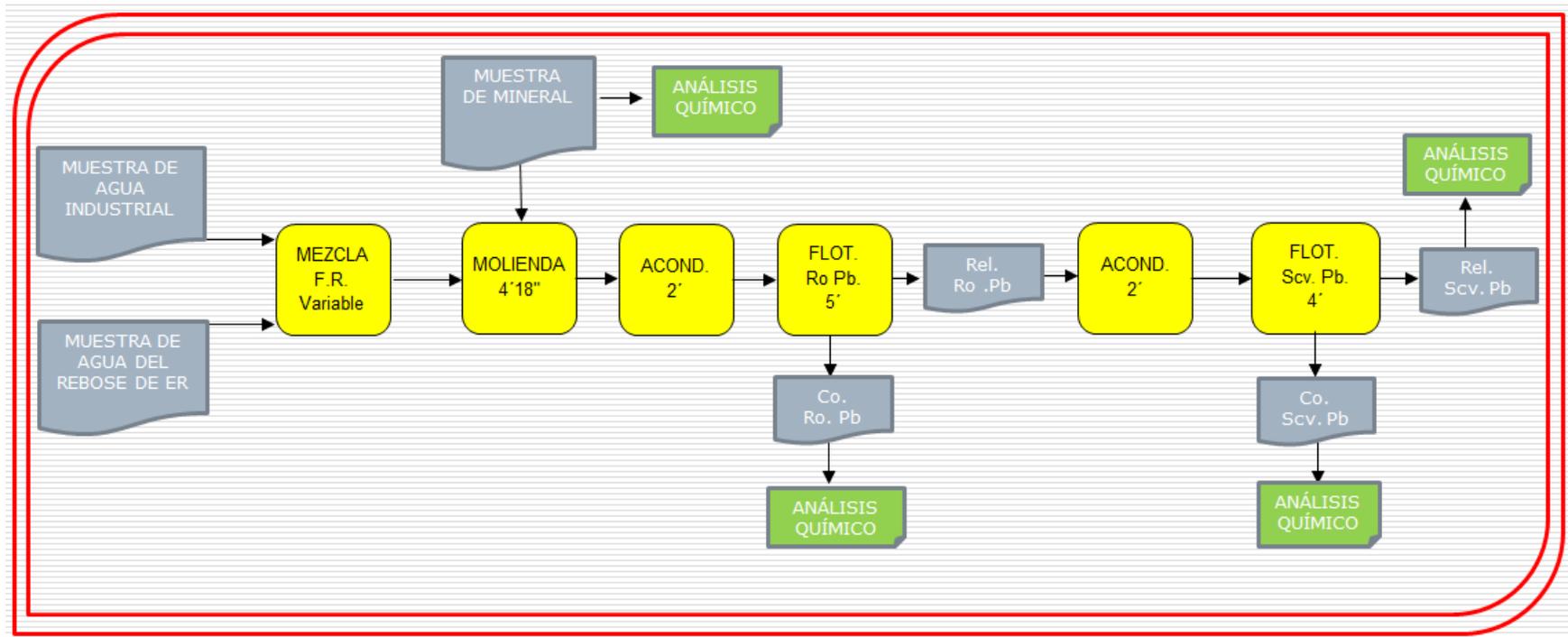
- Toma de muestra de agua a recircular según la alternativa a evaluar.
- Toma de muestra de agua de mina utilizada en el proceso.
- Mezcla de ambas a diferentes proporciones.
- Toma de muestra y análisis químico de mineral de cabeza.
- Molienda de mineral de cabeza por 4'18".
- Acondicionamiento de pulpa de molienda por 2'.
- Flotación rougher de plomo por 5'.
- Toma de muestra y análisis químico del concentrado rougher de plomo.
- Acondicionamiento del relave de la flotación rougher de plomo por 2'.
- Flotación scavenger de plomo por 4'.
- Toma de muestra y análisis químico del concentrado scavenger de plomo.

- Toma de muestra y análisis químico del relave scavenger de plomo.
3. Elaboración de Balances Metalúrgicos.
 4. Comparación con los valores del balance metalúrgico, principalmente con el Factor Metalúrgico de Plomo en el concentrado rougher.
 5. Determinación de la alternativa más viable, considerando los riesgos de seguridad, ambiente y salud y los costos de inversión y operación a nivel conceptual.
 6. Investigación metalúrgica más profunda (Repitiendo los pasos del 1 al 5), de la alternativa más viable para determinar la factibilidad de su implementación a escala industrial.



Fuente: Unidad Minera

Diagrama de flujo de la Metodología de la Investigación aplicada



Fuente: Unidad Minera

Diagrama de flujo de pruebas metalúrgica de laboratorio.

Líneas de Investigación

La presente tesis no ha evaluado otros tipos de tratamiento aplicables para el agua de recirculación, por ejemplo, tratamiento con peróxido de hidrógeno, oxígeno puro, ozono, enzimas, bacterias, etc. Tampoco ha considerado la influencia en el costo operativo de la recuperación del carbón activado en el tratamiento del agua de recirculación.

Así mismo, no ha considerado la contingencia para la sangría del recirculante saturado, aunque durante la operación del proceso de recirculación no fue necesario el sangrado. Sin embargo se planteó la alternativa de transportar el recirculante saturado hacia el depósito de relaves confiando que su degradación en este gran reactor haría posible su re uso en el proceso de la planta concentradora.

Ambas excepciones al alcance de la presente tesis pueden ser consideradas como líneas de investigación futura.

INDICE GENERAL

CARÁTULA	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
INDICE	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
1. CAPÍTULO I	1
VERTIMIENTOS DE LA PLANTA CONCENTRADORA ANTES DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	1
1.1. ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LA PLANTA CONCENTRADORA Y CAMPAMENTOS	1
1.2. BALANCE DE AGUA DE LA PLANTA CONCENTRADORA	3
1.3. MONITOREO DE AGUAS Y VERTIMIENTOS	4
1.3.1. Metodología	4
1.3.2. Estaciones de monitoreo	5
1.3.3. Calidad de Agua 2005	7
1.3.4. Calidad de Agua 2006	13
2. CAPÍTULO II	20
CARACTERIZACIÓN DE EFLUENTES	20
2.1. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE ENTRADA A LA PLANTA.	20
2.2. CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE A RECIRCULAR.	22
3. CAPÍTULO III	24
PRIMERA ETAPA: PRUEBAS Y RESULTADOS A NIVEL DE LABORATORIO DEL TRATAMIENTO Y RECIRCULACIÓN DEL EFLUENTE Y SU EFECTO EN EL PROCESO DE FLOTACIÓN.....	24
3.1. DESCRIPCIÓN Y RESULTADOS	24
3.1.1. Descripción de las pruebas para cada una de las alternativas	31
3.1.2. Resultados de las pruebas	35
3.1.3. Resultados Económicos	41
3.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	47
3.2.1. Análisis de los Resultados de la Investigación de la Alternativa N° 3	51
3.2.2. Análisis de los Resultados de la Primera Etapa	90

4. CAPÍTULO IV	93
SEGUNDA ETAPA: IMPLEMENTACIÓN Y OPERACIÓN DEL PROYECTO.....	93
4.1. CRONOGRAMA Y RECURSOS	94
4.2. ESQUEMA DE LA PLANTA CONCENTRADORA ANTES DE LA IMPLEMENTACIÓN	96
4.3. ESQUEMA DE LA PLANTA CONCENTRADORA DESPUÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN	98
4.4. COSTO DE INVERSIÓN	101
4.5. COSTO DE OPERACIÓN	102
4.6. RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN	103
4.7. VARIACIÓN EN EL CONSUMO DE REACTIVOS	105
4.8. RENDIMIENTO DEL PROCESO DE CONCENTRACIÓN	112
5. CAPÍTULO V.....	113
PERFORMANCE AMBIENTAL (CALIDAD DE AGUA Y VERTIMIENTOS) DE LA PLANTA CONCENTRADORA DESPUÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO (MAYO 2007).....	113
5.1. BALANCE DE AGUA DE LA PLANTA CONCENTRADORA DESPUÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN	113
5.2. CALIDAD DE AGUA 2007	115
5.2.1. Resultados	115
5.2.2. Análisis de los resultados	120
6. CONCLUSIONES.....	121
6.1. CALIDAD DEL VERTIMIENTO INDUSTRIAL	121
6.2. PRESERVACIÓN DEL CUERPO RECEPTOR	121
6.3. PRESERVACIÓN DEL AGUA NATURAL	122
6.4. EFICIENCIA EN EL USO DE INSUMOS QUÍMICOS	122
7. BIBLIOGRAFÍA	123
8. ANEXO I: NOMENCLATURA.....	126

INDICE DE CUADROS

CUADRO N° 1 ESTACIONES DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA	6
CUADRO N° 2. ESTACIÓN DE MONITOREO P1 - 2005	7
CUADRO N° 3. ESTACIÓN DE MONITOREO P2 - 2005	8
CUADRO N° 4. ESTACIÓN DE MONITOREO P3 - 2005	9
CUADRO N° 5. ESTACIÓN DE MONITOREO P4 - 2005	10
CUADRO N° 6. ESTACIÓN DE MONITOREO PC - 2005	11
CUADRO N° 7. ESTACIÓN DE MONITOREO P1 - 2006	13
CUADRO N° 8. ESTACIÓN DE MONITOREO P2 - 2006	14
CUADRO N° 9. ESTACIÓN DE MONITOREO P3 - 2006	15
CUADRO N° 10. ESTACIÓN DE MONITOREO P4 - 2006	16
CUADRO N° 11. ESTACIÓN DE MONITOREO PC - 2006	17
CUADRO N° 12 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE PLANTA, METALES TOTALES	20
CUADRO N° 13 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE PLANTA, METALES DISUELTOS	21
CUADRO N° 14 CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE A RECIRCULAR, METALES TOTALES	22
CUADRO N° 15 CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE A RECIRCULAR, METALES DISUELTOS	23
CUADRO N° 16 PRUEBAS DE FLOTACIÓN ESTÁNDAR	32
CUADRO N° 17 ALTERNATIVAS N° 1 Y N° 2	35
CUADRO N° 18 ALTERNATIVA N° 4	39
CUADRO N° 19 COMPARATIVO DE COSTOS DE INVERSIÓN	42
CUADRO N° 20 COMPARATIVO DE COSTOS DE OPERACIÓN	44
CUADRO N° 21 PRUEBAS DE FLOTACIÓN CON ER Y FR VARIABLE	54
CUADRO N° 22 PRUEBAS DE FLOTACIÓN CON MUESTRAS DE ER: Día 1	58
CUADRO N° 23 PRUEBAS DE FLOTACIÓN CON MUESTRAS DE ER: Día 2	59
CUADRO N° 24 PRUEBAS DE FLOTACIÓN CON MUESTRAS DE ER: Día 3	60
CUADRO N° 25 PRUEBAS DE FLOTACIÓN CON MUESTRAS DE ER: Día 4	61
CUADRO N° 26 TRATAMIENTO CON CARBÓN ACTIVADO	63
CUADRO N° 27 TRATAMIENTO CON SULFURO DE SODIO	72
CUADRO N° 28 TRATAMIENTO CON HIDRÓXIDO DE POTASIO	79
CUADRO N° 29 TRATAMIENTO CON AGITACIÓN Y AIREACIÓN	85
CUADRO N° 30 CRONOGRAMA Y RECURSOS	94

CUADRO N° 31 COSTO DE INVERSIÓN	101
CUADRO N° 32 COSTO DE OPERACIÓN	102
CUADRO N° 33 RENDIMIENTO DEL PROCESO DE CONCENTRACIÓN	112
CUADRO N° 34 ESTACIÓN DE MONITOREO P1 - 2007	115
CUADRO N° 35 ESTACIÓN DE MONITOREO P2 - 2007	116
CUADRO N° 36 ESTACIÓN DE MONITOREO P3 - 2007	117
CUADRO N° 37 ESTACIÓN DE MONITOREO P4 - 2007	118
CUADRO N° 38 ESTACIÓN DE MONITOREO PC - 2007	119

INDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO N° 1. ESTACIÓN DE MONITOREO P1 – 2005	7
GRÁFICO N° 2. ESTACIÓN DE MONITOREO P2 - 2005	8
GRÁFICO N° 3. ESTACIÓN DE MONITOREO P3 - 2005	9
GRÁFICO N° 4. ESTACIÓN DE MONITOREO P4 - 2005	10
GRÁFICO N° 5. ESTACIÓN DE MONITOREO PC - 2005	11
GRÁFICO N° 6. ESTACIÓN DE MONITOREO P1 - 2006	13
GRÁFICO N° 7. ESTACIÓN DE MONITOREO P2 - 2006	14
GRÁFICO N° 8. ESTACIÓN DE MONITOREO P3 - 2006	15
GRÁFICO N° 9. ESTACIÓN DE MONITOREO P4 - 2006	16
GRÁFICO N° 10. ESTACIÓN DE MONITOREO PC - 2006	17
GRÁFICO N° 11 FACTOR METALÚRGICO ESTÁNDAR	33
GRÁFICO N° 12 ALTERNATIVAS N° 1 Y N° 2	36
GRÁFICO N° 13 ALTERNATIVA N° 3	37
GRÁFICO N° 14 ALTERNATIVA N° 3, CON TRATAMIENTOS	38
GRÁFICO N° 15 ALTERNATIVA N° 4	40
GRÁFICO N° 16 COMPARATIVO DE COSTOS DE INVERSIÓN	43
GRÁFICO N° 17 COMPARATIVO DE COSTOS DE OPERACIÓN	45
GRÁFICO N° 18 COSTOS DE OPERACIÓN ALTERNATIVA N° 3	46
GRÁFICO N° 19 PRUEBAS DE FLOTACIÓN CON ER Y FR VARIABLE	56
GRÁFICO N° 20 PRUEBAS DE FLOTACIÓN CON MUESTRAS DE ER DE DIFERENTES DÍAS	62
GRÁFICO N° 21 RESULTADOS DE PRUEBAS CON ER TRATADA	89
GRÁFICO N° 22 VARIACIÓN DEL ESPUMANTE FROTHER 70 EN EL CIRCUITO DE PLOMO	105
GRÁFICO N° 23 VARIACIÓN DEL ESPUMANTE FROTHER 70 EN EL CIRCUITO DE ZINC	106
GRÁFICO N° 24 VARIACIÓN DEL COLECTOR Z-11 EN EL CIRCUITO DE PLOMO	107
GRÁFICO N° 25 VARIACIÓN DEL COLECTOR Z-11 EN EL CIRCUITO DE ZINC	108
GRÁFICO N° 26 VARIACIÓN DEL SULFATO DE COBRE EN EL CIRCUITO DE ZINC	109
GRÁFICO N° 27 VARIACIÓN DEL HIDRÓXIDO DE CALCIO EN EL CIRCUITO DE ZINC	110
GRÁFICO N° 28 VARIACIÓN DEL SULFURO DE SODIO EN EL CIRCUITO DE PLOMO	111
GRÁFICO N° 29. ESTACIÓN DE MONITOREO P1 - 2007	115
GRÁFICO N° 30. ESTACIÓN DE MONITOREO P2 - 2007	116

GRÁFICO N° 31 ESTACIÓN DE MONITOREO P3 - 2007	117
GRÁFICO N° 32 ESTACIÓN DE MONITOREO P4 - 2007	118
GRÁFICO N° 33 ESTACIÓN DE MONITOREO P4 - 2007	119

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1 BALANCE DE AGUA DE LA PLANTA CONCENTRADORA	3
FIGURA N° 2 ESQUEMA DE ESTACIONES DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA	6
FIGURA N° 3 ALTERNATIVA N° 1	287
FIGURA N° 4 ALTERNATIVA N° 2	28
FIGURA N° 5 ALTERNATIVA N° 3	29
FIGURA N° 6 ALTERNATIVA N° 4	30
FIGURA N° 7 DIAGRAMA DE FLUJO DE LAS PRUEBAS DE LA ALTERNATIVA N° 3	51
FIGURA N° 8 ABSORCIÓN Y ADSORCIÓN	65
FIGURA N° 9 SOLUBILIDAD DE LOS SULFUROS EN FUNCIÓN DEL PH	77
FIGURA N° 10 PLANTA CONCENTRADORA ANTES DE LA IMPLEMENTACIÓN	96
FIGURA N° 11 VISTA DE LA PLANTA CONCENTRADORA ANTES DE LA IMPLEMENTACIÓN	97
FIGURA N° 12 PLANTA CONCENTRADORA DESPUÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN	98
FIGURA N° 13 VISTA DE LA PLANTA CONCENTRADORA DESPUÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN	99
FIGURA N° 14 PLANO DE LA PLANTA CONCENTRADORA DESPUÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN	100
FIGURA N° 15 BALANCE DE AGUA DE LA PLANTA CONCENTRADORA DESPUÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN	114

CAPÍTULO I

VERTIMIENTOS DE LA PLANTA CONCENTRADORA ANTES DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

1.1. Abastecimiento de Agua en la Planta Concentradora y Campamentos

Agua Subterránea

Las aguas que afloran a superficie desde el interior de la mina por el nivel de extracción 3890, alimentan en parte a la Planta Concentradora (70%) y la otra parte se deriva directamente hacia el sistema de tratamiento del efluente industrial (30%).

Agua Industrial

El agua proveniente de los reboses y limpieza de todas las áreas de la planta concentradora es canalizada hacia la poza de contingencias. De la misma forma el agua proveniente del rebose de la etapa de espesamiento de concentrados de Pb y Zn y del área de filtrado de los mismos. Luego es bombeada al espesador de relaves distribuyéndose hacia la relavera con la pulpa de relaves o al reactor de sedimentación como rebose del espesador. El agua del espejo del depósito de relaves es canalizada hacia el tanque de agua industrial para ser reutilizada en el proceso.

El agua de rebose del espesador de relaves es tratada en el reactor de

sedimentación del sistema de tratamiento del efluente industrial junto con el agua de mina, pasando a través de un sistema de corrección físico-química (floculación) y, posteriormente es vertida al río Rímac.

Agua de Consumo Doméstico

El abastecimiento proviene del curso de agua superficial secundario a través de una bocatoma y tuberías de HDPE de Ø4". Este flujo es recepcionado en un tanque de concreto en donde recibe un tratamiento por clorinación antes de ser consumida en las oficinas, residencias y campamentos.

1.2. Balance de Agua de la Planta Concentradora

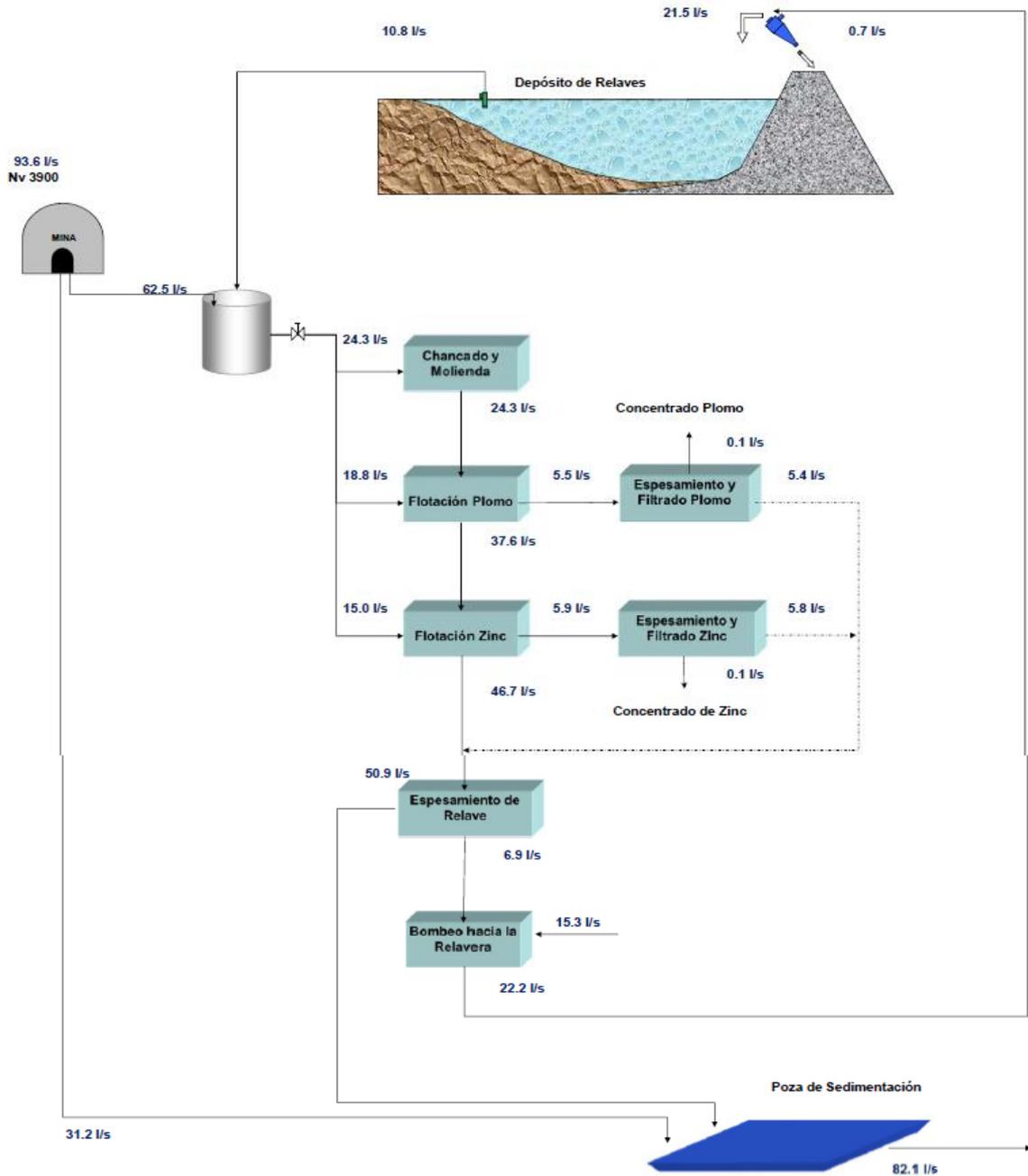


Figura N° 1 Balance de Agua de la Planta Concentradora

Fuente: Unidad Minera

1.3. Monitoreo de Aguas y Vertimientos

1.3.1. Metodología

Los muestreos de aguas en general, se realizan siguiendo el Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua del Sub Sector Minería. Vol. 1-2. 1994 del MEM en lo referente a la selección de las estaciones de muestreo, recipientes y tipo de muestras.

Con respecto al tipo de muestras de agua superficial se considera:

- Características de la estación de muestreo.
- Flujo o caudal de agua.
- Variación del clima.
- Equipo de campo para las mediciones in-situ
- Seguridad del técnico durante la toma de muestras.

Por lo expuesto anteriormente y a fin de asegurar la calidad del muestreo y de las mediciones de campo se recolectan muestras puntuales mensualmente, a fin de determinar las condiciones promedio de cada trimestre, periodo de evaluación y reporte a la autoridad sectorial que corresponde, según la ley vigente, a las unidades operativas de las características de esta unidad minera.

1.3.2. Estaciones de monitoreo

En el curso de agua del cuerpo receptor, existe una estación de monitoreo aguas arriba y aguas abajo con relación a la Planta Concentradora para determinar:

- Las condiciones naturales o de base para el curso de agua.
- Si la unidad operativa está impactando las aguas naturales.
- Si existen otras fuentes de impactos ya sea naturales o antropogénicas.
- Hasta qué nivel se necesita controlar la descarga de las operaciones.

A continuación se presenta la relación de las 5 estaciones oficiales de monitoreo, establecidas en el EIA, para el control de calidad de efluentes mineros y cuerpos receptores, cuya identificación se describe:

1.3.2.1. Esquema de estaciones de monitoreo de calidad de agua

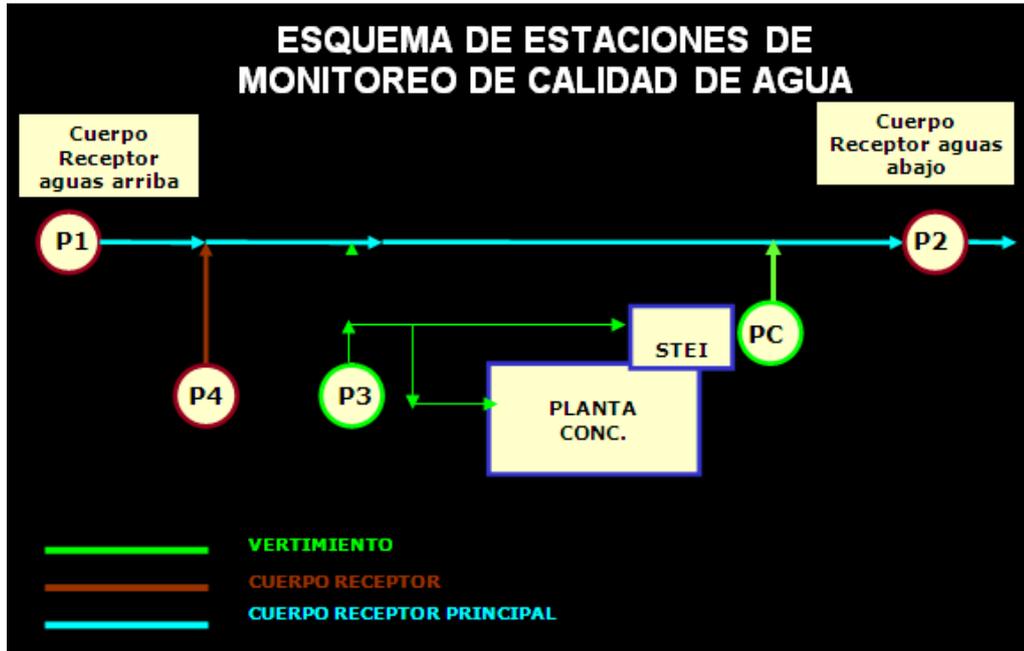


Figura N° 2 Esquema de estaciones de monitoreo de calidad de agua

Fuente: Unidad Minera

1.3.2.2. Descripción de estaciones de monitoreo de calidad de agua

Cuadro N° 1 Estaciones de monitoreo de calidad de agua

ESTACIÓN	DESCRIPCIÓN
P-1	CUERPO RECEPTOR PRINCIPAL AGUAS ARRIBA DE LAS OPERACIONES
P-2	CUERPO RECEPTOR PRINCIPAL AGUAS ABAJO DE LAS OPERACIONES
P-3	FLUJO DE AGUA EN EL TÚNEL DE DERIVACIÓN AFLUENTE DEL CUERPO RECEPTOR PRINCIPAL
P-4	CAÍDA DE AGUA DE LA QUEBRADA AFLUENTE DEL CUERPO RECEPTOR PRINCIPAL
P-C	SALIDA DE PLANTA CONCENTRADORA

Fuente: Unidad Minera

1.3.3. Calidad de Agua 2005

1.3.3.1. Resultados

Cuadro N° 2. Estación de monitoreo P1 - 2005

Estación de Monitoreo P1						
mg/l						
	CN WAD	Zinc	Pb	Cu	Fe	As
Ene	0.001	0.71	0.04	0.05	0.14	0.01
Feb	0.001	0.65	0.03	0.06	0.80	0.01
Mar	0.003	0.15	0.06	0.02	0.53	0.01
Abr	0.005	0.68	0.05	0.02	0.30	0.01
May	0.004	0.49	0.14	0.04	2.04	0.01
Jun	0.005	0.35	0.05	0.01	0.01	0.025
Jul	0.045	0.18	0.01	0.01	0.01	0.03
Ago	0.040	0.33	0.08	0.01	0.42	0.01
Sep	0.000	0.41	0.09	0.03	0.37	0.03
Oct	0.005	0.32	0.12	0.04	0.14	0.01
Nov	0.005	0.99	0.12	0.04	0.12	0.01
Dic	0.005	0.83	0.12	0.04	0.11	0.01
PROM	0.010	0.508	0.076	0.031	0.416	0.015
LMP	0.1	25	0.1	0.5	1	0.2

Fuente: MINERALS OF LABORATORIES SRL (MINLAB)

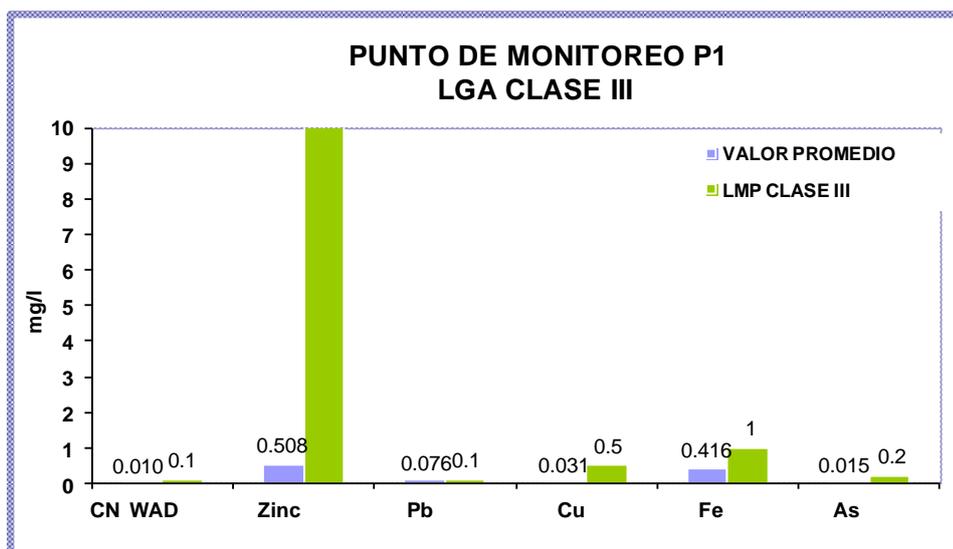


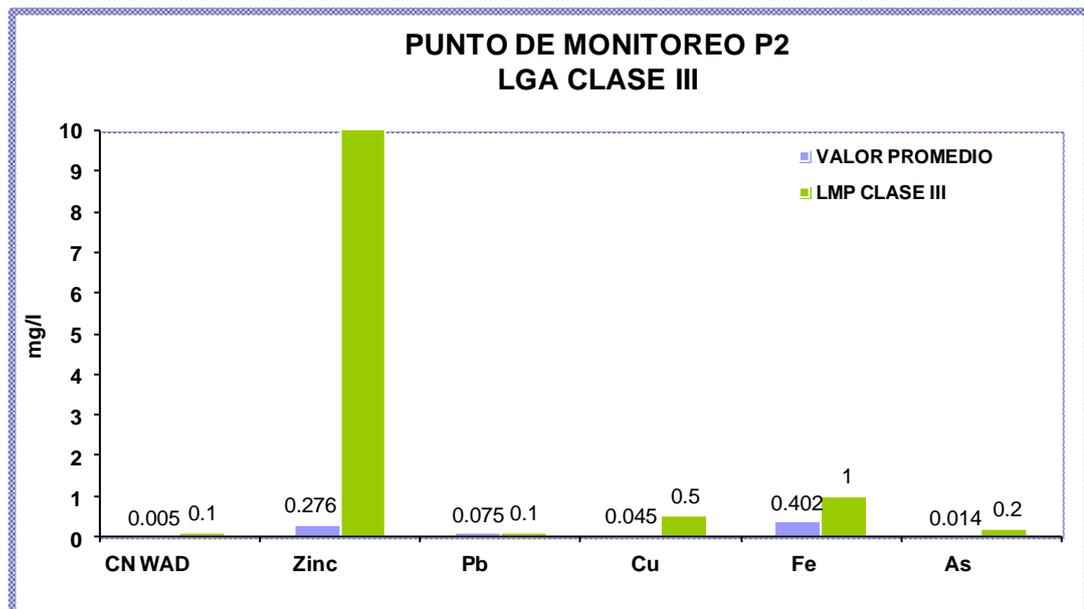
Gráfico N° 1. Estación de monitoreo P1 – 2005

Fuente: Unidad Minera

Cuadro N° 3. Estación de monitoreo P2 - 2005

Estación de Monitoreo P2						
mg/l						
	CN WAD	Zinc	Pb	Cu	Fe	As
Ene	0.001	0.24	0.01	0.01	0.22	0.01
Feb	0.004	0.26	0.04	0.12	0.12	0.01
Mar	0.004	0.22	0.06	0.08	0.64	0.01
Abr	0.005	0.47	0.06	0.03	0.28	0.01
May	0.005	0.5	0.19	0.04	2.00	0.01
Jun	0.005	0.3	0.01	0.02	0.01	0.025
Jul	0.005	0.21	0.08	0.04	0.01	0.01
Ago	0.005	0.22	0.05	0.01	0.96	0.01
Sep	0.005	0.27	0.04	0.07	0.01	0.03
Oct	0.005	0.3	0.12	0.04	0.14	0.01
Nov	0.005	0.17	0.12	0.04	0.24	0.01
Dic	0.005	0.15	0.12	0.04	0.19	0.02
PROM	0.005	0.276	0.075	0.045	0.402	0.014
LMP	0.1	25	0.1	0.5	1	0.2

Fuente: MINERALS OF LABORATORIES SRL (MINLAB).

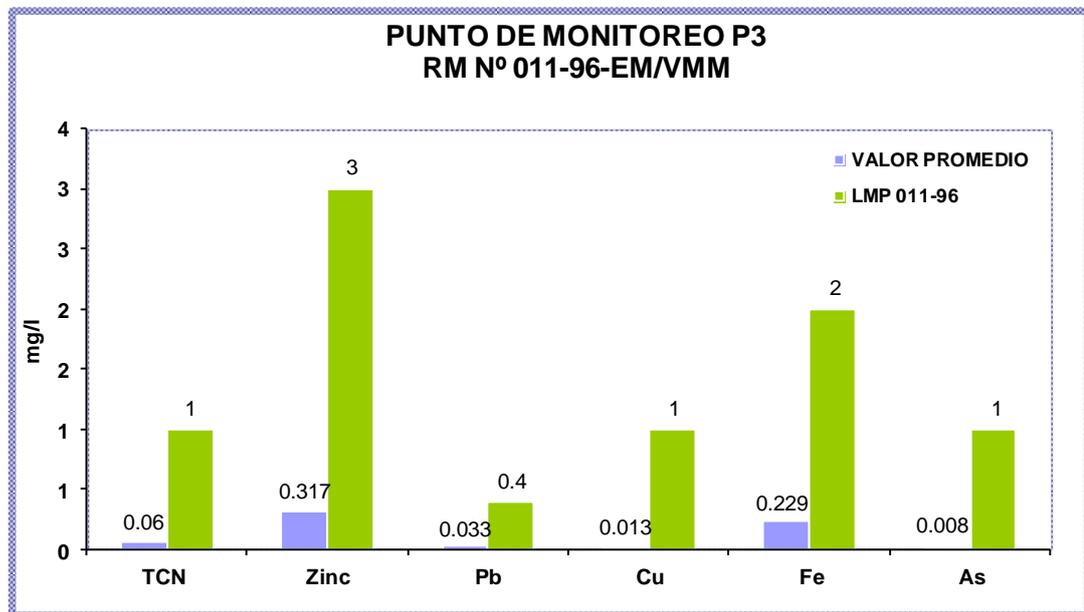
**Gráfico N° 2. Estación de monitoreo P2 - 2005**

Fuente: Unidad Minera

Cuadro N° 4. Estación de monitoreo P3 - 2005

Estación de Monitoreo P3						
mg/l						
	TCN	Zinc	Pb	Cu	Fe	As
Ene	0.001	0.2	0.001	0.01	0.13	0.01
Feb	0.001	0.68	0.04	0.06	0.62	0.01
Mar	0.001	0.06	0.08	0.02	0.03	0.01
Abr	0.214	0.24	0.08	0.01	0.01	0.01
May	0.173	0.18	0.02	0.01	0.74	0.01
Jun	0.005	0.07	0.01	0.01	0.01	0.01
Jul	0.005	0.09	0.01	0.01	0.01	0.01
Ago	0.005	0.31	0.13	0.01	1.06	0.01
Sep	0.163	0.51	0.02	0.01	0.01	0.01
Oct	0.152	0.96	<0,12	<0,04	<0,09	<0,01
Nov	<0,005	0.26	<0,12	<0,04	<0,09	<0,01
Dic	<0,006	0.24	<0,12	<0,04	0.13	<0,01
PROM	0.06	0.317	0.033	0.013	0.229	0.008
LMP	1	3	0.4	1	2	1

Fuente: MINERALS OF LABORATORIES SRL (MINLAB).

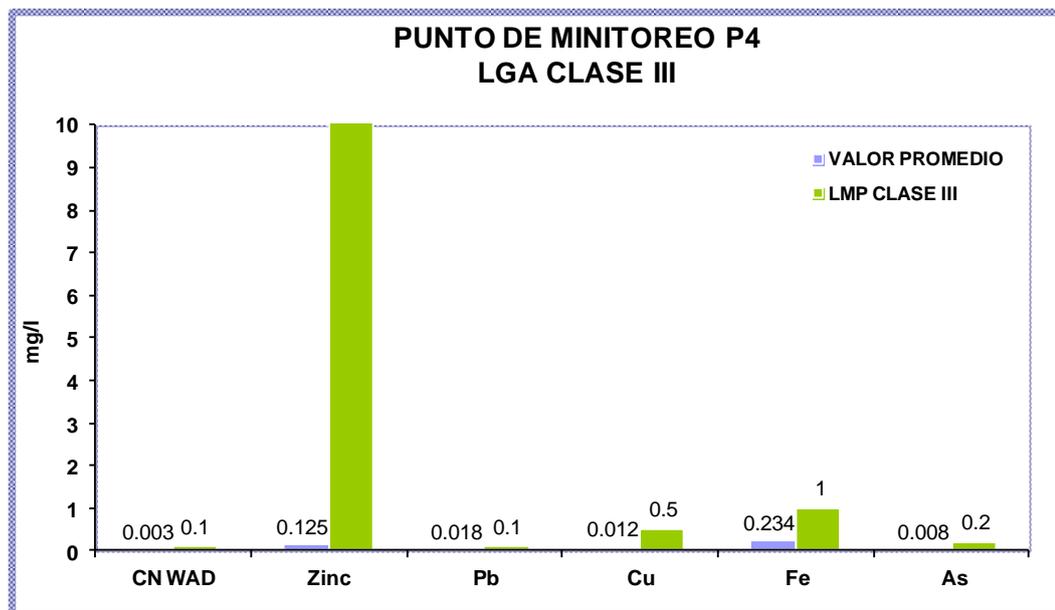
**Gráfico N° 3. Estación de monitoreo P3 - 2005**

Fuente: Unidad Minera

Cuadro N° 5. Estación de monitoreo P4 - 2005

Estación de Monitoreo P4						
mg/l						
	CN WAD	Zinc	Pb	Cu	Fe	As
Ene	0.001	0.61	0.06	0.04	0.42	0.01
Feb	0.001	0.46	0.02	0.03	0.26	0.01
Mar	0.001	0.04	0.02	0.01	0.16	0.01
Abr	0.005	0.14	0.01	0.01	0.12	0.01
May	0.005	0.04	0.01	0.01	1.02	0.01
Jun	0.005	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01
Jul	0.005	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
Ago	0.005	0.06	0.06	0.01	0.80	0.01
Sep	0.005	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01
Oct	<0,005	0.08	<0,12	<0,04	<0,09	<0,01
Nov	<0,005	<0,03	<0,12	<0,04	<0,09	<0,01
Dic	<0,005	<0,03	<0,12	<0,04	<0,09	<0,01
PROM	0.003	0.125	0.018	0.012	0.234	0.008
LMP	0.1	25	0.1	0.5	1	0.2

Fuente: MINERALS OF LABORATORIES SRL (MINLAB).

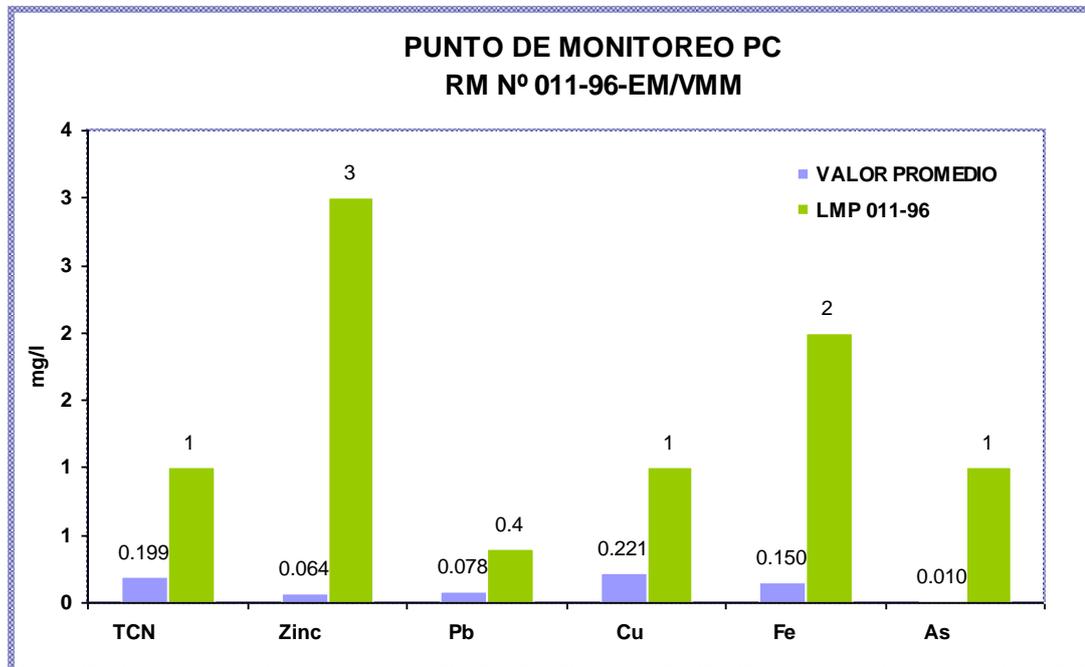
**Gráfico N° 4. Estación de monitoreo P4 - 2005**

Fuente: Unidad Minera

Cuadro N° 6. Estación de monitoreo PC - 2005

Estación de Monitoreo PC						
mg/l						
	TCN	Zinc	Pb	Cu	Fe	As
Ene	0.001	0.2	0.05	0.01	0.06	0.01
Feb	0.92	0.02	0.06	0.9	0.02	0.01
Mar	0.85	0.02	0.12	0.24	0.01	0.01
Abr	0.199	0.06	0.07	0.02	0.01	0.01
May	0.005	0.02	0.04	0.01	0.52	0.01
Jun	0.075	0.17	0.02	0.01	0.01	0.01
Jul	0.101	0.08	0.05	0.1	0.01	0.01
Ago	0.1	0.08	0.12	0.34	0.88	0.01
Sep	0.08	0.01	0.05	0.58	0.01	0.01
Oct	0.042	0.03	0.12	0.1	0.09	0.01
Nov	0.005	0.03	0.12	0.18	0.09	0.01
Dic	0.005	0.05	0.12	0.16	0.09	0.01
PROM	0.199	0.064	0.078	0.221	0.150	0.010
LMP	1	3	0.4	1	2	1

Fuente: MINERALS OF LABORATORIES SRL (MINLAB).

**Gráfico N° 5. Estación de monitoreo PC - 2005**

Fuente: Unidad Minera

1.3.3.2. Análisis de los resultados

Calidad de Agua en Cuerpos Receptores. Estaciones de P1, P2 y P4

En cuanto a los metales en las estaciones ubicadas en cuerpos receptores, se puede apreciar que los valores promedio anual cumplen con los Límites Máximos Permisibles de la Ley General de Aguas Clase III. El compuesto Cianuro WAD promedio anual no sobrepasa los Límites Máximos Permisibles de la Ley General de Aguas Clase III.

Calidad del Agua en Vertimientos. Estación P3 y PC

En cuanto a los metales, se puede apreciar que los valores promedio anual cumplen con los Límites Máximos Permisibles de la RM N° 011-96 EM/VMM. El compuesto Cianuro TOTAL promedio anual no sobrepasa los Límites Máximos Permisibles de la RM N° 011-96 EM/VMM.

1.3.4. Calidad de Agua 2006

1.3.4.1. Resultados

Cuadro N° 7. Estación de monitoreo P1 - 2006

Estación de Monitoreo P1						
mg/l						
	CN WAD	Pb	Cu	Zn	Fe	As
Ene	<0.005	0.12	0.08	1.24	0.45	0.01
Feb	<0.005	<0.12	<0.04	1.52	0.24	<0.01
Mar	<0.005	0.34	0.04	1.35	0.74	0.025
Abr	<0.005	<0.08	0.11	0.97	0.54	0.03
May	0.032	<0.12	<0.04	0.18	<0.09	<0.01
Jun	<0.005	<0.12	<0.04	0.51	0.25	<0.01
Jul	<0.005	<0.12	<0.04	0.57	0.5	0.02
Ago	<0.005	<0.12	<0.04	0.28	0.17	<0.01
Sep	<0.005	<0.08	<0.04	0.70	0.82	<0.01
Oct	<0.005	<0.08	<0.04	0.24	0.11	<0.01
Nov	<0.005	<0.08	0.44	6.04	0.90	<0.01
Dic	<0.005	<0.08	<0.04	0.29	0.80	<0.01
PROM	0.01	0.12	0.08	1.16	0.47	0.01
LMP	0.2	0.05	1	5	1	0.1

Fuente: MINERALS OF LABORATORIES SRL (MINLAB).

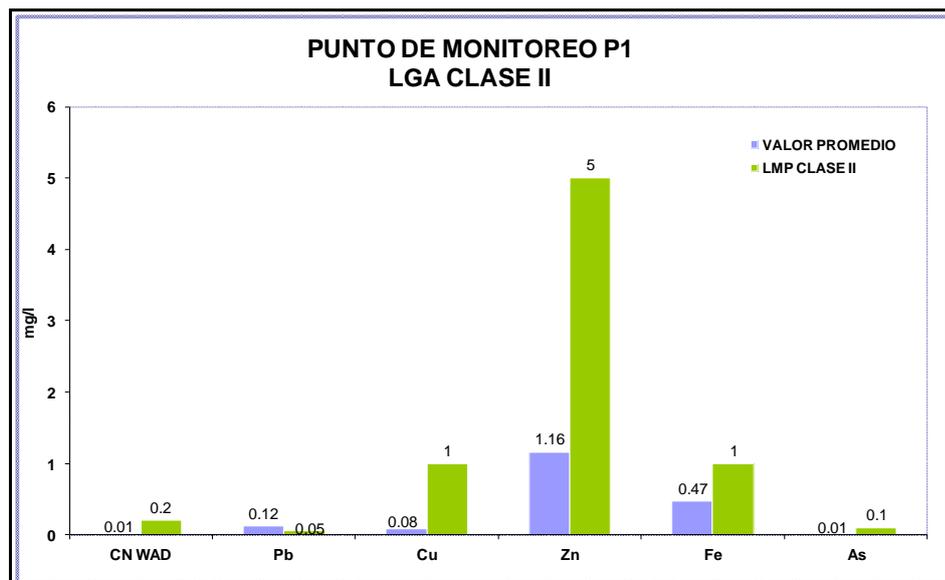


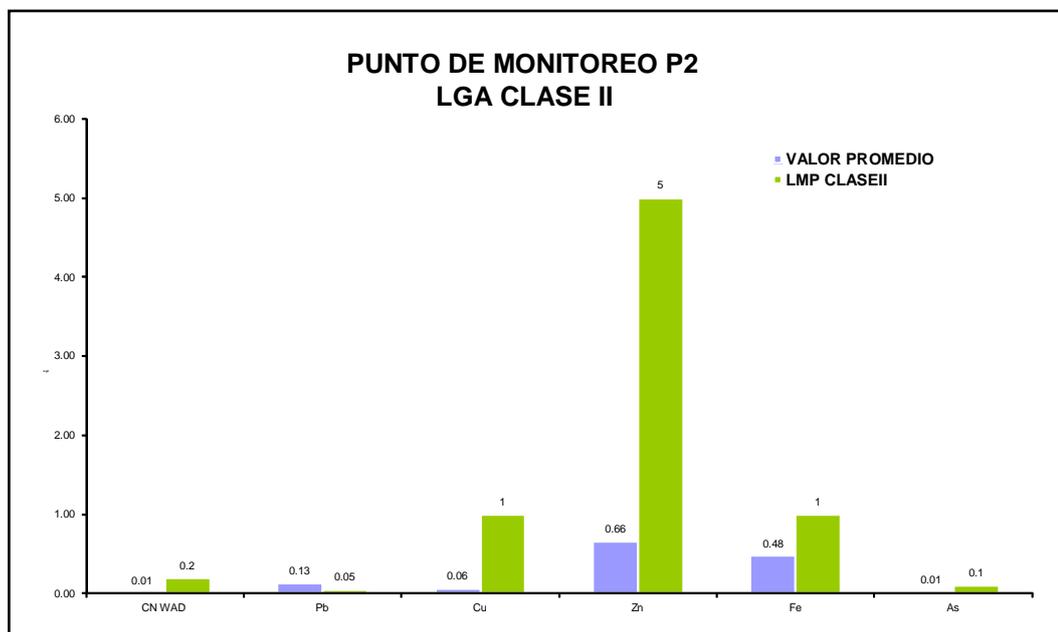
Gráfico N° 6. Estación de monitoreo P1 - 2006

Fuente: Unidad Minera

Cuadro N° 8. Estación de monitoreo P2 - 2006

Estación de Monitoreo P2						
mg/l						
	CN WAD	Pb	Cu	Zn	Fe	As
Ene	<0.005	0.12	0.1	0.99	0.38	0.01
Feb	<0.005	<0.12	0.14	1.24	0.63	<0.01
Mar	<0.005	0.28	<0.04	1.14	0.78	0.025
Abr	<0.005	<0.08	0.1	0.75	0.44	0.03
May	<0.005	<0.12	<0.04	0.25	0.44	<0.01
Jun	<0.005	<0.12	<0.04	0.41	0.3	<0.01
Jul	<0.005	0.15	0.02	0.52	0.14	0.01
Ago	<0.005	<0.12	<0.04	0.27	0.68	<0.01
Sep	<0.005	<0.08	<0.04	0.37	0.49	<0.01
Oct	<0.005	<0.08	<0.04	0.2	<0.09	<0.01
Nov	<0.005	<0.08	0.56	7.54	0.47	<0.01
Dic	<0.005	<0.08	<0.04	0.22	0.7	<0.01
PROM	0.01	0.13	0.06	0.66	0.48	0.01
LMP	0.2	0.05	1	5	1	0.1

Fuente: MINERALS OF LABORATORIES SRL (MINLAB).

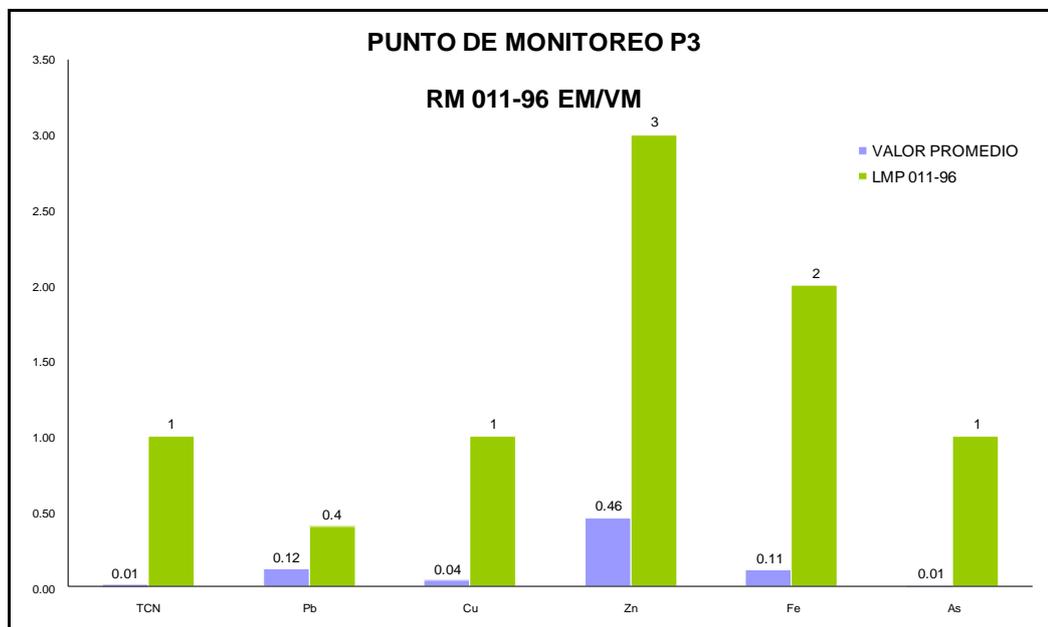
**Gráfico N° 7. Estación de monitoreo P2 - 2006**

Fuente: Unidad Minera

Cuadro N° 9. Estación de monitoreo P3 - 2006

Estación de Monitoreo P3						
mg/l						
	TCN	Pb	Cu	Zn	Fe	As
Ene	0.023	0.12	0.04	0.12	0.09	0.01
Feb	<0.005	<0.12	<0.04	0.05	<0.09	<0.01
Mar	<0.005	<0.12	<0.04	0.1	<0.09	<0.01
Abr	0.055	<0.08	<0.04	0.26	<0.09	<0.01
May	<0.005	<0.12	<0.04	0.26	<0.09	<0.01
Jun	<0.005	<0.12	<0.04	0.05	<0.09	<0.01
Jul	<0.005	0.16	<0.03	0.18	<0.09	<0.01
Ago	<0.005	<0.12	<0.04	0.64	<0.09	<0.01
Sep	<0.005	<0.08	<0.04	2.45	0.29	<0.01
Oct	<0.005	<0.08	<0.04	0.6	<0.09	<0.01
Nov	<0.005	<0.08	<0.04	0.35	<0.09	<0.01
Dic	<0.005	<0.08	<0.04	0.25	0.09	<0.01
PROM	0.01	0.12	0.04	0.46	0.11	0.01
LMP	1	0.4	1	3	2	1

Fuente: MINERALS OF LABORATORIES SRL (MINLAB).

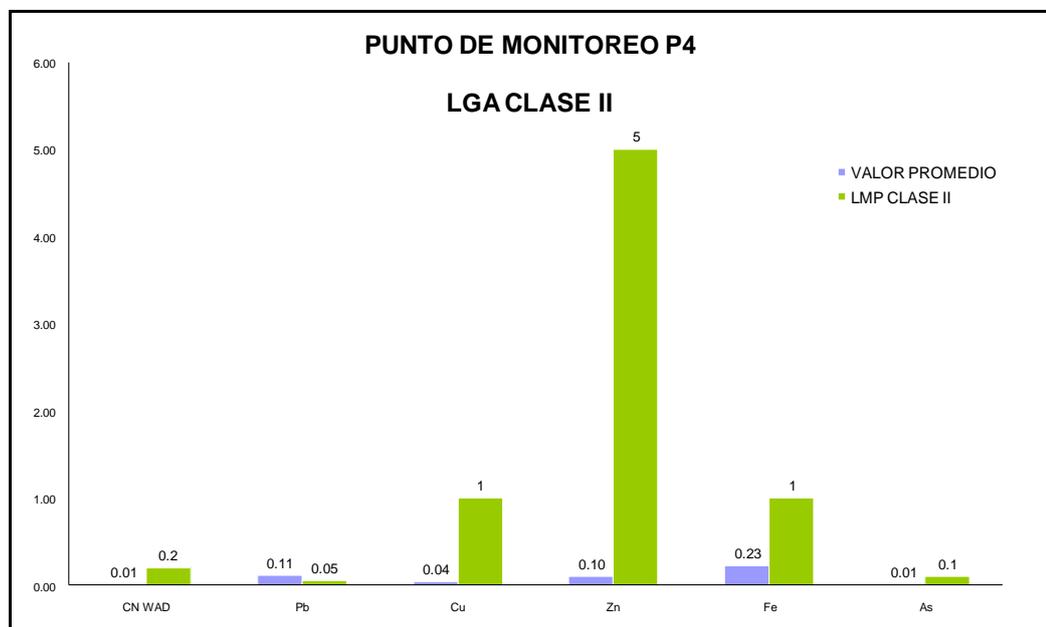
**Gráfico N° 8. Estación de monitoreo P3 - 2006**

Fuente: Unidad Minera

Cuadro N° 10. Estación de monitoreo P4 - 2006

Estación de Monitoreo P4						
mg/l						
	CN WAD	Pb	Cu	Zn	Fe	As
Ene	<0.005	0.14	0.04	0.12	1.05	0.01
Feb	<0.005	<0.12	<0.04	0.28	<0.09	<0.01
Mar	<0.005	<0.12	<0.04	<0.03	0.12	<0.01
Abr	<0.005	<0.08	<0.04	0.03	<0.09	<0.01
May	<0.005	<0.12	<0.04	0.33	<0.09	<0.01
Jun	<0.005	<0.12	<0.04	<0.03	<0.09	<0.01
Jul	<0.005	<0.12	<0.04	0.04	0.12	<0.01
Ago	<0.005	<0.12	<0.04	<0.03	<0.09	<0.01
Sep	<0.005	<0.08	<0.04	<0.03	0.3	<0.01
Oct	<0.005	<0.08	<0.04	0.04	<0.09	0.03
Nov	<0.005	<0.08	<0.04	<0.03	0.16	<0.01
Dic	<0.005	<0.08	<0.04	0.03	0.18	<0.01
PROM	0.01	0.11	0.04	0.10	0.23	0.01
LMP	0.2	0.05	1	5	1	0.1

Fuente: MINERALS OF LABORATORIES SRL (MINLAB).

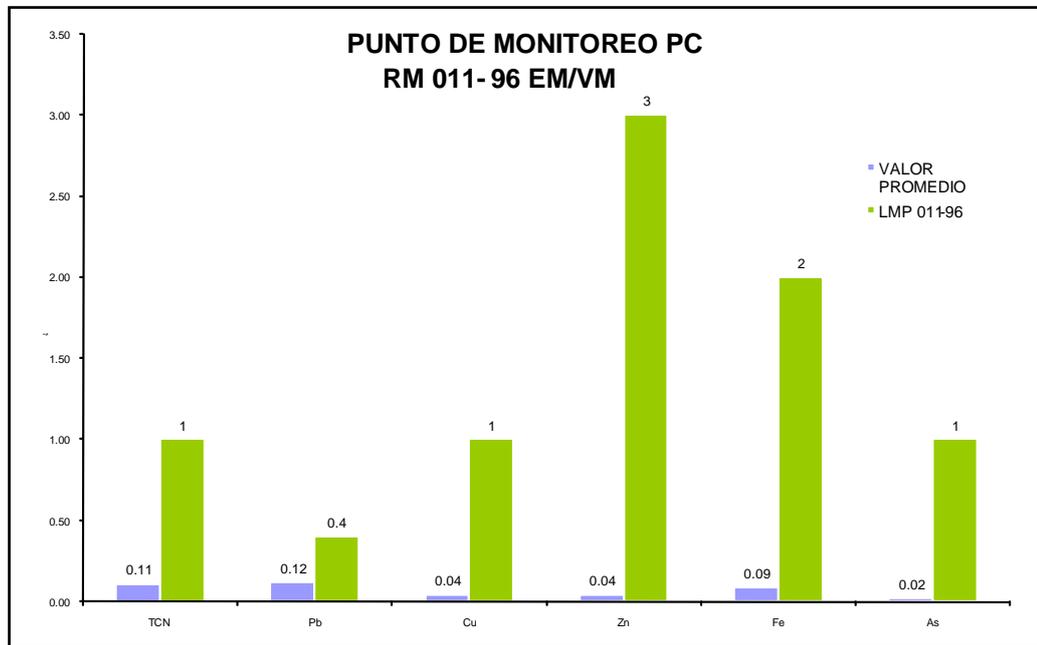
**Gráfico N° 9. Estación de monitoreo P4 - 2006**

Fuente: Unidad Minera

Cuadro N° 11. Estación de monitoreo PC - 2006

Estación de Monitoreo PC						
mg/l						
	TCN	Pb	Cu	Zn	Fe	As
Ene	0.058	0.16	0.06	0.03	0.09	0.01
Feb	0.061	<0.12	<0.04	0.05	<0.09	<0.01
Abr	<0.005	<0.08	<0.04	0.03	<0.09	<0.05
May	0.78	<0.12	<0.04	<0.03	<0.09	<0.01
Jun	<0.005	<0.12	<0.04	0.05	<0.09	<0.01
Jul	0.01	0.17	0.04	0.06	0.09	<0.01
Ago	<0.005	<0.12	<0.04	0.06	<0.09	0.05
Sep	<0.005	<0.08	<0.04	0.04	0.15	<0.01
Oct	<0.005	<0.08	<0.04	0.1	<0.09	<0.01
Nov	<0.005	<0.08	0.31	0.12	0.16	0.05
Dic	<0.005	<0.08	<0.04	0.07	0.16	<0.01
PROM	0.11	0.12	0.04	0.04	0.09	0.02
LMP	1	0.4	1	3	2	1

Fuente: MINERALS OF LABORATORIES SRL (MINLAB).

**Gráfico N° 10. Estación de monitoreo PC - 2006**

Fuente: Unidad Minera

1.3.4.2. Análisis de los resultados

Calidad de Agua en cuerpo receptor, Aguas Arriba. Estación P1.

Los valores promedio anual de metales totales cumplen con los LMP de la Ley General de Aguas Clase II a excepción del Plomo, que sobrepasa el valor límite de 0.05 mg/l reportando un valor de 0.14 mg/l. El compuesto Cianuro WAD no sobrepasa los Límites Máximos Permisibles de la Ley General de Aguas Clase II. Este punto representa la línea base de comparación para determinar los aportes de la unidad minera, por lo tanto, la unidad no tiene control sobre él.

Calidad de Agua en cuerpo receptor, Aguas Abajo. Estación P2.

Los valores promedio anual de metales totales cumplen con los LMP de la Ley General de Aguas Clase II a excepción del Plomo, que sobrepasa el valor límite de 0.05 mg/l reportando un valor de 0.13 mg/l. El compuesto Cianuro WAD no sobrepasa los Límites Máximos Permisibles de la Ley General de Aguas Clase II. Realizando una comparación entre P1 y P2, se comprueba que el vertimiento de la unidad minera y otros aportes (P4, P3 y PC) diluyen la concentración de Pb existente en P1 mejorando la calidad de agua del cuerpo receptor aguas abajo.

Calidad del Agua en efluentes, Estación P3.

Los valores promedio anual de metales disueltos cumplen con los LMP de la RM N° 011-96 EM/VMM. El compuesto Cianuro TOTAL no sobrepasa los Límites Máximos Permisibles de la RM N° 011-96 EM/VMM.

Calidad de Agua cuerpo receptor, Estación P4

Los valores promedio anual de metales totales cumplen con los LMP de la Ley General de Aguas Clase II a excepción del Plomo, que sobrepasa el valor límite de 0.05 mg/l reportando un valor de 0.11 mg/l. El compuesto Cianuro WAD no sobrepasa los Límites Máximos Permisibles de la Ley General de Aguas Clase II. La unidad minera no tiene control sobre este punto ya que el curso de agua es desviado aguas arriba de la zona operativa.

Calidad de Agua en efluentes, Salida de Planta Concentradora. Estación PC.

Los valores promedio anual de metales disueltos cumplen con los Límites Máximos Permisibles de la RM N° 011-96 EM/VMM. El compuesto Cianuro TOTAL promedio anual no sobrepasa los Límites Máximos Permisibles de la RM N° 011-96 EM/VMM.

CAPÍTULO II

CARACTERIZACIÓN DE EFLUENTES

2.1. Caracterización del agua de entrada a la planta.

Cuadro N° 12 Caracterización del agua de planta, Metales Totales

		METALES TOTALES (mg/l)					
		Fecha	SST	Zn	Pb	Cu	Fe
2006		23/06	19.000	0.520	0.610	0.060	2.660
		30/06	245.000	3.440	3.800	0.390	11.030
		08/07	688.000	6.200	5.560	0.760	15.240
		13/07	382.000	0.750	0.810	0.090	3.550
		28/07	117.000	0.790	0.000	0.120	2.570
		07/08	69.000	0.500	0.510	0.050	2.350
		14/08	139.360	0.530	0.650	0.070	2.210
		30/08	74.000	0.430	0.460	0.040	1.650
		05/09	232.000	0.870	1.020	0.140	7.630
		16/09	120.169	0.930	0.938	0.101	3.938
		26/09	50.040	0.530	0.560	0.060	1.920
		2/10	46.000	0.415	0.510	0.047	1.786
		11/10	44.476	0.500	0.468	0.055	2.063
		16/10	68.398	0.440	0.485	0.050	3.513
		25/10	49.650	0.290	0.263	0.022	0.863
		1/11	37.865	0.353	0.443	0.048	1.568
		7/11	51.533	0.515	0.476	0.044	1.933
		13/11	15.872	0.293	0.263	0.020	0.703
		20/11	63.695	0.395	0.356	0.052	1.613
		27/11	172.857	0.305	0.410	0.025	3.510
	6/12	55.068	0.418	0.290	0.017	1.298	
	13/12	75.780	0.455	0.478	0.037	2.475	
	21/12	99.920	0.238	0.179	0.019	0.748	
	26/12	160.858	0.808	0.680	0.088	2.288	
2007		02/01	57.736	1.250	0.403	0.035	1.853
		08/01	70.114	0.575	0.483	0.041	2.198
		15/01	328.277	1.940	1.725	0.339	11.609
		20/01	95.165	0.565	0.548	0.044	2.423
		29/01	355.428	1.830	1.903	0.255	11.108
		02/01	57.736	1.250	0.403	0.035	1.853
		08/01	70.114	0.575	0.483	0.041	2.198
		15/01	328.277	1.940	1.725	0.339	11.609
		20/01	95.165	0.565	0.548	0.044	2.423
		29/01	355.000	1.830	1.903	0.255	11.108
		07/02	50.000	0.638	0.405	0.050	1.910

Fuente: Unidad Minera

Cuadro N° 13 Caracterización del agua de planta, Metales Disueltos

		IONES DISUELTOS (mg/l)				
		Fecha	Zn	Pb	Cu	Fe
2006		23/06	0.020	0.200	0.220	0.050
		30/06	0.010	0.010	0.010	0.010
		08/07	0.010	0.190	0.020	0.010
		13/07	0.070	0.030	0.050	0.020
		28/07	0.100	0.230	0.020	0.030
		07/08	0.020	0.050	0.010	0.010
		14/08	0.020	0.040	0.010	0.010
		30/08	0.020	0.110	0.010	0.010
		05/09	0.020	0.240	0.010	0.010
		16/09	0.030	0.170	0.010	0.010
		26/09	0.020	0.010	0.060	0.010
		2/10	0.100	0.180	0.010	0.024
		11/10	0.020	0.320	0.010	0.200
		16/10	0.030	0.050	0.010	0.130
		25/10	0.010	0.010	0.010	0.010
		1/11	0.020	0.010	0.010	0.010
		7/11	0.020	0.035	0.010	0.020
		13/11	0.100	0.090	0.010	0.020
		20/11	0.010	0.090	0.074	0.010
		27/11	0.020	0.010	0.270	0.010
	6/12	0.010	0.060	0.010	0.010	
	13/12	0.020	0.050	0.010	0.010	
	21/12	0.010	0.075	0.010	0.020	
	26/12	0.060	0.010	0.010	0.010	
2007		02/01	0.020	0.080	0.010	0.010
		08/01	0.020	0.100	0.013	0.020
		15/01	0.050	0.090	0.010	0.020
		20/01	0.010	0.010	0.010	0.010
		29/01	0.020	0.140	0.010	0.010
		02/01	0.020	0.080	0.010	0.010
		08/01	0.020	0.100	0.013	0.020
		15/01	0.050	0.090	0.010	0.020
		20/01	0.010	0.010	0.010	0.010
		29/01	0.020	0.140	0.010	0.010
	07/02	0.030	0.010	0.010	0.010	

Fuente: Unidad Minera

2.2. Caracterización del efluente a recircular.

Cuadro N° 14 Caracterización del efluente a recircular, Metales Totales

		METALES TOTALES (mg/l)					
		Fecha	SST	Zn	Pb	Cu	Fe
2006		23/06	26.000	0.110	0.460	2.400	1.950
		30/06	53.000	0.130	0.500	1.060	2.590
		08/07	72.000	0.190	0.290	0.140	2.280
		13/07	73.000	0.060	0.150	0.110	1.400
		28/07	34.000	0.110	0.330	0.200	1.630
		07/08	189.000	0.510	0.800	1.200	8.830
		14/08	93.170	0.310	0.300	0.270	0.400
		30/08	118.000	0.300	0.450	1.040	3.180
		05/09	70.000	0.160	0.270	0.720	2.480
		16/09	40.127	0.220	0.228	0.466	2.090
		26/09	20.040	1.410	0.790	0.220	1.160
		2/10	53.000	0.171	0.394	0.186	2.000
		11/10	14.644	0.378	0.218	0.025	0.685
		16/10	44.816	0.120	0.238	1.190	2.375
		25/10	73.612	0.170	0.255	0.073	1.198
		1/11	29.820	0.093	0.088	0.010	0.048
		7/11	78.933	0.250	0.236	0.566	2.478
		13/11	64.426	0.300	0.300	0.965	2.800
		20/11	73.809	0.278	0.303	0.699	1.828
		27/11	44.674	0.058	0.118	0.015	1.095
	6/12	45.107	0.213	0.215	0.111	1.170	
	13/12	105.524	0.198	0.468	0.310	5.556	
	21/12	124.127	0.188	0.206	0.626	2.098	
	26/12	69.182	0.203	0.163	0.376	2.573	
2007		02/01	163.034	1.598	0.690	0.683	10.000
		08/01	49.810	0.338	0.278	0.075	1.358
		15/01	63.577	0.168	0.188	0.245	1.742
		20/01	69.111	0.325	0.413	0.214	2.162
		29/01	85.632	1.385	0.258	1.608	2.988
		02/01	163.034	1.598	0.690	0.683	10.000
		08/01	49.810	0.338	0.278	0.075	1.358
		15/01	63.577	0.168	0.188	0.245	1.742
		20/01	69.111	0.325	0.413	0.214	2.162
		29/01	86.000	1.385	0.258	1.608	2.988
	07/02	52.000	0.270	0.295	0.181	2.241	

Fuente: Unidad Minera

**Cuadro N° 15 Caracterización del efluente a recircular, Metales
Disueltos**

		IONES DISUELTOS (mg/l)				
		Fecha	Zn	Pb	Cu	Fe
2006		23/06	0.020	0.200	0.450	0.030
		30/06	0.020	0.090	1.180	0.030
		08/07	0.000	0.050	0.080	0.024
		13/07	0.060	0.040	0.130	0.020
		28/07	0.070	0.150	0.010	0.020
		07/08	0.020	0.080	0.650	0.010
		14/08	0.020	0.030	0.230	0.010
		30/08	0.020	0.110	0.980	0.010
		05/09	0.020	0.030	0.390	0.010
		16/09	0.020	0.160	0.320	0.010
		26/09	0.190	0.010	0.130	0.010
		2/10	0.020	0.250	0.006	0.020
		11/10	0.020	0.340	0.030	0.090
		16/10	0.020	0.070	1.150	0.560
		25/10	0.010	0.010	0.010	0.020
		1/11	0.020	0.010	0.010	0.010
		7/11	0.020	0.060	0.010	0.020
		13/11	0.120	0.100	0.090	0.020
		20/11	0.010	0.120	0.260	0.010
		27/11	0.020	0.010	0.010	0.010
		6/12	0.010	0.100	0.011	0.110
		13/12	0.010	0.010	0.211	0.010
		21/12	0.010	0.055	0.010	0.020
	26/12	0.040	0.040	0.160	0.010	
2007		02/01	0.020	0.020	0.020	0.010
		08/01	0.020	0.080	0.035	0.020
		15/01	0.020	0.140	0.097	0.020
		20/01	0.010	0.010	0.010	0.010
		29/01	0.020	0.060	1.080	0.010
		02/01	0.020	0.020	0.020	0.010
		08/01	0.020	0.080	0.035	0.020
		15/01	0.020	0.140	0.097	0.020
		20/01	0.010	0.010	0.010	0.010
		29/01	0.020	0.060	1.080	0.010
		07/02	0.050	0.030	0.072	0.010

Fuente: Unidad Minera

CAPÍTULO III

PRIMERA ETAPA: PRUEBAS Y RESULTADOS A NIVEL DE LABORATORIO DEL TRATAMIENTO Y RECIRCULACIÓN DEL EFLUENTE Y SU EFECTO EN EL PROCESO DE FLOTACIÓN

3.1. Descripción y Resultados

En la primera etapa se diseñaron diferentes alternativas para implementar la recirculación del efluente de la planta concentradora y en base a ellas se realizaron pruebas metalúrgicas a nivel de laboratorio para obtener algunos indicios y tendencias del impacto que causaría en el proceso de flotación, trabajar con agua recirculada, así como también indicios y tendencias del comportamiento de los elementos valiosos en el proceso de flotación selectiva (mediante el Factor Metalúrgico, FM). Todo ello con la finalidad de determinar cuál de las alternativas planteadas resultaba ser la técnica más óptima que maximice el volumen de recirculación del efluente y también el factor metalúrgico.

Las alternativas planteadas fueron:

Alternativa N° 1. Bombeo del rebose del espesador de relaves a la relavera y reutilización del espejo de agua.

Esta alternativa consiste en captar el agua de rebose del espesador de relaves y mediante una tubería y bomba adicionales enviarlo a la presa de relaves.

Alternativa N° 2. Bombeo de la pulpa de relaves sin espesamiento a la relavera y reutilización del espejo de agua

Esta alternativa consiste en captar la pulpa de relaves directamente desde la última etapa de flotación de Zn haciendo un *by pass* a la etapa de espesamiento y, mediante una tubería y bomba adicionales enviarlo a la presa de relaves.

Alternativa N° 3. Tratamiento del rebose del espesador de relaves antes de su reutilización en el proceso de concentración

Esta alternativa consiste en captar el agua de rebose del espesador de relaves y mediante un tratamiento previo, proporcionarle las características apropiadas para que su reutilización en la planta concentradora represente un beneficio al factor metalúrgico del proceso de concentración.

Alternativa N° 4. Tratamiento del actual vertimiento final (PC) antes de su reutilización en el proceso de concentración

Esta alternativa consiste en captar parte del agua tratada a la salida del reactor de sedimentación del sistema de tratamiento del efluente industrial y reutilizarla directamente en la planta concentradora.

Nomenclatura:

$$F.M.=\frac{\text{Ley del Concentrado} (\% \text{ Recuperación})}{\text{Ley de Cabeza}}$$

FM Factor Metalúrgico

El factor metalúrgico es un excelente indicador de la performance metalúrgica del proceso de concentración de minerales.

$$F.R.=\frac{V \text{ ER}}{V \text{ AI}}$$

ER Rebose del **E**spesador de **R**elaves

AI Agua Industrial (Agua Subterránea + Recirculación de Relavera)

F.R. Factor de Recirculación

El factor de recirculación es una relación que indica la proporción entre el volumen de agua recirculada y el volumen de agua industrial.

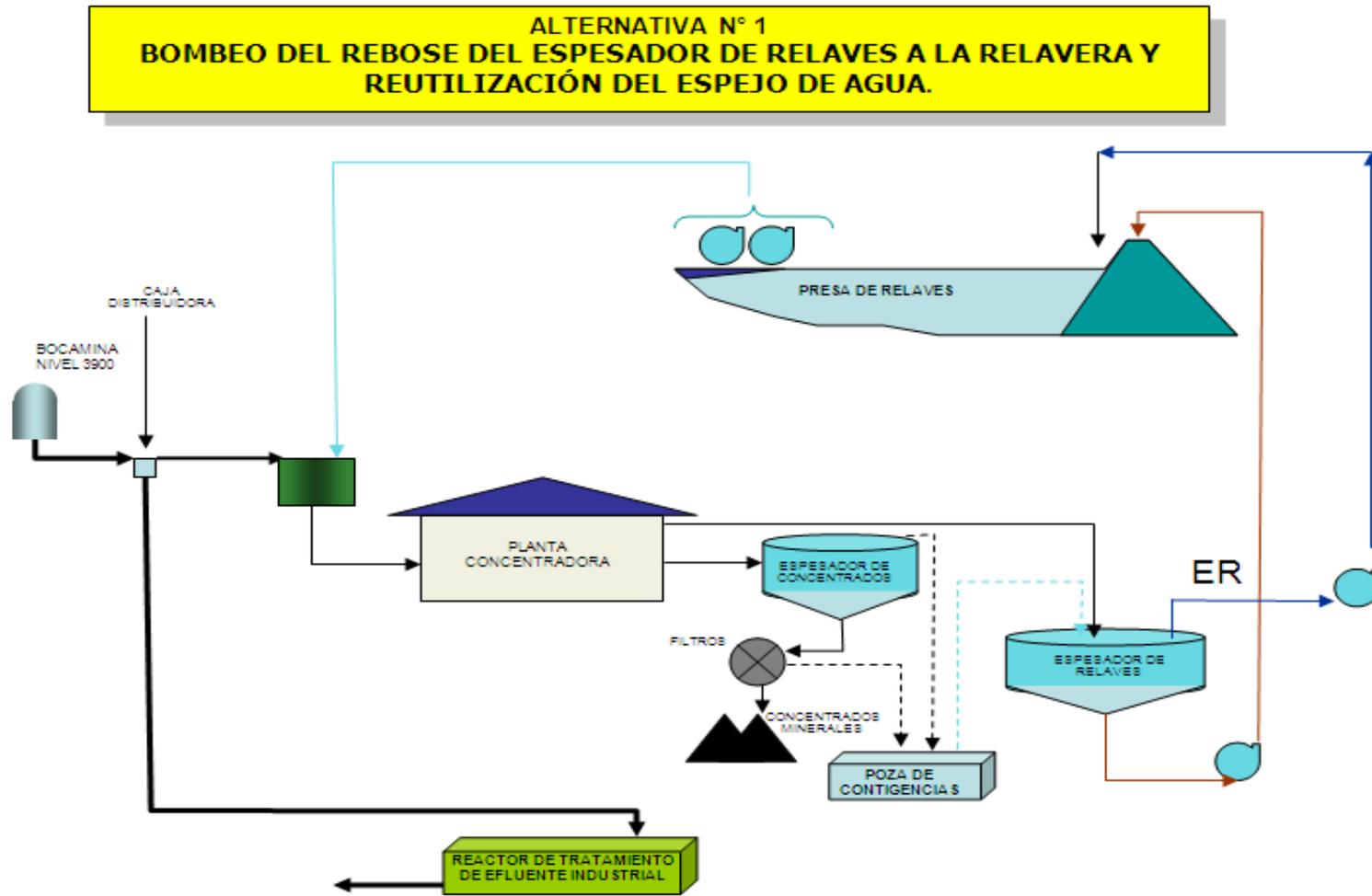


Figura N° 3 Alternativa N° 1

ALTERNATIVA N° 2
BOMBEO DE LA PULPA DE RELAVES SIN ESPESAMIENTO A LA RELAVERA Y
REUTILIZACIÓN DEL ESPEJO DE AGUA

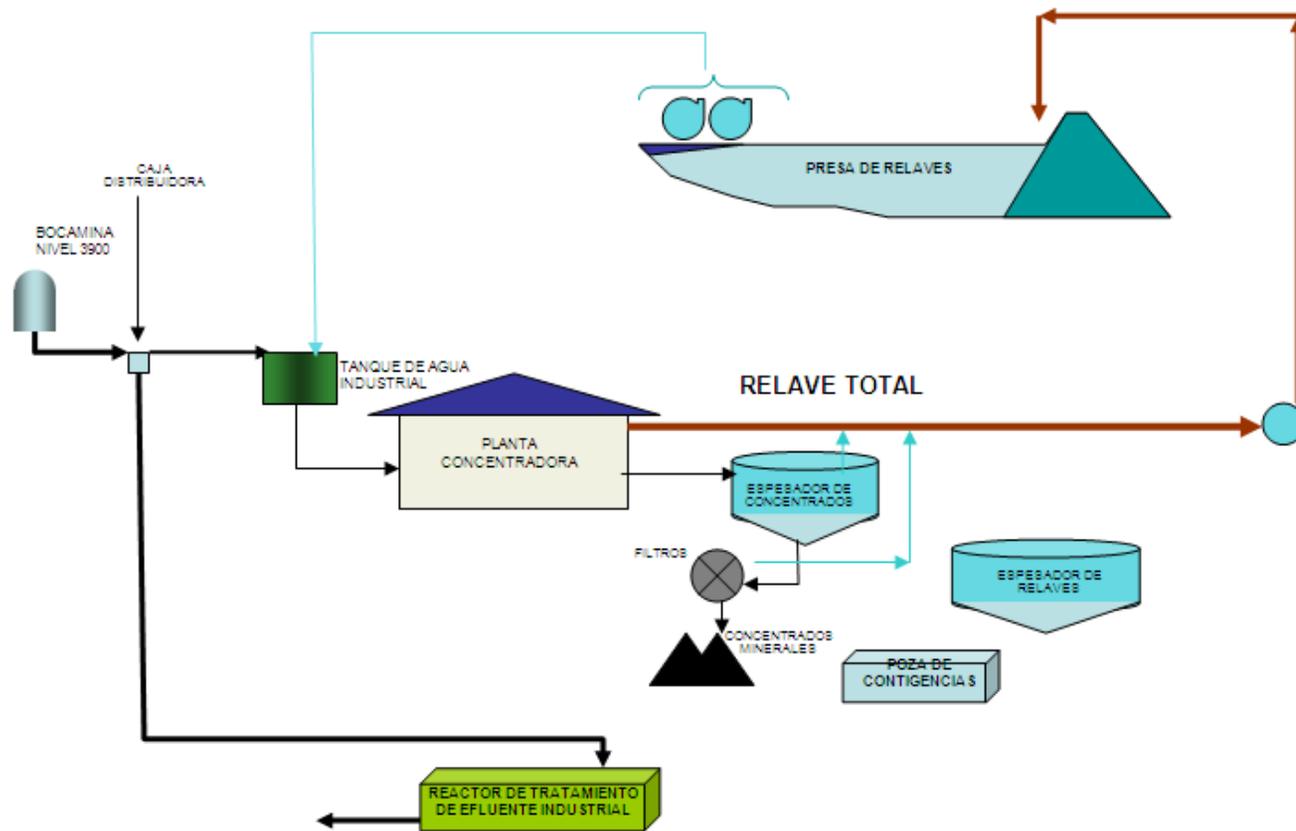


Figura N° 4 Alternativa N° 2

ALTERNATIVA N° 3
TRATAMIENTO DEL REBOSE DEL ESPESADOR DE RELAVES ANTES DE SU REUTILIZACIÓN
EN EL PROCESO DE CONCENTRACIÓN

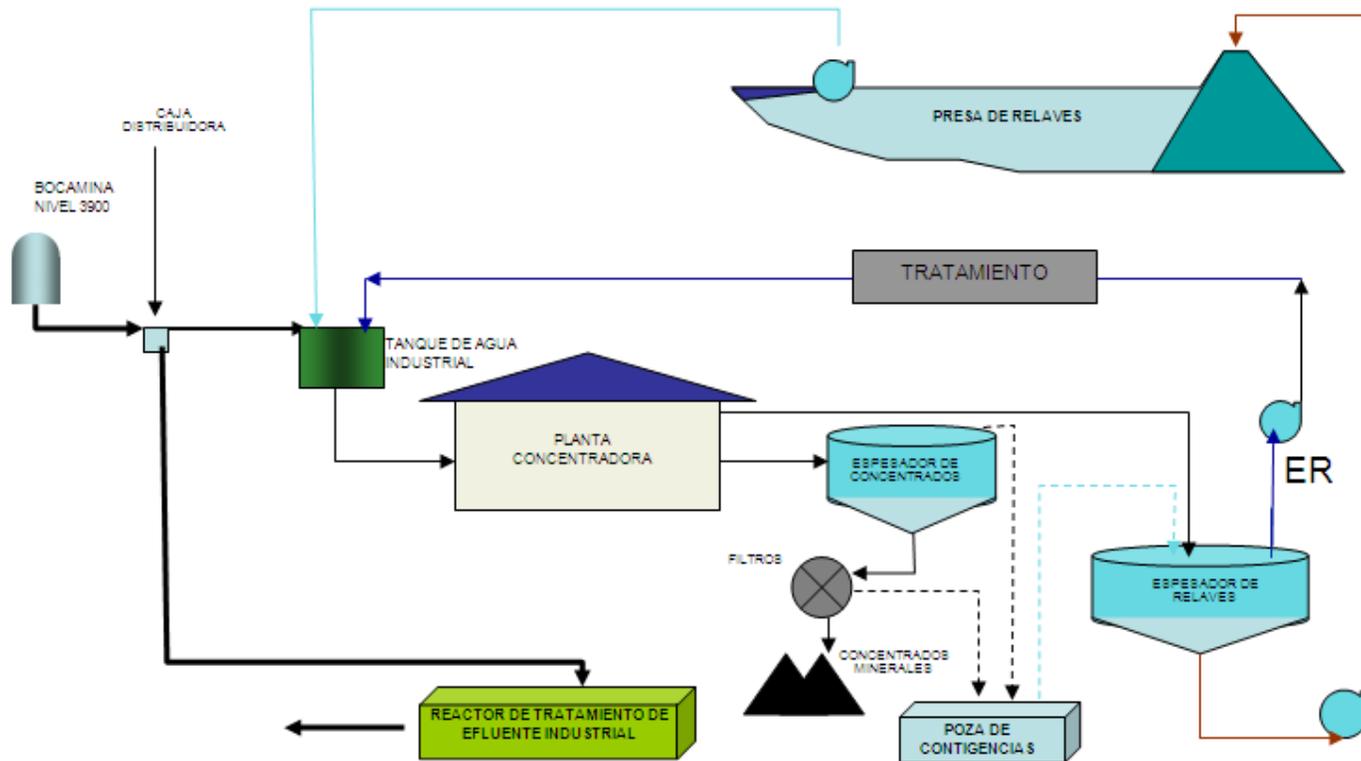


Figura N° 5 Alternativa N° 3

ALTERNATIVA N° 4
TRATAMIENTO DEL ACTUAL VERTIMIENTO FINAL (PC) ANTES DE SU REUTILIZACIÓN
EN EL PROCESO DE CONCENTRACIÓN

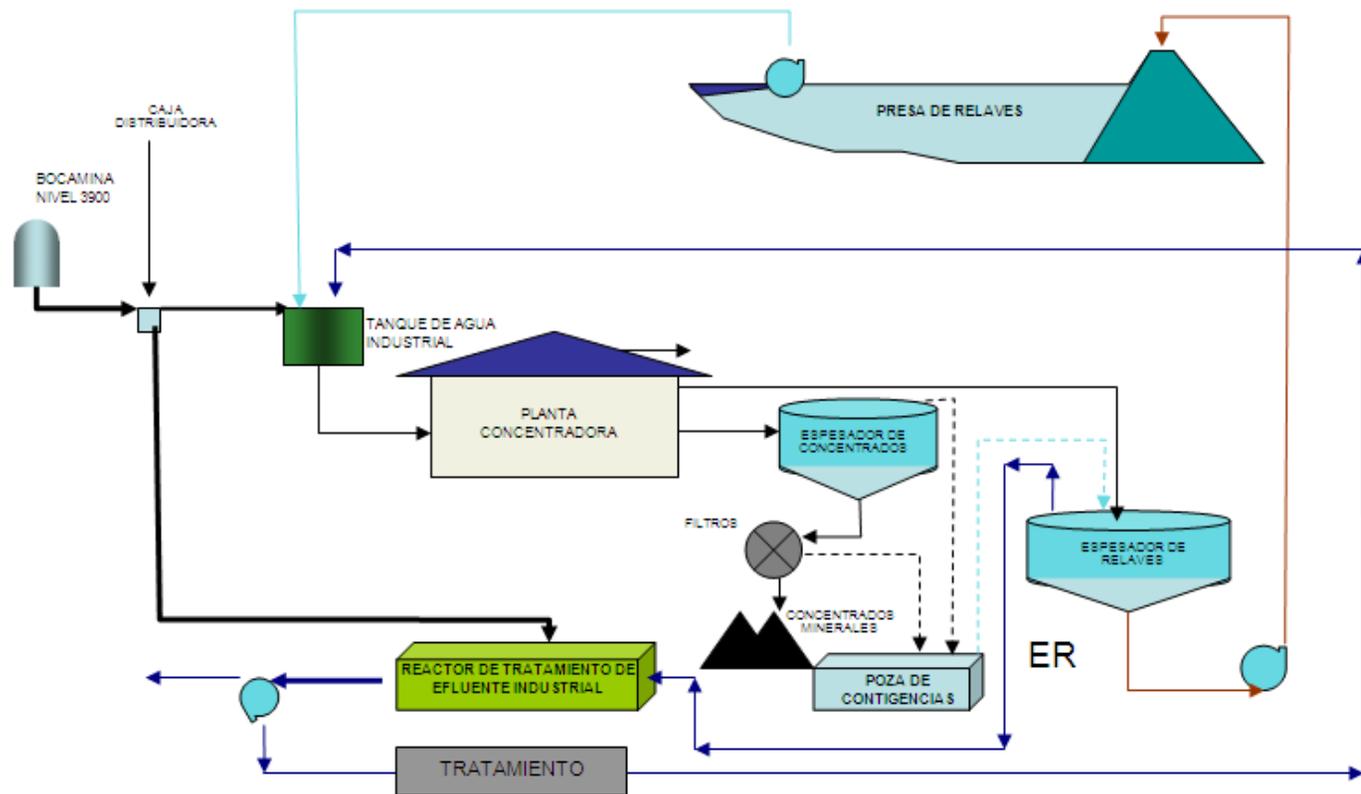


Figura N° 6 Alternativa N° 4

3.1.1. Descripción de las pruebas para cada una de las alternativas

Objetivos:

- a) Observar la influencia del Factor de Recirculación (FR) en el grado y la recuperación del concentrado y la activación del Zn en el circuito de flotación de Pb en base a la variación del Factor Metalúrgico (FM)

$$FM = (Ley\ del\ Concentrado) (\% \text{ Recuperación}) / (Ley\ de\ Cabeza)$$

- b) Determinar el óptimo FR

$$FR = (V\ ER) / (V\ AI)$$

Condiciones:

- a) Estándar de Planta Concentradora
- b) Factor de Recirculación (F.R.) Variable.

Producto final:

Concentrado de Pb Rougher

Se tomó como referencia el estándar de flotación de plomo.

Cuadro N° 16 Pruebas de Flotación Estándar

PRUEBAS DE FLOTACIÓN ESTANDAR										
3	DOSIFICACION (cc/min)					DOSIFICACION gr/ton				
Reactivo	Molienda (4'18'')	Acond.Ro (2')	Ro I (5')	Acond.Scv. (2')	Scv. (4')	Molienda (4'18'')	Acond.Ro (2')	Ro I (5')	Acond.Scv. (2')	Scv. (4')
Mezcla * al 5%	3,2			3,0		160,0			150,0	
NaCN al 1%	2,0			0,6		20,0			6,0	
Na ₂ S al 1%		1,3					13,0			
Z-11 al 1%		0,8		0,8			8,0		8,0	
MIBC al 100%		30								

* Mezcla ZnSO₄ = 60% Y Bisulfito de Sodio 40%

PRUEBAS DE FLOTACIÓN ESTANDAR												
PRUEBA ESTANDAR												
DESCRIPCIÓN	Peso	% Peso	% ENSAYES					RECUPERACION				
			% Zn	% Pb	% Cu	Ag	% Fe	% Zn	% Pb	% Cu	% Ag	% Fe
Conc. Ro I	123,75	12,52	9,86	13,52	3,34	21,12	10,71	42,39	80,34	88,68	82,71	18,30
Conc Scv	57,75	5,84	9,05	2,70	0,41	3,89	20,19	18,16	7,49	5,08	7,11	16,10
Relave Final	807,19	81,64	1,41	0,31	0,04	0,40	5,89	39,45	12,17	6,23	10,18	65,60
Cabeza Calculada	988,69	100,00	2,91	2,11	0,47	3,20	7,32	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Cabeza Ensayada			2,85	1,92	0,39	2,24	7,47					
Factor Metalurgico				515,70	628,37	546,54						

Fuente: Unidad Minera

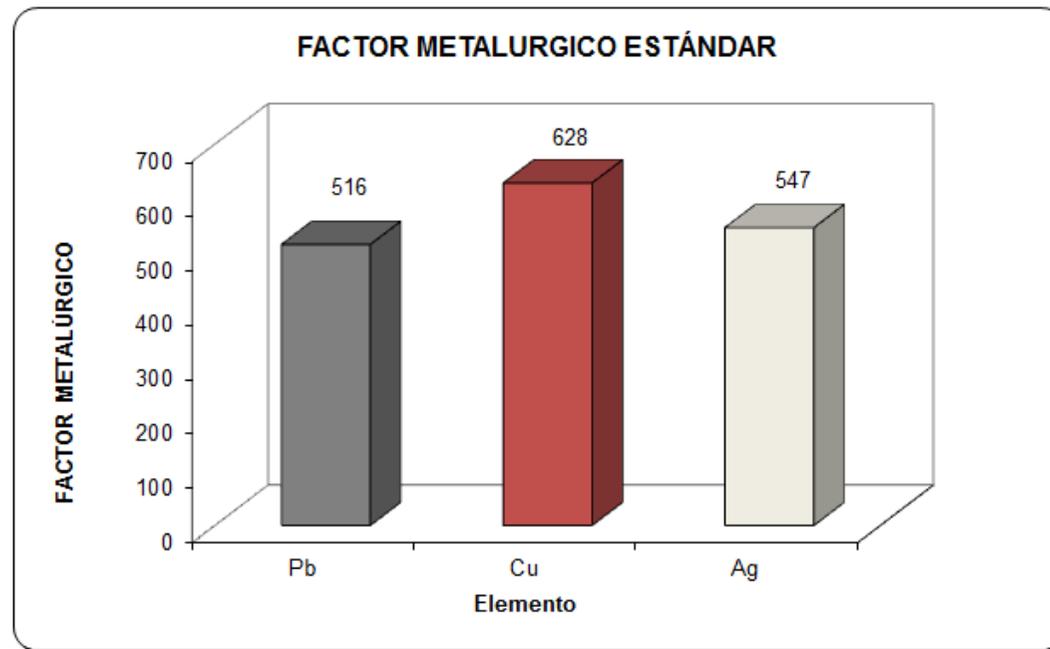


Gráfico N° 11 Factor Metalúrgico Estándar

Fuente: Unidad Minera

Para la Alternativa N° 1 y la Alternativa N° 2 se utilizó el agua del espejo de la relavera.

Para la Alternativa N° 3 se utilizó el agua del rebose del espesador de relaves previo tratamiento con diferentes reactivos.

Para la Alternativa N° 4 se utilizó el vertimiento final (PC).

3.1.2. Resultados de las pruebas

Cuadro N° 17 Alternativas N° 1 y N° 2

PRUEBA 1 : (100% AGUA RECIRCULADA)												
DESCRIPCIÓN	Peso	% Peso	% ENSAYES					RECUPERACION				
			% Zn	% Pb	% Cu	Ag	% Fe	% Zn	% Pb	% Cu	% Ag	% Fe
Conc. Ro I	116.21	12.25	13.51	11.75	2.29	14.44	11.45	69.85	83.08	88.63	82.56	16.47
Conc Scv	33.34	3.51	9.25	2.47	0.47	3.54	20.71	13.72	5.01	5.22	5.80	8.54
Relave Final	799.14	84.24	0.46	0.25	0.02	0.30	7.58	16.43	11.91	6.15	11.63	74.99
Cabeza Calculada	948.69	100.00	2.37	1.73	0.32	2.14	8.52	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Cabeza Ensayada			3.11	1.89	0.40	2.99	7.89					
Factor Metalurgico				Pb	Cu	Ag						
				563	641	556						

PRUEBA 2 : (50% AGUA RECIRCULADA)												
DESCRIPCIÓN	Peso	% Peso	% ENSAYES					RECUPERACION				
			% Zn	% Pb	% Cu	Ag	% Fe	% Zn	% Pb	% Cu	% Ag	% Fe
Conc. Ro I	115.78	12.09	10.30	12.55	3.38	20.99	13.03	44.75	81.04	88.51	83.24	18.26
Conc Scv	44.30	4.63	8.19	2.96	0.44	4.05	22.27	13.61	7.31	4.41	6.15	11.94
Relave Final	797.20	83.28	1.39	0.26	0.04	0.39	7.24	41.64	11.65	7.09	10.62	69.81
Cabeza Calculada	957.28	100.00	2.78	1.87	0.46	3.05	8.63	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Cabeza Ensayada			3.11	1.89	0.40	2.99	7.89					
Factor Metalurgico				Pb	Cu	Ag						
				543	648	573						

PRUEBA 3 : (0% AGUA RECIRCULADA)												
DESCRIPCIÓN	Peso	% Peso	% ENSAYES					RECUPERACION				
			% Zn	% Pb	% Cu	Ag	% Fe	% Zn	% Pb	% Cu	% Ag	% Fe
Conc. Ro I	123.75	12.52	9.86	13.52	3.34	21.12	10.71	42.39	80.34	88.68	82.71	18.30
Conc Scv	57.75	5.84	9.05	2.70	0.41	3.89	20.19	18.16	7.49	5.08	7.11	16.10
Relave Final	807.19	81.64	1.41	0.31	0.04	0.40	5.89	39.45	12.17	6.23	10.18	65.60
Cabeza Calculada	988.69	100.00	2.91	2.11	0.47	3.20	7.32	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Cabeza Ensayada			2.85	1.92	0.39	2.24	7.47					
Factor Metalurgico				Pb	Cu	Ag						
				516	628	547						

Fuente: Unidad Minera

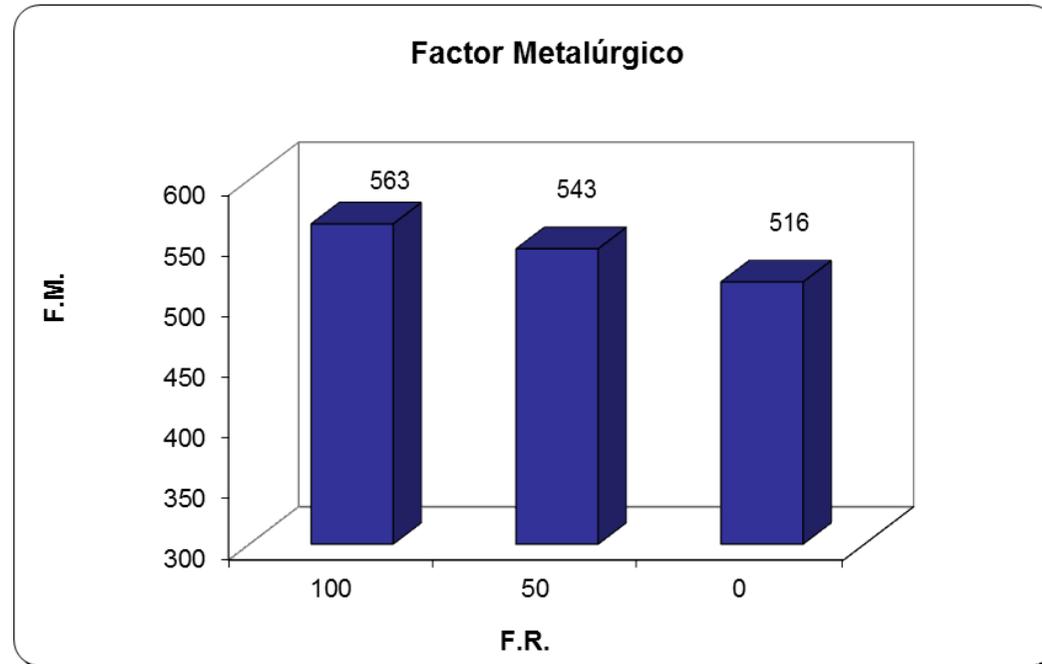


Gráfico N° 12 Alternativas N° 1 y N° 2

Fuente: Unidad Minera

Estos resultados son superiores al factor metalúrgico debido a que la presa de relaves actúa como un reactor natural precipitando metales disueltos y degradando residuos de reactivos a través del tiempo.

El detalle de las pruebas realizadas se presenta más adelante. Por ahora presentamos los resultados obtenidos.

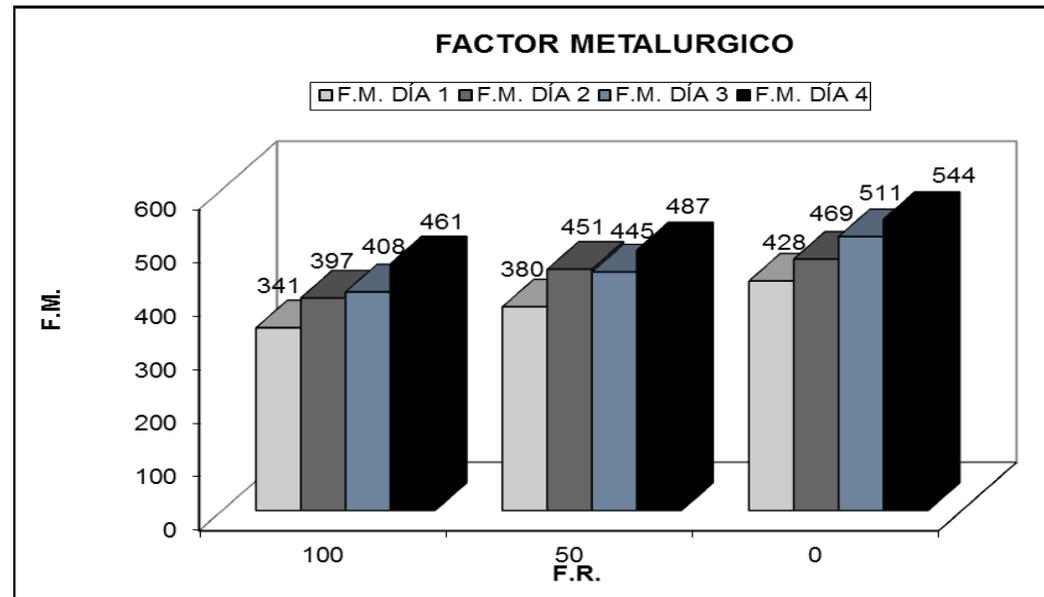


Gráfico N° 13 Alternativa N° 3

Fuente: Unidad Minera

Resultados de las pruebas metalúrgicas para la evaluación de las Alternativa N° 3. Nótese que el Factor Metalúrgico es mayor cuándo se usa mayor proporción del agua de mina respecto al agua de rebose del espesador de relaves (Recirculante).

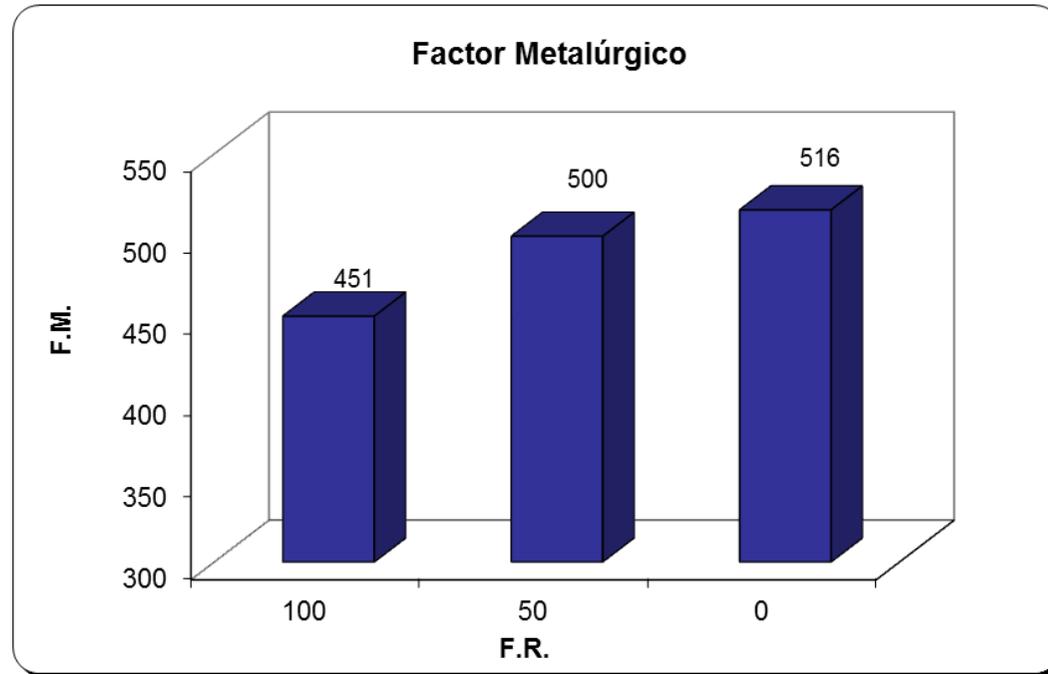


Gráfico N° 14 Alternativa N° 3, con tratamientos

Fuente: Unidad Minera

Resultados de las pruebas metalúrgicas para la evaluación de las Alternativa N° 3. Nótese los valores del Factor Metalúrgico para los diferentes tipos de tratamiento.

Cuadro N° 18 Alternativa N° 4

PRUEBA 1 : (100% PC)												
DESCRIPCIÓN	Peso	% Peso	% ENSAYES					RECUPERACION				
			% Zn	% Pb	% Cu	Ag	% Fe	% Zn	% Pb	% Cu	% Ag	% Fe
Conc. Ro I	144.39	14.68	13.44	9.37	2.24	14.11	10.57	57.61	76.47	84.28	79.08	17.79
Conc Scv	52.83	5.37	8.79	2.91	0.53	3.89	20.78	13.79	8.69	7.30	7.97	12.80
Relave Final	786.39	79.95	1.23	0.33	0.04	0.42	7.57	28.60	14.84	8.42	12.95	69.41
Cabeza Calculada	983.61	100.00	3.42	1.80	0.39	2.62	8.72	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Cabeza Ensayada			3.11	1.89	0.40	2.99	7.89					
Factor Metalurgico				Pb	Cu	Ag						
				398	484	426						

PRUEBA 2 : (50% PC)												
DESCRIPCIÓN	Peso	% Peso	% ENSAYES					RECUPERACION				
			% Zn	% Pb	% Cu	Ag	% Fe	% Zn	% Pb	% Cu	% Ag	% Fe
Conc. Ro I	123.67	12.94	10.79	12.44	2.94	18.07	11.78	65.73	78.91	89.83	82.74	17.49
Conc Scv	45.65	4.78	9.16	3.39	0.54	4.73	20.30	20.60	7.94	6.09	7.99	11.13
Relave Final	786.70	82.29	0.35	0.33	0.02	0.32	7.56	13.68	13.15	4.08	9.27	71.38
Cabeza Calculada	956.02	100.00	2.12	2.04	0.42	2.82	8.71	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Cabeza Ensayada			3.11	1.89	0.40	2.99	7.89					
Factor Metalurgico				Pb	Cu	Ag						
				481	624	529						

PRUEBA 3 : (0% PC)												
DESCRIPCIÓN	Peso	% Peso	% ENSAYES					RECUPERACION				
			% Zn	% Pb	% Cu	Ag	% Fe	% Zn	% Pb	% Cu	% Ag	% Fe
Conc. Ro I	123.75	12.52	9.86	13.52	3.34	21.12	10.71	42.39	80.34	88.68	82.71	18.30
Conc Scv	57.75	5.84	9.05	2.70	0.41	3.89	20.19	18.16	7.49	5.08	7.11	16.10
Relave Final	807.19	81.64	1.41	0.31	0.04	0.40	5.89	39.45	12.17	6.23	10.18	65.60
Cabeza Calculada	988.69	100.00	2.91	2.11	0.47	3.20	7.32	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Cabeza Ensayada			2.85	1.92	0.39	2.24	7.47					
Factor Metalurgico				Pb	Cu	Ag						
				516	628	547						

Fuente: Unidad Minera

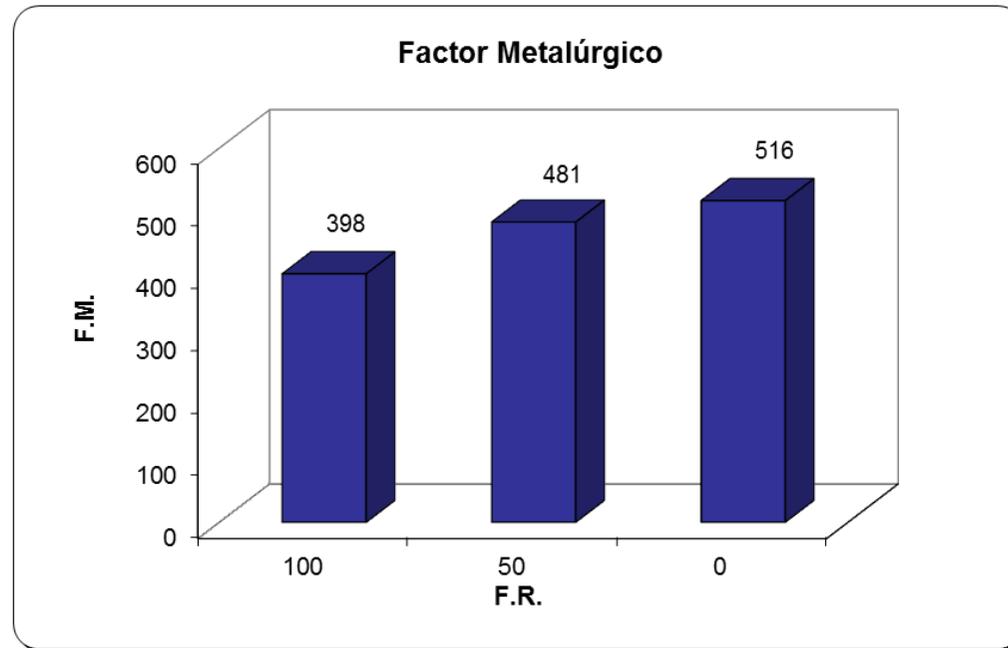


Gráfico N° 15 Alternativa N° 4

Fuente: Unidad Minera

De los resultados se puede observar que no es posible obtener un buen factor metalúrgico reutilizando el actual vertimiento final (PC) - rebose del reactor de sedimentación - debido probablemente a la presencia de floculante residual. Por ello se concluye que éste necesitará un tratamiento previo para romper el efecto de floculación para que no perjudique el proceso de flotación.

3.1.3. Resultados Económicos

Se estimaron a nivel conceptual los costos de implementación y operación de las alternativas propuestas:

Cuadro N° 19 Comparativo de Costos de Inversión

DESCRIPCION	UN	PU USD	CANTIDADES				INVERSIONES			
			Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4
MATERIALES										
			<i>Agua</i>	<i>Pulpa</i>	<i>Agua</i>	<i>Agua</i>				
Tuberia Schedule 80 6"	m	80	1,000	1,000			80,000	80,000		
Bridas de 8"	UN	30		100		50		3,000		1,500
Bridas de 6"	UN	20	100		50		2,000		1,000	
Anclajes de tuberia	UN	15	125	125			1,875	1,875		
Codos Schedule 6"	UN	50	50	50			2,500	2,500		
Planchas tanques de Fe 1/4"	m2	1.22			2,802	4,203			3,418	5,127
Tuberia HDPE 8"	m2	17.50				250				4,375
Tuberia HDPE 6"	m2	13.95			250				3,488	0
Tuberia HDPE 4"	m2	9.00	3,000	3,000			27,000	27,000		
Otros	GL	20,000	1	1	0.25	0.25	20,000	20,000	5,000	5,000
INFRAESTRUCTURA										
Canal de contingencia	m	35	1,000	1,000			35,000	35,000		
Ampliacion de casa bomba	UN	10,000	1	1			10,000	10,000		
Const. e Instal. tanque agitacion (50m3)	UN	1			3,500	3,500			3,500	3,500
Otros	GL	5,000	1	1	0.5	0.5	5,000	5,000	2,500	2,500
EQUIPOS										
Bomba estacionaria H=200m	UN	500,000	1	1			500,000	500,000		
Arrancador	UN	50,000	1	1			50,000	50,000		
Bombas para relavera	UN	25,000	1	1			25,000	25,000		
Sistema de alarmas	UN	15,000	1	1			15,000	15,000		
Bomba de impulsión H=30m	UN	30,000			1	1			30,000	30,000
Motor y Sistema Agitador	UN	10,000			2	2			20,000	20,000
Sistema Dosificador reactivos	UN	5,000			1				5,000	
Acondicionador de reactivos	UN	3,000			1				3,000	
Mecanizacion Sistema actual dosificacion	UN	5,000				2				10,000
Blower	UN	5,000			1				5,000	
Sedimentador High Rate	UN	30,000			1				30,000	
Otros	GL	20,000	1	1	0.5	0.5	20,000	20,000	10,000	10,000
TOTAL							793,375	794,375	121,906	92,002

Fuente: Unidad Minera

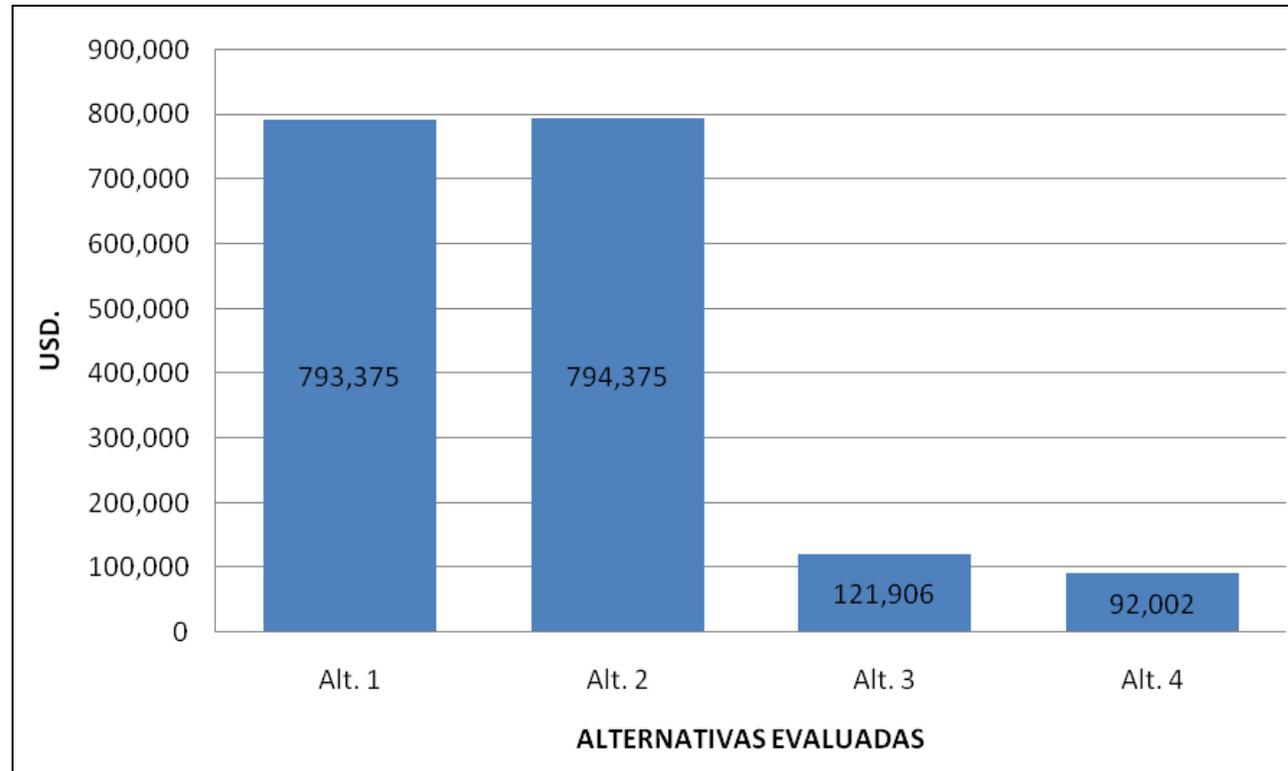


Gráfico N° 16 Comparativo de Costos de Inversión

Fuente: Unidad Minera

Cuadro N° 20 Comparativo de Costos de Operación

DESCRIPCION	PRECIO	UNIDAD	CANTIDAD/MES				COSTO ADICIONAL(USD/MES)			
			Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4
REACTIVOS										
Carbón activado	3.5	USD/Kg			19440				68040	
Hidroxido K	1.6	USD/Kg			19440				31104	
Sulfuro de Na	0.39	USD/Kg			19440				7582	
Peróxido de H	0.82	USD/Kg				300				246
Floculante	3.4	USD/Kg				100				340
ENERGÍA										
Aire comprimido	0.041	USD/Kw-h			2784				114	
Energía Eléctrica	0.041	USD/Kw-h	417600	417600			17122	17122		
Energía Eléctrica Tratamiento	0.041	USD/Kw-h			31320	48720			1284	1998
Energía Eléctrica Relavera	0.041	USD/Kw-h	20880	20880			856	856		
PERSONAL										
Operadores	28.5	USD/Día	0	0	0	0	0	0	0	0
MANTENIMIENTO										
Servicios TKs y Sist. Acond.	300	USD/Mes			1	1			300	300
Servicios Tuberías	2000	USD/Mes	0.08	0.08			167	167		
TOTAL							18144	18144	1698	2884

Fuente: Unidad Minera

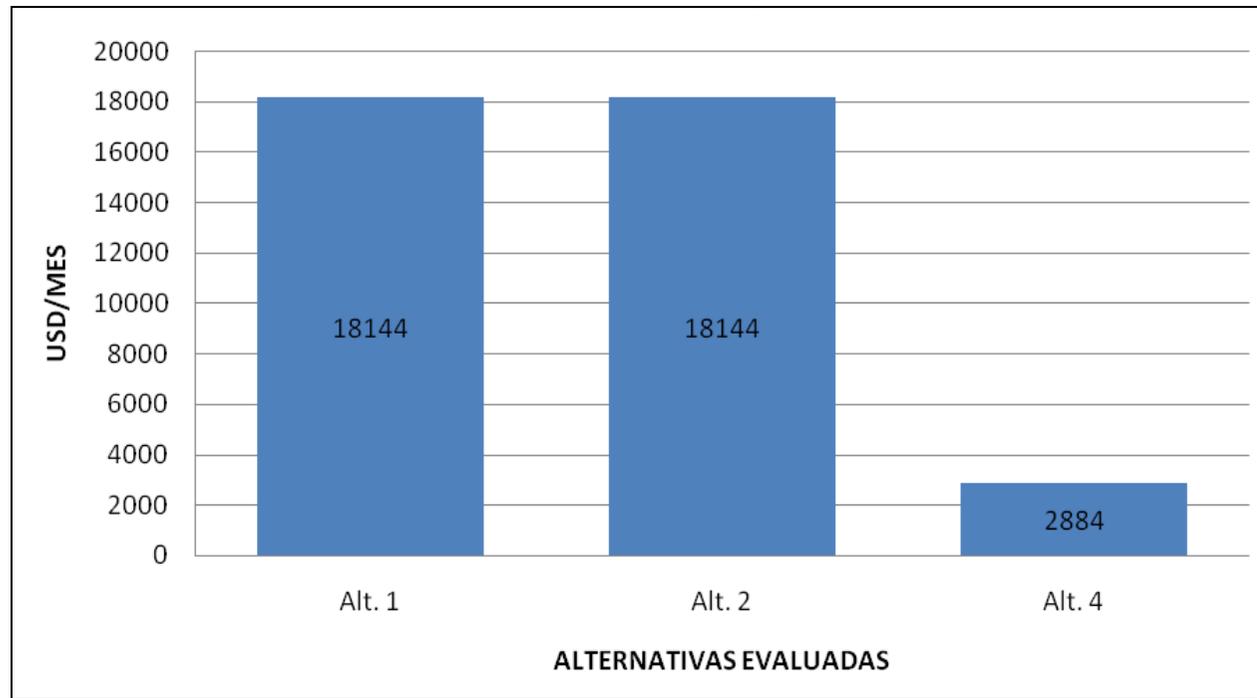


Gráfico N° 17 Comparativo de Costos de Operación

Fuente: Unidad Minera

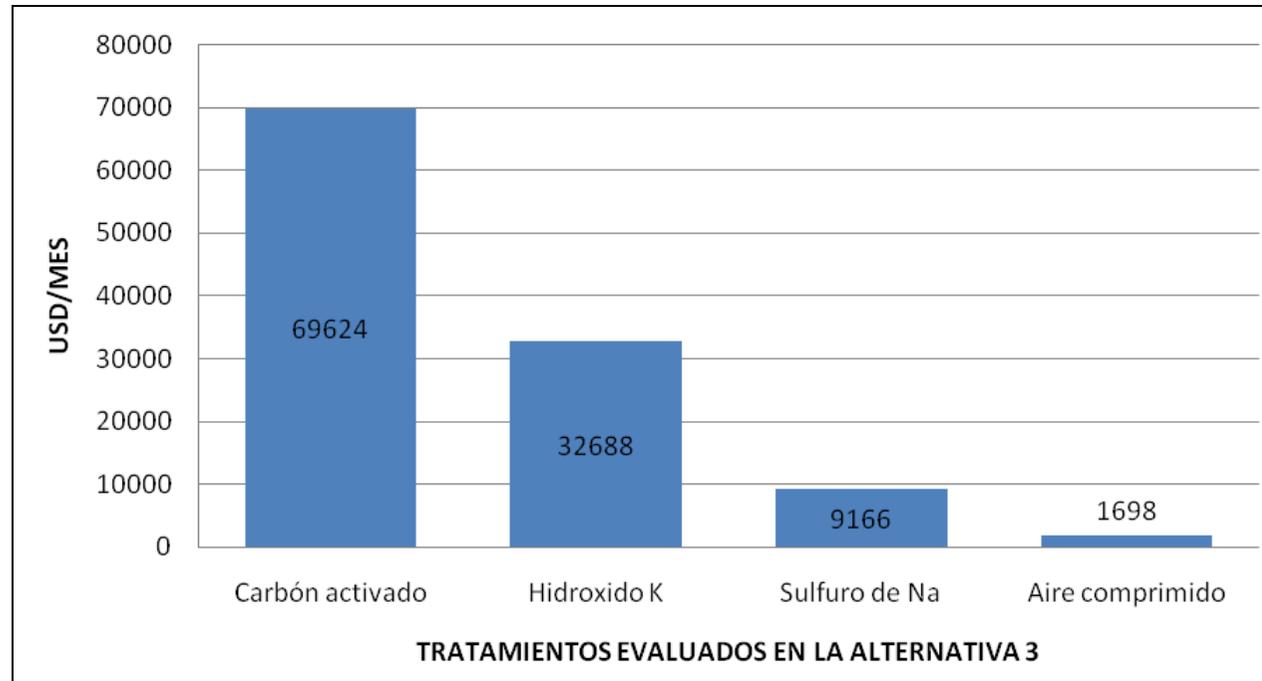


Gráfico N° 18 Costos de Operación Alternativa N° 3

Fuente: Unidad Minera

Costo de operación mensual estimado para la Alternativa N° 3 con diferentes tipos de tratamiento. El tratamiento de menor costo de operación es el tratamiento con aireación.

3.2. Análisis de los Resultados

Alternativa N° 1. Bombeo del rebose del espesador de relaves a la relavera y reutilización del espejo de agua.

Positivos:

- El agua de recirculación desde la relavera no necesitaría tratamiento para su utilización en la planta concentradora pues el depósito de relaves se comporta como un gran reactor.

Negativos:

- Genera un riesgo adicional en la relavera al aumentar la carga hidráulica.
- Necesita una bomba adicional en operación.
- Necesita una tubería adicional para el agua de rebose.
- Necesita un canal de contingencias para esta tubería adicional.
- Requiere potenciar el sistema de bombeo desde la relavera.
- Requiere sistemas de control operativos y de contingencias adicionales.
- Representa un costo de instalación considerable.
- Representa un costo de mantenimiento y operación adicionales.

Alternativa N° 2. Bombeo de la pulpa de relaves sin espesamiento a la relavera y reutilización del espejo de agua

Positivos:

- El agua de recirculación desde la relavera no necesitaría tratamiento para su utilización en la planta concentradora pues el depósito de relaves se comporta como un gran reactor.
- Disponibilidad de un gran reactor adicional como es el actual espesador de relaves como clarificador de agua de mina.

Negativos:

- Genera un riesgo adicional en la relavera al aumentar la carga hidráulica.
- Necesita una bomba adicional en operación.
- Necesita una tubería adicional para el caudal de pulpa adicional.
- Necesita un canal de contingencias para esta tubería adicional.
- Requiere potenciar el sistema de bombeo desde la relavera.
- Requiere sistemas de control operativos y de contingencias adicionales.
- Representa un costo de instalación considerable.
- Representa un costo de mantenimiento y operación adicionales.

Alternativa N° 3. Tratamiento del rebose del espesador de relaves antes de su reutilización en el proceso de concentración

Positivos:

- Menor costo de instalación que las anteriores alternativas.
- No representa riesgos adicionales en la presa de relaves.
- Riesgo de contingencia menor.
- Aplicable a otras operaciones por mayor versatilidad.

Negativos:

- Costo de mantenimiento y operación adicionales.

Alternativa N° 4. Tratamiento del actual vertimiento final (PC) antes de su reutilización en el proceso de concentración

Positivos:

- Menor costo de instalación que las anteriores alternativas.
- No representa riesgos adicionales en la presa de relaves.
- Riesgo de contingencia menor.
- Mínimo costo de mantenimiento y operación adicionales.

Negativos:

- Costo adicional para mecanizar el sistema de preparación y dosificación de reactivos actual.

En base al análisis de los resultados de cada una de las alternativas propuestas se eligió la Alternativa N° 3 para realizar una evaluación más exhaustiva en esta primera etapa del proyecto principalmente por las siguientes razones:

- En las alternativas N° 1 y 2, el riesgo en la relavera se incrementa por la carga hidráulica adicional y los costos de implementación son altos.
- La alternativa N° 4 resultó comparativamente más costosa en operación aunque menor en inversión que la alternativa N° 3, sin embargo sería evaluada si las pruebas determinaban la inviabilidad de esta última.

3.2.1. Análisis de los Resultados de la Investigación de la Alternativa N° 3

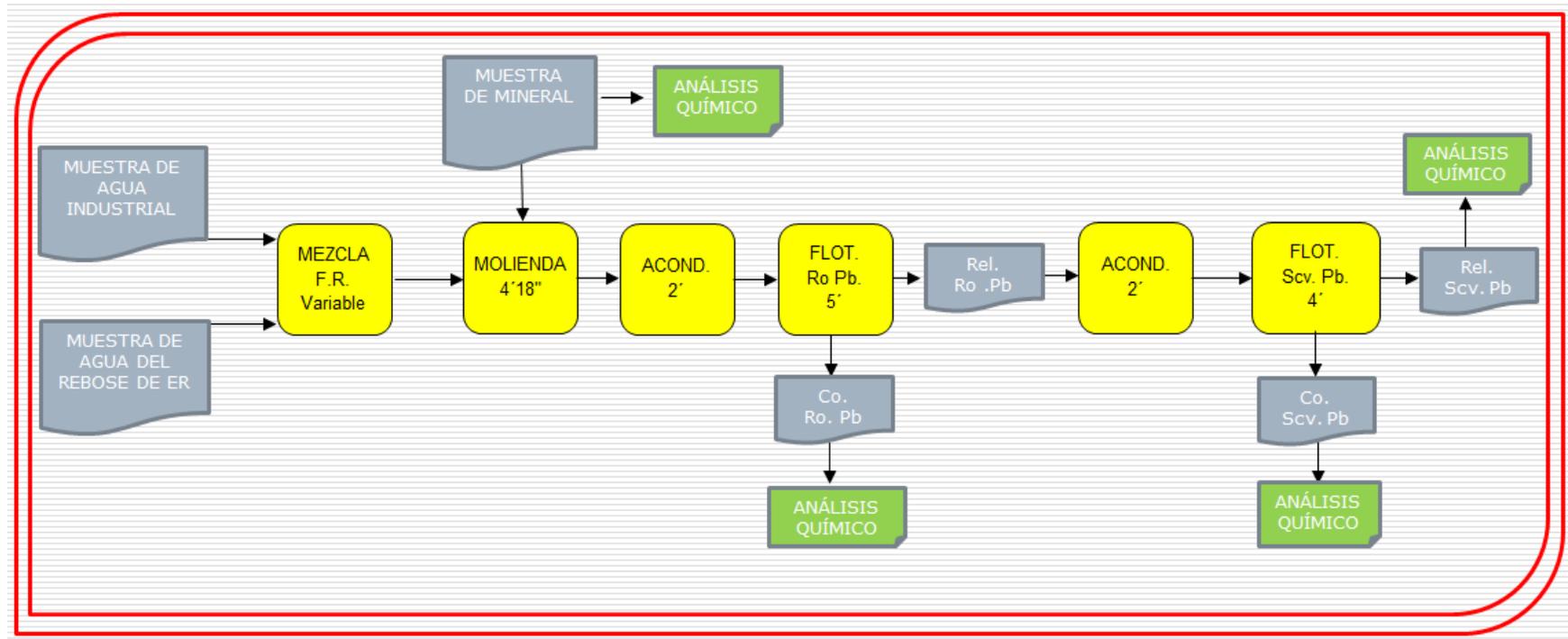


Figura N° 7 Diagrama de flujo de las pruebas de la Alternativa N° 3

Fuente: Unidad Minera

3.2.1.1. Descripción de las pruebas para los tratamientos con diferentes reactivos de la Alternativa N° 3

Objetivos:

- a) Observar la influencia del FR óptimo en el grado, la recuperación y la activación del Zn en el circuito de flotación de Pb en base a la variación del Factor Metalúrgico (FM).
- b) Observar la influencia del tipo de tratamiento previo del ER en el grado y la recuperación del concentrado y la activación del Zn en el circuito de flotación de Pb en base a la variación del Factor Metalúrgico (FM).
- c) Determinar el tipo de tratamiento óptimo del ER.

Condiciones:

- a) Estándar de Planta Concentradora
- b) Factor de Recirculación (FR) óptimo.

Tipos de Tratamiento:

1. Con Carbón Activado
2. Con Soda Potásica
3. Con Sulfuro de Sodio
4. Con Aireación y Agitación

Producto final:

Concentrado de Pb Rougher.

3.2.1.2. Resultados de las Pruebas

Se tomó como referencia el estándar de flotación de plomo.

3.2.1.2.1. Pruebas de flotación con ER y FR Variable

A continuación se detallan las pruebas realizadas con el agua de rebose del espesador de relaves (ER) sin tratamiento y a diferentes factores de recirculación (FR).

Cuadro N° 21 Pruebas de flotación con ER y FR variable

PRUEBA 1 : (100% AGUA RECIRCULADA)												
DESCRIPCIÓN	Peso	% Peso	% ENSAYES					RECUPERACION				
			% Zn	% Pb	% Cu	Ag	% Fe	% Zn	% Pb	% Cu	% Ag	% Fe
Conc. Ro I	126.44	12.94	9.35	10.73	2.53	15.50	11.38	38.66	74.10	84.61	76.22	19.53
Conc Sev	46.41	4.75	15.33	4.25	0.48	5.14	17.10	23.26	10.78	5.84	9.29	10.78
Relave Final	804.48	82.31	1.45	0.34	0.04	0.46	6.38	38.09	15.12	9.55	14.49	69.69
Cabeza Calculada	977.33	100.00	3.13	1.87	0.39	2.63	7.54	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Cabeza Ensayada			3.11	1.89	0.40	2.99	7.89					
Factor Metalurgico				Pb	Cu	Ag						
				424	553	449						

PRUEBA 2 : (75% AGUA RECIRCULADA)												
DESCRIPCIÓN	Peso	% Peso	% ENSAYES					RECUPERACION				
			% Zn	% Pb	% Cu	Ag	% Fe	% Zn	% Pb	% Cu	% Ag	% Fe
Conc. Ro I	124.66	12.90	8.70	10.38	2.38	15.27	11.88	36.75	75.22	84.43	72.74	20.74
Conc Sev	63.66	6.59	8.20	2.98	0.33	3.89	16.33	17.69	11.02	5.90	9.46	14.56
Relave Final	778.21	80.52	1.73	0.30	0.04	0.60	5.93	45.56	13.76	9.68	17.80	64.69
Cabeza Calculada	966.53	100.00	3.05	1.78	0.36	2.71	7.38	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Cabeza Ensayada			3.11	1.89	0.40	2.99	7.89					
Factor Metalurgico				Pb	Cu	Ag						
				439	553	410						

Fuente: Unidad Minera

PRUEBA 3 : (50% AGUA RECIRCULADA)

DESCRIPCIÓN	Peso	% Peso	% ENSAYES					RECUPERACION				
			% Zn	% Pb	% Cu	Ag	% Fe	% Zn	% Pb	% Cu	% Ag	% Fe
Conc. Ro I	126.22	12.67	10.60	11.78	2.70	17.52	12.70	43.44	75.58	84.21	77.20	21.23
Conc Sev	51.13	5.13	12.10	4.08	0.48	4.95	15.00	20.09	10.60	6.00	8.84	10.16
Relave Final	818.94	82.20	1.37	0.33	0.05	0.49	6.33	36.48	13.83	9.79	13.97	68.62
Cabeza Calculada	996.29	100.00	3.09	1.97	0.41	2.88	7.58	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Cabeza Ensayada			3.11	1.89	0.40	2.99	7.89					
Factor Metalurgico				Pb	Cu	Ag						
				451	560	470						

PRUEBA 4 : (25% AGUA RECIRCULADA)

DESCRIPCIÓN	Peso	% Peso	% ENSAYES					RECUPERACION				
			% Zn	% Pb	% Cu	Ag	% Fe	% Zn	% Pb	% Cu	% Ag	% Fe
Conc. Ro I	128.61	12.90	9.50	12.18	2.83	17.81	11.78	39.76	76.84	85.82	78.44	20.36
Conc Sev	42.79	4.29	10.08	4.70	0.50	5.79	18.25	14.03	9.87	5.05	8.48	10.50
Relave Final	825.49	82.81	1.72	0.33	0.05	0.46	6.23	46.21	13.29	9.13	13.09	69.15
Cabeza Calculada	996.89	100.00	3.08	2.04	0.42	2.93	7.46	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Cabeza Ensayada			3.11	1.89	0.40	2.99	7.89					
Factor Metalurgico				Pb	Cu	Ag						
				458	571	477						

Fuente: Unidad Minera

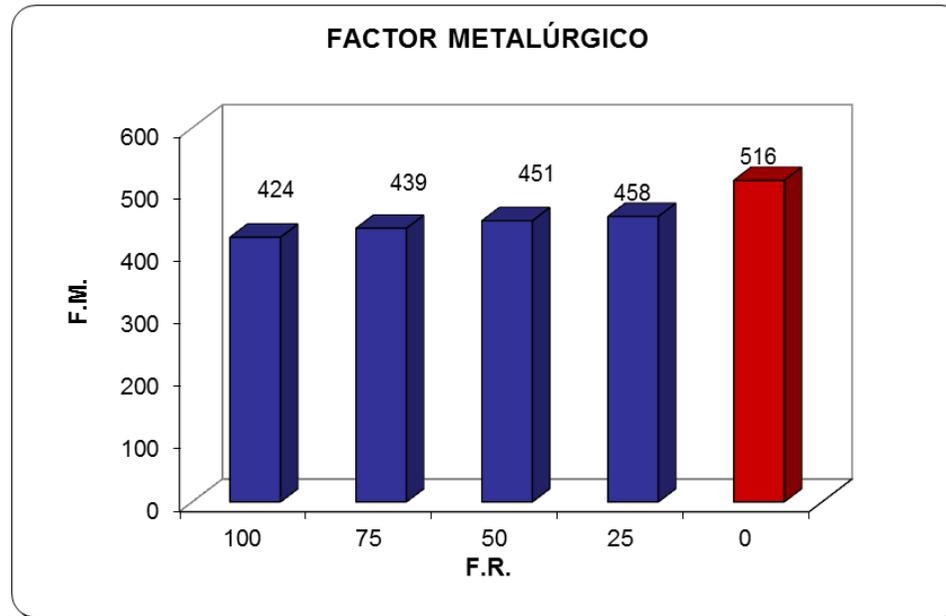


Gráfico N° 19 Pruebas de flotación con ER y FR variable

Fuente: Unidad Minera

Del gráfico se observa que el Factor Metalúrgico (FM) es inversamente proporcional con el Factor de Recirculación (FR), es decir, que a mayor proporción de agua recirculada la performance del FM disminuye.

3.2.1.2.2. Pruebas de flotación con muestras de ER de diferentes días

Para corroborar estos datos se realizaron pruebas con el ER muestreado en diferentes días, los resultados se detallan a continuación.

Cuadro N° 22 Pruebas de flotación con muestras de ER: Día 1

1 FECHA 02/11/2006

PRUEBA 1 : (100% AGUA RECIRCULADA)												
DESCRIPCIÓN	Peso	% Peso	% ENSAYES					RECUPERACION				
			% Zn	% Pb	% Cu	Ag	% Fe	% Zn	% Pb	% Cu	% Ag	% Fe
Conc. Ro I	153.59	16.31	8.62	8.50	1.87	13.29	8.25	46.26	74.58	82.67	78.35	16.64
Conc Scv	67.56	7.17	9.05	2.36	0.50	3.86	12.82	21.36	9.10	9.70	10.00	11.38
Relave Final	720.63	76.52	1.29	0.40	0.04	0.42	7.60	32.38	16.32	7.63	11.65	71.98
Cabeza Calculada	941.78	100.00	3.04	1.86	0.37	2.77	8.08	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Cabeza Ensayada			3.11	1.89	0.40	2.99	7.89					
Factor Metalurgico				Pb	Cu	Ag						
				341	419	376						

PRUEBA 2 : (50% AGUA RECIRCULADA)												
DESCRIPCIÓN	Peso	% Peso	% ENSAYES					RECUPERACION				
			% Zn	% Pb	% Cu	Ag	% Fe	% Zn	% Pb	% Cu	% Ag	% Fe
Conc. Ro I	148.37	15.07	8.15	9.91	2.31	15.82	9.70	38.16	75.71	85.12	78.04	18.58
Conc Scv	82.44	8.37	11.97	2.50	0.40	3.95	18.61	31.16	10.61	8.13	10.84	19.81
Relave Final	753.55	76.55	1.29	0.35	0.04	0.44	6.33	30.67	13.68	6.75	11.12	61.61
Cabeza Calculada	984.36	100.00	3.22	1.97	0.41	3.06	7.87	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Cabeza Ensayada			3.11	1.89	0.40	2.99	7.89					
Factor Metalurgico				Pb	Cu	Ag						
				380	481	404						

PRUEBA 3 : (0% AGUA RECIRCULADA)												
DESCRIPCIÓN	Peso	% Peso	% ENSAYES					RECUPERACION				
			% Zn	% Pb	% Cu	Ag	% Fe	% Zn	% Pb	% Cu	% Ag	% Fe
Conc. Ro I	136.95	13.78	8.96	10.86	2.69	17.07	10.12	39.15	76.85	86.02	77.67	17.20
Conc Scv	73.21	7.37	11.56	2.73	0.40	4.26	19.07	27.02	10.33	6.91	10.36	17.33
Relave Final	783.32	78.85	1.35	0.32	0.04	0.46	6.74	33.83	12.82	7.08	11.96	65.47
Cabeza Calculada	993.48	100.00	3.15	1.95	0.43	3.03	8.11	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Cabeza Ensayada			3.11	1.89	0.40	2.99	7.89					
Factor Metalurgico				Pb	Cu	Ag						
				428	537	438						

Cuadro N° 23 Pruebas de flotación con muestras de ER: Día 2

2 FECHA 03/11/2006

PRUEBA 1 : (100% AGUA RECIRCULADA)

DESCRIPCIÓN	Peso	% Peso	% ENSAYES					RECUPERACION				
			% Zn	% Pb	% Cu	Ag	% Fe	% Zn	% Pb	% Cu	% Ag	% Fe
Conc. Ro I	142.08	14.91	10.06	9.28	2.10	14.89	8.44	49.49	76.92	84.85	80.18	15.89
Conc Scv	63.76	6.69	9.44	2.23	0.47	3.79	11.43	20.84	8.28	8.53	9.17	9.66
Relave Final	746.96	78.40	1.15	0.34	0.03	0.38	7.52	29.68	14.80	6.62	10.65	74.44
Cabeza Calculada	952.80	100.00	3.03	1.80	0.37	2.77	7.91	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Cabeza Ensayada			3.11	1.89	0.40	2.99	7.89					
Factor Metalurgico				Pb	Cu	Ag						
				397	483	431						

PRUEBA 2 : (50% AGUA RECIRCULADA)

DESCRIPCIÓN	Peso	% Peso	% ENSAYES					RECUPERACION				
			% Zn	% Pb	% Cu	Ag	% Fe	% Zn	% Pb	% Cu	% Ag	% Fe
Conc. Ro I	138.40	14.15	8.59	11.20	2.65	17.30	9.08	44.69	79.86	87.78	83.13	17.75
Conc Scv	41.59	4.25	10.44	2.41	0.40	3.67	13.10	16.32	5.17	3.93	5.29	7.70
Relave Final	797.86	81.59	1.30	0.36	0.04	0.42	6.61	38.99	14.97	8.30	11.58	74.55
Cabeza Calculada	977.85	100.00	2.72	1.98	0.43	2.95	7.23	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Cabeza Ensayada			3.11	1.89	0.40	2.99	7.89					
Factor Metalurgico				Pb	Cu	Ag						
				451	544	488						

PRUEBA 3 : (0% AGUA RECIRCULADA)

DESCRIPCIÓN	Peso	% Peso	% ENSAYES					RECUPERACION				
			% Zn	% Pb	% Cu	Ag	% Fe	% Zn	% Pb	% Cu	% Ag	% Fe
Conc. Ro I	131.83	13.95	8.81	11.41	2.90	18.44	9.59	41.17	80.94	88.76	81.90	16.87
Conc Scv	36.60	3.87	9.99	3.02	0.49	4.85	15.03	12.96	5.95	4.15	5.99	7.34
Relave Final	776.28	82.17	1.67	0.31	0.04	0.46	7.32	45.87	13.11	7.09	12.11	75.79
Cabeza Calculada	944.71	100.00	2.99	1.97	0.46	3.14	7.93	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Cabeza Ensayada			3.11	1.89	0.40	2.99	7.89					
Factor Metalurgico				Pb	Cu	Ag						
				469	565	481						

Cuadro N° 24 Pruebas de flotación con muestras de ER: Día 3

3 FECHA 04/11/2006

PRUEBA 1 : (100% AGUA RECIRCULADA)												
DESCRIPCIÓN	Peso	% Peso	% ENSAYES					RECUPERACION				
			% Zn	% Pb	% Cu	Ag	% Fe	% Zn	% Pb	% Cu	% Ag	% Fe
Conc. Ro I	136.76	14.00	10.84	9.07	2.11	14.15	8.05	52.43	75.58	81.58	77.16	14.86
Conc Scv	75.16	7.69	9.07	2.27	0.54	3.92	11.48	24.09	10.38	11.55	11.76	11.65
Relave Final	764.93	78.31	0.87	0.30	0.03	0.36	7.12	23.48	14.04	6.87	11.08	73.50
Cabeza Calculada	976.85	100.00	2.89	1.68	0.36	2.57	7.58	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Cabeza Ensayada			3.11	1.89	0.40	2.99	7.89					
Factor Metalurgico				Pb	Cu	Ag						
				408	475	425						

PRUEBA 2 : (50% AGUA RECIRCULADA)												
DESCRIPCIÓN	Peso	% Peso	% ENSAYES					RECUPERACION				
			% Zn	% Pb	% Cu	Ag	% Fe	% Zn	% Pb	% Cu	% Ag	% Fe
Conc. Ro I	133.69	13.65	7.79	10.28	2.45	15.96	9.48	37.11	77.97	85.66	79.24	17.73
Conc Scv	69.68	7.11	10.27	2.32	0.38	3.76	16.96	25.50	9.16	6.90	9.73	16.54
Relave Final	776.07	79.24	1.35	0.29	0.04	0.38	6.05	37.39	12.87	7.44	11.03	65.73
Cabeza Calculada	979.44	100.00	2.87	1.80	0.39	2.75	7.30	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Cabeza Ensayada			3.11	1.89	0.40	2.99	7.89					
Factor Metalurgico				Pb	Cu	Ag						
				445	538	460						

PRUEBA 3 : (0% AGUA RECIRCULADA)												
DESCRIPCIÓN	Peso	% Peso	% ENSAYES					RECUPERACION				
			% Zn	% Pb	% Cu	Ag	% Fe	% Zn	% Pb	% Cu	% Ag	% Fe
Conc. Ro I	125.96	12.40	7.93	12.41	2.65	17.38	9.85	34.51	79.61	86.12	80.10	16.50
Conc Scv	75.46	7.43	9.51	2.31	0.35	3.42	17.26	24.78	8.89	6.82	9.45	17.33
Relave Final	814.74	80.18	1.45	0.28	0.03	0.35	6.10	40.71	11.50	7.06	10.45	66.17
Cabeza Calculada	1016.16	100.00	2.85	1.93	0.38	2.69	7.40	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Cabeza Ensayada			3.11	1.89	0.40	2.99	7.89					
Factor Metalurgico				Pb	Cu	Ag						
				511	598	518						

Fuente: Unidad Minera

Cuadro N° 25 Pruebas de flotación con muestras de ER: Día 4

4 FECHA 05/11/2006

PRUEBA 1 : (100% AGUA RECIRCULADA)

DESCRIPCIÓN	Peso	% Peso	% ENSAYES					RECUPERACION				
			% Zn	% Pb	% Cu	Ag	% Fe	% Zn	% Pb	% Cu	% Ag	% Fe
Conc. Ro I	127.84	12.63	8.48	10.97	2.65	16.33	11.10	34.68	76.30	85.83	78.25	18.45
Conc Scv	95.62	9.45	10.87	2.15	0.32	3.02	15.89	33.27	11.21	7.81	10.83	19.76
Relave Final	788.35	77.91	1.27	0.29	0.03	0.37	6.03	32.05	12.49	6.37	10.92	61.80
Cabeza Calculada	1011.81	100.00	3.09	1.82	0.39	2.64	7.60	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Cabeza Ensayada			3.11	1.89	0.40	2.99	7.89					
Factor Metalurgico				Pb	Cu	Ag						
				461	583	485						

PRUEBA 2 : (50% AGUA RECIRCULADA)

DESCRIPCIÓN	Peso	% Peso	% ENSAYES					RECUPERACION				
			% Zn	% Pb	% Cu	Ag	% Fe	% Zn	% Pb	% Cu	% Ag	% Fe
Conc. Ro I	124.55	12.52	8.03	11.16	2.54	15.82	10.92	34.79	78.07	85.64	77.77	18.26
Conc Scv	84.48	8.49	9.81	2.18	0.33	3.20	17.50	28.83	10.33	7.51	10.67	19.84
Relave Final	785.49	78.98	1.33	0.26	0.03	0.37	5.87	36.39	11.60	6.85	11.56	61.90
Cabeza Calculada	994.52	100.00	2.89	1.79	0.37	2.55	7.49	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Cabeza Ensayada			3.11	1.89	0.40	2.99	7.89					
Factor Metalurgico				Pb	Cu	Ag						
				487	586	483						

PRUEBA 3 : (0% AGUA RECIRCULADA)

DESCRIPCIÓN	Peso	% Peso	% ENSAYES					RECUPERACION				
			% Zn	% Pb	% Cu	Ag	% Fe	% Zn	% Pb	% Cu	% Ag	% Fe
Conc. Ro I	117.31	11.90	7.72	12.29	2.57	15.88	10.80	34.73	80.44	86.03	78.77	18.40
Conc Scv	70.42	7.15	8.17	2.15	0.31	3.20	16.66	22.08	8.46	6.26	9.52	17.03
Relave Final	797.77	80.95	1.41	0.25	0.03	0.35	5.57	43.19	11.10	7.71	11.71	64.56
Cabeza Calculada	985.50	100.00	2.64	1.82	0.36	2.40	6.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Cabeza Ensayada			3.11	1.89	0.40	2.99	7.89					
Factor Metalurgico				Pb	Cu	Ag						
				544	622	521						

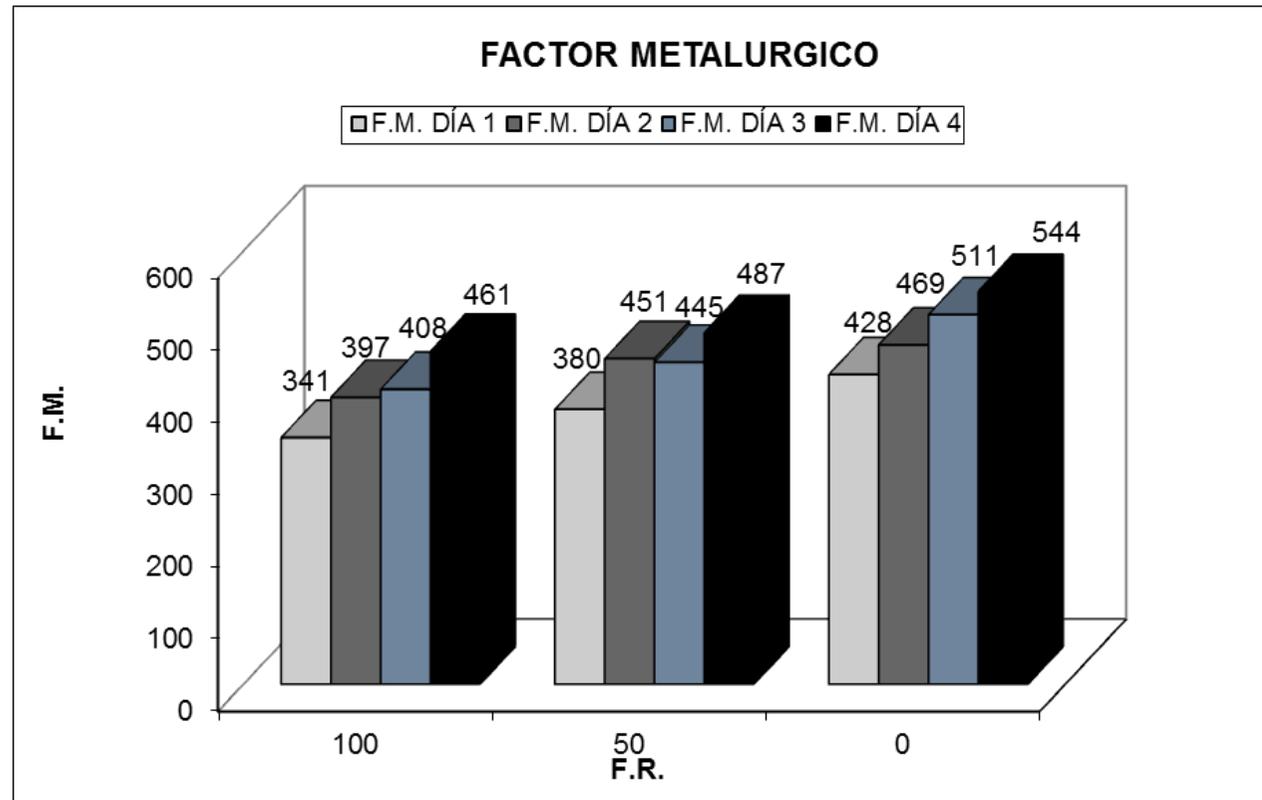


Gráfico N° 20 Pruebas de flotación con muestras de ER de diferentes días

Fuente: Unidad Minera

Con las pruebas anteriores se confirma una vez más que no es posible realizar la recirculación del ER sin un tratamiento previo, como en el caso del vertimiento final (PC).

3.2.1.2.3. Pruebas de flotación con ER tratada

Se realizaron pruebas de flotación con agua de ER con los siguientes tratamientos:

Cuadro N° 26 Tratamiento con Carbón Activado

1		CARBON ACTIVADO										
PRUEBA 1 :												
DESCRIPCIÓN	Peso	% Peso	% ENSAYES					RECUPERACION				
			% Zn	% Pb	% Cu	Ag	% Fe	% Zn	% Pb	% Cu	% Ag	% Fe
Conc. Ro I	137.52	14.20	8.39	11.89	2.20	13.95	8.99	45.74	84.58	90.39	83.44	17.53
Conc Scv	40.18	4.15	8.72	2.42	0.36	3.09	16.40	13.89	5.03	4.32	5.39	9.34
Relave Final	790.77	81.65	1.29	0.25	0.02	0.32	6.52	40.37	10.39	5.29	11.17	73.13
Cabeza Calculada	968.47	100.00	2.60	2.00	0.35	2.37	7.28	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Cabeza Ensayada			3.11	1.89	0.40	2.99	7.89					
Factor Metalurgico				Pb	Cu	Ag						
				504	575	490						
PRUEBA 2 : REPLICA												
DESCRIPCIÓN	Peso	% Peso	% ENSAYES					RECUPERACION				
			% Zn	% Pb	% Cu	Ag	% Fe	% Zn	% Pb	% Cu	% Ag	% Fe
Conc. Ro I	131.08	13.29	8.35	12.22	2.80	18.00	9.96	41.72	83.62	90.41	84.31	18.39
Conc Scv	36.96	3.75	8.98	2.71	0.35	3.70	15.17	12.65	5.23	3.19	4.88	7.90
Relave Final	818.13	82.96	1.46	0.26	0.03	0.37	6.40	45.63	11.15	6.41	10.81	73.71
Cabeza Calculada	986.17	100.00	2.66	1.94	0.41	2.84	7.20	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Cabeza Ensayada			3.11	1.89	0.40	2.99	7.89					
Factor Metalurgico				Pb	Cu	Ag						
				526	615	535						

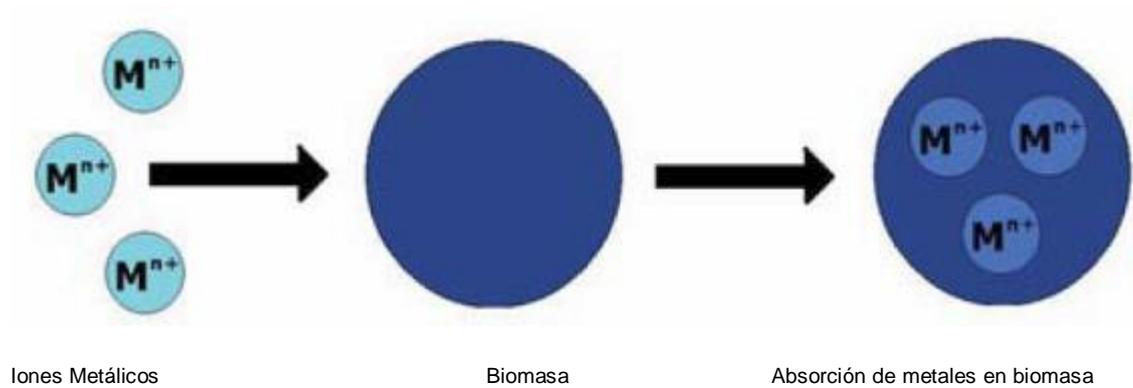
Fuente: Unidad Minera

Los resultados usando el carbón activado para tratar el ER en un 100% son similares o iguales al estándar, para esta caso se usó 3 gr. de carbón en 6 litros de agua (0.5 g/l).

La adsorción es un proceso de separación y concentración de uno o más componentes de un sistema sobre una superficie sólida o líquida. Los distintos sistemas heterogéneos en los que puede tener lugar la adsorción son: sólido-líquido, sólido-gas y líquido-gas. Como en otros procesos de este tipo, los componentes se distribuyen selectivamente entre ambas fases.

Los adsorbentes más empleados son el gel de sílice, la alúmina y, sobre todo, el carbón activo y determinadas resinas sintéticas. El adsorbente más ampliamente utilizado para el tratamiento de aguas residuales es el carbón activo. Los primeros estudios sobre la aplicación de este adsorbente al tratamiento de aguas residuales se remontan a 1935; en la década de los años 50 ya se utilizaba para el tratamiento de efluentes industriales procedentes de la fabricación de pesticidas y, hacia 1960, comienza a considerarse de interés su posible aplicación al tratamiento de aguas residuales urbanas.

ABSORCIÓN



ADSORCIÓN

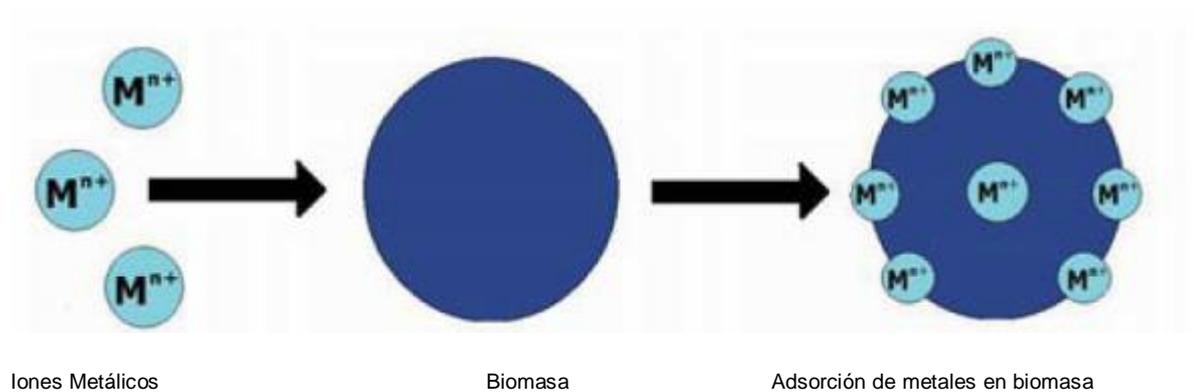


Figura N° 8 Absorción y Adsorción

Fuente: Remoción de Metales Pesados con carbón Activado como soporte de Biomasa. Erick Daniel Reyes Toriz, Felipe de Jesús Cerino Córdova, Martha Alicia Suárez Herrera. Ingeniería Química. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL). Ingenierías, Abril-Junio 2006, Vol IX, N° 31.

Entre los aspectos positivos de la adsorción como método de tratamiento de aguas residuales cabe señalar: su capacidad para trabajar eficazmente a concentraciones bajas de contaminante, su flexibilidad frente a las variaciones de caudal y concentración, sus moderadas necesidades de espacio, la facilidad de automatización, la posibilidad de regenerar el adsorbente y la posibilidad de recuperar sustancias retenidas cuando ello resulte de interés económico.

Entre los aspectos negativos hay que señalar que el coste de operación suele ser comparativamente alto y, por esta razón, su empleo queda restringido, en general, a los casos de necesidad o a otros en que convenga reutilizar las aguas tratadas o, como se ha indicado, recuperar algún producto de las mismas.

Los factores a considerar en un proceso de adsorción son los siguientes:

1. El sistema adsorbente-adsorbato, en lo relativo a:

- a) *Superficie específica y porosidad del sólido.*
- b) *Tamaño de partícula.*
- c) *Tamaño, estructura y distribución de los poros.*

Estas características son muy importantes en las etapas de transferencia de masa por adsorción:

- a) *Difusión del soluto desde el seno de la fase fluida hasta superficie externa del adsorbente.*
- b) *Difusión de las moléculas de adsorbato hasta el interior de los poros para alcanzar la superficie libre de los mismos.*
- c) *Adsorción de las moléculas de soluto sobre la superficie del sólido, por fuerzas de tipo físico o químico.*

En general, la etapa de adsorción es muy rápida en relación con los procesos de difusión. En sistemas hidrodinámicos bien agitados (elevada velocidad relativa entre fases) la difusión externa es muy rápida y resulta cinéticamente controlante el proceso de difusión interna, siendo determinante al respecto, el tamaño de las partículas del adsorbente y el diámetro de poro del mismo.

- a) *Afinidad respecto del adsorbato, que depende de los grupos funcionales existentes en la superficie del adsorbente.*
- b) *Presión parcial o concentración del adsorbato en la fase fluida.*

La capacidad final del adsorbente para un determinado soluto puede utilizarse o no plenamente en las condiciones del proceso real. En el límite, se establece un equilibrio entre la concentración del adsorbato en disolución y la masa del mismo adsorbida por unidad de masa (o de superficie) del adsorbente. Se puede decir que el soluto se adsorberá más fácilmente cuando la afinidad de aquél por la superficie sea superior a su afinidad por el disolvente. Por tanto, la energía de unión entre la superficie y la sustancia considerada depende de la naturaleza de los solutos que han de adsorberse.

Por ello, hay que conocer los aspectos cinéticos y termodinámicos del proceso, con los mecanismos y las resistencias que los regulan, pues éstas

determinan el tiempo de contacto necesario y, así, el tamaño de las instalaciones.

2.- Las condiciones del medio

- a) *El pH que afecta al grado de ionización de los compuestos ácidos o básicos. Es frecuente que un pH ácido facilite la adsorción sobre carbón activo.*
- b) *La temperatura, que influye sobre la velocidad del proceso y el estado final de equilibrio.*

3.- Los factores económicos.

Desde el punto de vista industrial, las consideraciones económicas del proceso han de tener en cuenta tanto la inversión necesaria, incluida la planta de regeneración del adsorbente si la hubiese, como los costes de operación. Cabe destacar el precio del adsorbente, la capacidad del mismo que determina la dosis necesaria y las posibilidades técnico-económicas de su regeneración.

Procedencia del Carbón

El carbón activo se fabrica a partir de diversas sustancias carbonosas de origen animal, vegetal o mineral. Frecuentemente, se emplea antracita, carbones grasos o bituminosos, coque de petróleo, turba, madera, cáscara

de nuez, coco o almendra, huesos, así como otros productos residuales de naturaleza lignocelulósica. La materia de partida es amorfa y la estructura porosa se produce durante la activación.

Las propiedades del carbón activo final dependen tanto de la materia prima como del método de activación empleado. Por ejemplo, los carbones obtenidos a partir de cáscara de coco tienen mayor densidad y presentan distribución de tamaño de poro más estrecha, lo que hace que estos carbones sean muy adecuados para la adsorción de moléculas pequeñas, como en las aplicaciones de purificación de gases.

Activación

En la preparación se aplican procesos térmicos que implican la deshidratación del material y la calefacción en ausencia de aire (carbonización), seguidos por el tratamiento oxidante (activación) a alta temperatura (200-1000 °C), que desarrolla una estructura porosa en el carbón y crea una gran superficie interna.

La activación consiste, esencialmente, en una oxidación selectiva de los hidrocarburos residuales en el sólido, que se realiza con anhídrido carbónico, vapor de agua, aire u otro agente oxidante.

También se puede emplear un tratamiento químico húmedo a más bajas temperaturas mediante agentes tales como el ácido fosfórico, el hidróxido potásico o el cloruro de zinc.

El carbón activo se puede considerar constituido por un aglomerado rígido de micro cristales, cada uno de los cuales está formado por una pila de planos grafiticos. Cada átomo dentro de un determinado plano está unido a cuatro átomos de carbono adyacentes. Así, los átomos de carbono en los bordes de los planos presentan una alta actividad disponible. En estos "sitios", que consisten en una serie compleja de planos de base y bordes de micro cristalitos, tiene lugar la adsorción. A medida que los sitios se van llenando, se va alcanzando el equilibrio de adsorción y la calidad del efluente va disminuyendo. La química de la superficie de un carbón influye sobre la velocidad y la capacidad de la adsorción debido a la interacción entre superficie y adsorbatos. Los grupos funcionales sobre esta superficie tienen gran influencia sobre las propiedades adsorbentes respecto de los posibles adsorbatos. Estos grupos pueden ser carboxílicos, fenólicos, hidroxilo, carbonilo o peróxidos, entre otros.

El carbón activo se utiliza en forma de gránulos y de pastillas, o en polvo. El diámetro de las partículas del carbón en polvo es generalmente inferior a 0,1 mm, siendo normales carbones en polvo con partículas comprendidas entre 10 y 50 micras, mientras que en los carbones granulares comerciales el tamaño medio de partícula varía usualmente entre 0,2 y 1,7 mm.

Utilización de los carbones activos

En tratamiento de aguas industriales especialmente cuando se obtienen partiendo de aguas superficiales. El carbón activo retiene los compuestos orgánicos disueltos no eliminados por la degradación biológica natural, micro contaminantes y ciertos metales pesados a nivel de trazas.

En el tratamiento terciario de aguas residuales o industriales. El carbón retiene los compuestos orgánicos disueltos, resistentes al tratamiento biológico, con lo que se elimina una cierta proporción de la DQO residual.

En el tratamiento de aguas residuales industriales, cuando el efluente no es biodegradable o contiene elementos tóxicos orgánicos que impiden la puesta en práctica de técnicas biológicas.

Debe preverse el empleo de carbón activo cuando se deseen eliminar contaminantes orgánicos disueltos, tales como:

- a) Detergentes.
- b) Colorantes de síntesis solubles.
- c) Disolventes clorados.
- d) Fenoles y derivados hidroxilados.
- e) Derivados aromáticos, sustituidos o no, especialmente derivados clorados o nitrados.
- f) Sabores y olores.

Cuadro N° 27 Tratamiento con Sulfuro de Sodio

2		SULFURO DE SODIO										
PRUEBA 1 :												
DESCRIPCIÓN	Peso	% Peso	% ENSAYES					RECUPERACION				
			% Zn	% Pb	% Cu	Ag	% Fe	% Zn	% Pb	% Cu	% Ag	% Fe
Conc. Ro I	146.12	14.84	4.26	9.39	1.92	12.96	14.83	23.47	74.00	73.93	72.41	29.74
Conc Scv	61.60	6.26	5.21	3.94	0.61	5.30	14.37	12.10	13.09	9.90	12.50	12.15
Relave Final	776.89	78.90	2.20	0.31	0.08	0.51	5.45	64.42	12.91	16.17	15.09	58.11
Cabeza Calculada	984.61	100.00	2.69	1.88	0.39	2.66	7.40	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Cabeza Ensayada			3.11	1.89	0.40	2.99	7.89					
Factor Metalurgico				Pb	Cu	Ag						
				369	368	353						
PRUEBA 2 : REPLICA												
DESCRIPCIÓN	Peso	% Peso	% ENSAYES					RECUPERACION				
			% Zn	% Pb	% Cu	Ag	% Fe	% Zn	% Pb	% Cu	% Ag	% Fe
Conc. Ro I	151.82	15.34	4.91	8.91	2.07	12.86	11.44	26.61	74.24	76.84	70.25	22.95
Conc Scv	59.66	6.03	4.87	3.80	0.56	6.40	12.50	10.37	12.44	8.17	13.73	9.85
Relave Final	777.95	78.63	2.27	0.31	0.08	0.57	6.54	63.02	13.32	14.99	16.02	67.20
Cabeza Calculada	989.43	100.00	2.83	1.84	0.41	2.81	7.65	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Cabeza Ensayada			3.11	1.89	0.40	2.99	7.89					
Factor Metalurgico				Pb	Cu	Ag						
				359	385	322						

Fuente: Unidad Minera

La precipitación de sulfuros actúa bajo los mismos principios que la precipitación de hidróxidos. El proceso de precipitación convierte los metales disueltos en sulfuros relativamente insolubles, mediante la adición de agentes precipitantes, como:

- a) *Sulfuro de Sodio (Na_2S).*
- b) *Hidrosulfuro de Sodio (NaHS).*
- c) *Sulfuro Ferroso (FeS).*
- d) *Sulfuro de Calcio (CaS).*

Esta tecnología es una alternativa efectiva a la precipitación como hidróxidos. En un amplio rango de pH, los sulfuros solubles (S^{2-} , HS^-) son muy reactivos con iones de metales pesados. La precipitación de sulfuros se emplea para remover plomo, cobre, cromo (+6), plata, cadmio, zinc, mercurio, níquel, talio, antimonio y vanadio a partir de aguas residuales (EPA, 1987).

La reacción de precipitación es generalmente inducida bajo condiciones cercanas a neutro (pH 7.0 a 7.5). En forma similar a la precipitación de hidróxidos, los precipitados de sulfuros metálicos son removidos físicamente de la solución (mediante coagulación, floculación y clarificación o filtración), saliendo un lodo de sulfuros metálicos.

Las solubilidades relativas de varios sulfuros varían en función del pH. Un incremento en la concentración de ión sulfuro da lugar a la precipitación de más metales. Los sulfuros precipitan, teóricamente, en un orden preferencial, de menor K_{sp} a mayor K_{sp} . Por ejemplo:

Metales que precipitan fácilmente como sulfuros

a) Cobre ($K_{sp} \text{CuS} = 1.2 \times 10^{-37}$)

b) Plomo ($K_{sp} \text{PbS} = 7.0 \times 10^{-29}$)

Metales de precipitación difícil como sulfuros

a) Manganeso ($K_{sp} \text{MnS} = 7.0 \times 10^{-16}$)

b) Hierro (+2) ($K_{sp} \text{FeS} = 4.0 \times 10^{-19}$)

La reacción siguiente muestra cómo el zinc disuelto precipita usando sulfuro de sodio (Na_2S). El sulfuro de zinc (ZnS) es el precipitado sólido que se forma en esta reacción.



El control del proceso se realiza mediante electrodos de iones selectivos. Para separar los sulfuros metálicos del efluente se usa espesadores y/o clarificadores. La etapa final típicamente consiste en oxidar el exceso de iones sulfuro mediante aireación o adición de peróxido de hidrógeno.

Existen dos principales procesos de precipitación: precipitación como sulfuro soluble (PSS) y precipitación con sulfuro insoluble (PSI o Sulfex), siendo la diferencia la forma en que se introduce el ion sulfuro en el proceso de tratamiento. El primero utiliza sulfuros solubles, como el sulfuro de sodio (Na_2S) o hidrosulfuro de sodio (NaHS), mientras que el PSI usa sulfuro ferroso (FeS), que es sólo ligeramente soluble en agua. Alternativamente, también puede usarse sulfuro de calcio (CaS).

La precipitación de iones metálicos que se encuentran en los efluentes minero – metalúrgicos comúnmente se realiza mediante la elevación de potencial de hidrogeno (pH) con la formación del hidróxido del metal respectivo; pero también se conoce el uso de sulfuros alcalinos, los que originan diversos sulfuros metálicos que generalmente son muy insolubles.

Existen diversos reactivos que pueden aportar el anión precipitante en solución, entre los más usados se encuentra el sulfuro de hidrógeno, los sulfuros alcalinos, el sulfuro amónico y el polisulfuro de amonio; la diferencia principal entre los mencionados es su comportamiento ácido – base.

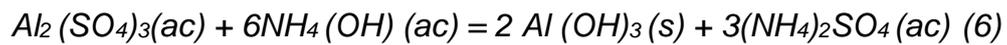
Como se dijo anteriormente, la mayoría de los sulfuros tienen poca solubilidad y ello se muestra a continuación bajo la tendencia de la solubilidad de los sulfuros de metales respecto a el potencial de hidrogeno.

Debe tenerse en cuenta que existen diversos factores que modifican la precipitación de los sulfuros, entre ellos tenemos:

Los sulfuros normalmente no precipitan a partir del catión libre o hidratado sino a partir de complejos formados con los iones sulfato, nitrato, cloruro, etc. Los complejos modifican apreciablemente la precipitación, a pesar de no ser muy estables, esta modificación depende del anión presente en la disolución.

Con frecuencia previa a la precipitación al ión sulfuro sencillo MeS , se da la formación de una sal doble como son los sulfuro-cloruros MeCl_2S y sulfuros dobles.

La baja solubilidad de los sulfuros ocasiona casi siempre una alta sobresaturación que conduce a la formación de partículas coloidales que no alcanzan a sedimentar y que son difíciles de filtrar. Las reacciones de precipitación que deben ocurrir son las siguientes:



Cuadro N° 28 Tratamiento con Hidróxido de Potasio

3		HIDROXIDO DE POTASIO										
PRUEBA 1 :												
DESCRIPCIÓN	Peso	% Peso	% ENSAYES					RECUPERACION				
			% Zn	% Pb	% Cu	Ag	% Fe	% Zn	% Pb	% Cu	% Ag	% Fe
Conc. Ro I	147.35	15.31	7.23	10.04	2.05	12.92	8.56	41.07	83.38	90.96	84.18	17.56
Conc Scv	62.92	6.54	3.91	1.76	0.20	2.15	14.12	9.48	6.24	3.79	5.99	12.37
Relave Final	751.92	78.15	1.71	0.25	0.02	0.30	6.69	49.45	10.38	5.25	9.83	70.07
Cabeza Calculada	962.19	100.00	2.70	1.84	0.35	2.35	7.47	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Cabeza Ensayada			3.11	1.89	0.40	2.99	7.89					
Factor Metalurgico				Pb	Cu	Ag						
				454	540	463						
PRUEBA 2 : REPLICA												
DESCRIPCIÓN	Peso	% Peso	% ENSAYES					RECUPERACION				
			% Zn	% Pb	% Cu	Ag	% Fe	% Zn	% Pb	% Cu	% Ag	% Fe
Conc. Ro I	154.59	15.55	7.58	10.12	2.38	14.60	8.33	40.95	82.56	85.18	77.78	17.79
Conc Scv	67.87	6.83	3.88	1.88	0.29	4.02	9.66	9.20	6.73	4.56	9.40	9.06
Relave Final	771.40	77.62	1.85	0.26	0.06	0.48	6.86	49.85	10.71	10.27	12.82	73.15
Cabeza Calculada	993.86	100.00	2.88	1.91	0.43	2.92	7.28	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Cabeza Ensayada			3.11	1.89	0.40	2.99	7.89					
Factor Metalurgico				Pb	Cu	Ag						
				438	466	389						

Fuente: Unidad Minera

Se observa que el FM es similar al estándar por lo que sería una buena alternativa para el tratamiento de ER antes de su reutilización en el proceso de concentración.

La Precipitación Química es un proceso por el cual una sustancia soluble se convierte en insoluble ya sea por una reacción química o por cambios en la composición del solvente para disminuir la solubilidad de las sustancias en él. Los sólidos precipitados pueden separarse luego por sedimentación y/o filtración.

La precipitación es aplicable al tratamiento de los residuos peligrosos acuosos que contengan constituyentes tóxicos que puedan convertirse en insolubles. Esto comprende residuos que contienen arsénico, bario, cadmio, cromo, cobre, mercurio, plomo, níquel, selenio, plata, talio y zinc.

En el proceso de precipitación química se adiciona un precipitante químico al metal contenido en el residuo acuoso. Los metales disueltos se convierten en insolubles por una reacción química entre los compuestos metálicos solubles y el precipitante. Los sólidos suspendidos resultantes se separan por sedimentación. Para mejorar la remoción de los sólidos suspendidos se puede realizar una floculación con o sin un coagulante químico.

La elección del reactivo es la primera consideración en la precipitación de los metales pesados, la segunda consideración es la solubilidad, ya que la precipitación depende del producto de solubilidad del metal que va a separarse. Debido a que la solubilidad se afecta por la temperatura, también es un factor importante en este tipo de reacciones.

Para esta tecnología de tratamiento se debe considerar las siguientes reglas de solubilidad de los compuestos inorgánicos comunes en agua:

- a) Las sales de sodio, potasio y amonio son solubles. Los nitratos, nitritos, cloratos y acetatos son solubles; el nitrito de plata es relativamente poco soluble.
- b) Los óxidos e hidróxidos metálicos son insolubles, excepto los de metales alcalinos (sodio, potasio, y también amonio) y el de bario; los óxidos e hidróxidos de estroncio y calcio son relativamente poco solubles.
- c) Los sulfuros son insolubles, excepto los alcalinos, alcalinotérreos (calcio, estroncio, bario) y magnésicos.
- d) Los cloruros, bromuros y yoduros son solubles, excepto los de plata, mercurio (I) y plomo; el yoduro de mercurio (II) es también insoluble.
- e) Los fluoruros son insolubles, excepto los alcalinos y los de plata, bismuto, hierro (III) y estaño (IV).
- f) Los sulfatos son solubles excepto los de plomo, bario y estroncio; los sulfatos de calcio y plata son relativamente poco solubles.

- g) Los cromatos son insolubles excepto los alcalinos y los de calcio, magnesio y zinc.
- h) Los carbonatos, sulfitos, fosfatos, arseniatos, arsenitos, boratos y oxalatos son insolubles, excepto los de metales alcalinos. (Las sales insolubles de estos aniones son solubles en ácidos).

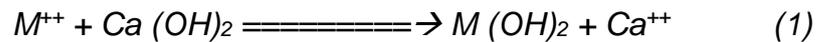
El número de valencia también influye en el proceso. Por ejemplo, el hierro ferroso es considerablemente más soluble que el hierro férrico, por lo que se realiza un tratamiento con un agente oxidante para convertir el hierro ferroso a férrico. Otro ejemplo es el cromo hexavalente, que es mucho más soluble que la menos peligrosa forma trivalente. Los cromatos deben reducirse antes de separar el cromo trivalente por el proceso de precipitación.

Precipitación de hidróxidos

Las razones por las cuales la separación de elementos como hidróxidos es tan extensamente aplicable son:

- a) Hay diferencias grandes entre las solubilidades de los hidróxidos metálicos.
- b) La utilización de reguladores de pH permite ajustar el pH a un valor predeterminado y constante con objeto de efectuar la separación.

La precipitación de hidróxidos utiliza como precipitante el hidróxido de calcio (Ca), hidróxido de sodio o de potasio para remover los metales como hidróxidos metálicos insolubles. La reacción se ilustra por la siguiente ecuación para la precipitación de metales divalentes usando cal:



Los niveles de concentración del efluente por la precipitación de hidróxidos dependen de los metales presentes, el precipitante empleado; las condiciones de reacción, especialmente el pH y la presencia de otros materiales que pueden inhibir la precipitación.

En el efluente se alcanzan concentraciones de metales menores a 1 mg/l y en ocasiones menores a 0.1 mg/l, aproximándose a las solubilidades teóricas.

Los hidróxidos metálicos son anfotéricos; por ejemplo, su solubilidad se va incrementando en bajos y altos pHs y el punto de mínima solubilidad (pH óptimo para la precipitación) se presenta a diferentes valores de pH para todos los metales. A un pH donde la solubilidad de un hidróxido metálico puede ser mínima, en otro puede ser relativamente alta. En la mayoría de los casos, un pH entre 9 y 11, seleccionado en base a pruebas o experiencias de operación con el residuo acuoso, produce una calidad de efluente aceptable.

Para efluentes que contengan varios metales, puede requerirse más de un estado de precipitación con diferentes puntos de control de pH para remover todos los metales de interés a los niveles deseados.

El Hidróxido de Potasio (KOH) también conocido como Potasa Cáustica es altamente soluble en agua (107 g/100 ml a 15 °C y 178 g/100 ml a 100 °C). La solución acuosa del KOH es altamente alcalina, por ejemplo el pH de una solución de concentración 0.1 M es 13.5. Es una base muy fuerte, más básica que el hidróxido de sodio, y es neutralizada por los ácidos formando sales de potasio.

Cuadro N° 29 Tratamiento con agitación y aireación

4		AGITACION Y AIREACION										
PRUEBA 1 :												
DESCRIPCIÓN	Peso	% Peso	% ENSAYES					RECUPERACION				
			% Zn	% Pb	% Cu	Ag	% Fe	% Zn	% Pb	% Cu	% Ag	% Fe
Conc. Ro I	117.83	11.88	11.21	12.20	2.71	17.10	12.24	47.57	78.50	86.50	80.06	19.15
Conc Scv	90.32	9.10	7.12	2.12	0.28	2.57	15.50	23.16	10.46	6.85	9.23	18.59
Relave Final	783.84	79.02	1.04	0.26	0.03	0.34	5.98	29.27	11.04	6.65	10.71	62.26
Cabeza Calculada	991.99	100.00	2.80	1.85	0.37	2.54	7.59	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Cabeza Ensayada			3.11	1.89	0.40	2.99	7.89					
Factor Metalurgico				Pb	Cu	Ag						
				519	630	540						
PRUEBA 2 : REPLICA												
DESCRIPCIÓN	Peso	% Peso	% ENSAYES					RECUPERACION				
			% Zn	% Pb	% Cu	Ag	% Fe	% Zn	% Pb	% Cu	% Ag	% Fe
Conc. Ro I	125.86	12.61	10.31	12.08	2.87	17.43	11.08	47.29	79.66	89.21	81.84	19.08
Conc Scv	72.00	7.21	7.63	2.19	0.26	2.83	15.06	20.02	8.26	4.62	7.60	14.83
Relave Final	800.25	80.18	1.12	0.29	0.03	0.35	6.04	32.69	12.08	6.17	10.56	66.09
Cabeza Calculada	998.11	100.00	2.75	1.91	0.41	2.68	7.32	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Cabeza Ensayada			3.11	1.89	0.40	2.99	7.89					
Factor Metalurgico				Pb	Cu	Ag						
				503	631	531						

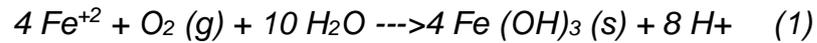
Fuente: Unidad Minera

La presencia de hierro y manganeso en los efluentes generalmente requiere que se suministre aire. La agitación adicional provee una oxidación pasiva debido a la turbulencia generada.

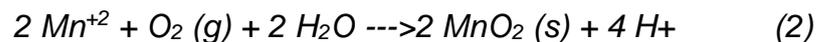
La presencia de hierro y manganeso en un efluente de entrada, ayuda al proceso mediante la co precipitación de otros metales hasta obtener bajas concentraciones de Arsénico (As), Cadmio (Cd), y Zinc (Zn).

Es importante la oxidación del Fe (II) a Fe (III) debido a que la solubilidad del Fe (OH)₂ a valores de pH cercanos al neutro es mucho mayor que la del Fe (OH)₃ (p.e. a pH 6,2 la solubilidad del Fe (OH)₂ es de 159,04 g/l, y la del Fe (OH)₃ es de $1,4197 \cdot 10^{-14}$ g/l), de donde se evidencian las ventajas que ofrece la oxidación de Fe(II) a Fe(III) para su posterior remoción y precipitación como Fe(OH)₃. Así mismo, la oxidación del Ferroso permite un mejor manejo de los lodos férricos ya que éstos son mucho más estables, también se facilita la separación sólido líquido y proporciona superficies de adsorción para los demás metales (co precipitación).

La siguiente reacción describe el proceso de oxidación del hierro ferroso por el oxígeno:



Cuando el agua contiene manganeso, suele ser en presencia de hierro. Pero el proceso de aireación a valores de pH cercanos al neutro generalmente es insuficiente para la eliminación eficaz del manganeso. La precipitación del manganeso en forma de hidróxido o la oxidación con oxígeno sólo serían posibles en el caso de un pH demasiado alcalino (9 a 9,5 como mínimo); la siguiente reacción describe el proceso de oxidación del manganeso manganesoso por el oxígeno:



El pH del agua es un parámetro crítico para el proceso de oxidación y precipitación de hierro y manganeso. Para la oxidación de hierro por aireación, el pH del agua deberá ser por lo menos de 7.2 e idealmente deberá mantenerse entre 7.5 y 8.0. Si hay manganeso presente, el pH mínimo recomendado es 9.5. Por debajo de ese nivel de pH, la oxidación de manganeso por aireación se vuelve bastante lenta.

La oxidación del hierro y del manganeso por aireación no es instantánea. Dependiendo de las condiciones reales, los tiempos de contacto requeridos para que la oxidación y la precipitación sean completas pueden variar entre 5 y 15 min.

De acuerdo a sus respectivas reacciones, se requieren 0.1432 mg/l de oxígeno por cada mg/l de hierro para oxidar el hierro ferroso; así mismo, se requieren 0.2912 mg/l de oxígeno por cada mg/l de manganeso para oxidar el manganeso manganoso.

En los procesos de tratamiento de agua deberá inyectarse suficiente aire para poder mantener el residual de oxígeno requerido, aprox. 5 mg/l, para reaccionar con repentinos aumentos de hierro o manganeso así como para facilitar el mezclado del hierro y/o manganeso con el oxígeno para una reacción rápida y eficaz.

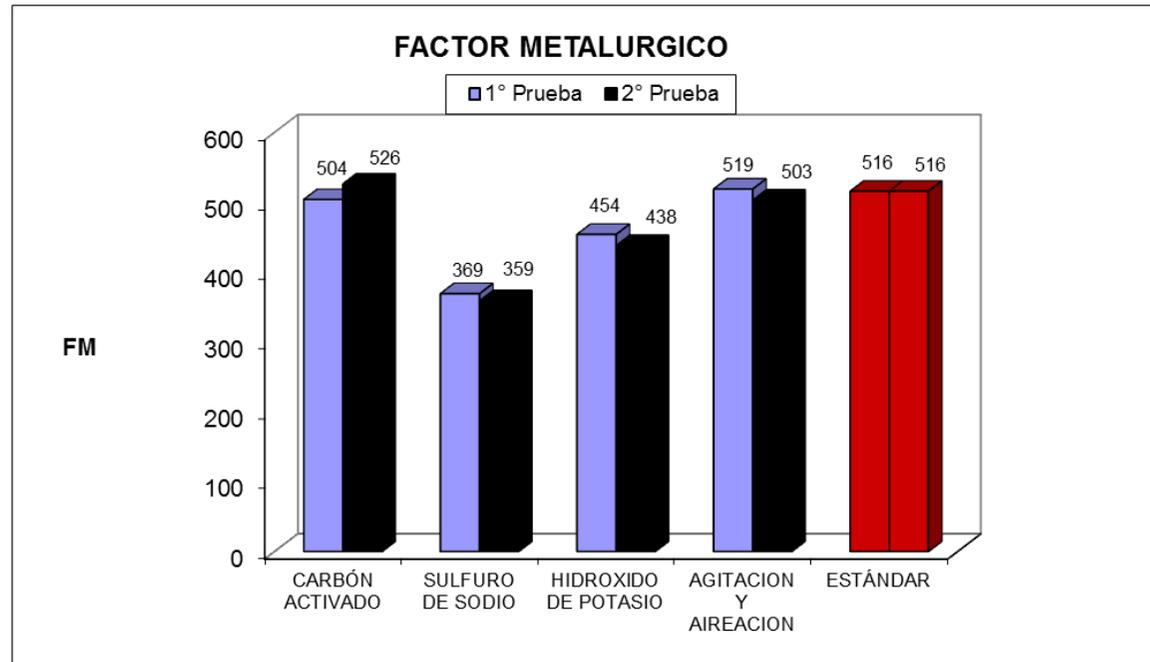


Gráfico N° 21 Resultados de pruebas con ER tratada

Fuente: Unidad Minera

El gráfico nos muestra que tratando el ER y reutilizando éste en el proceso, podemos llegar a valores cercanos o que pueden superar el Factor Metalúrgico Estándar, como el caso del tratamiento con *carbón activado*, el *hidróxido de potasio* y *agitación con aireación*.

3.2.2. Análisis de los Resultados de la Primera Etapa

El factor de recirculación es una relación que indica la proporción entre el volumen de agua recirculada y el volumen de agua industrial.

El factor metalúrgico es una relación que integra el % de Recuperación del metal en el concentrado respecto al contenido metálico en el mineral de cabeza, el grado del concentrado obtenido y la ley de cabeza del mineral tratado. Por ello es un excelente indicador de la performance metalúrgica del proceso de concentración de minerales y se utiliza para la comparación de los resultados obtenidos para las diferentes alternativas en este trabajo.

El factor de recirculación es inversamente proporcional al factor metalúrgico, es decir, a mayor volumen de agua recirculada el factor metalúrgico disminuye.

Es necesario el tratamiento del ER para poder reutilizarlo en el proceso de concentración sin afectar la performance metalúrgica.

El espejo de agua del depósito de relaves tiene buenas propiedades para ser reutilizada en el proceso de concentración.

De acuerdo a lo anterior, las Alternativas N° 1 y N° 2 podrían ser factibles técnicamente, pero su implementación es riesgosa y de alto costo.

Los tratamientos del ER con carbón activado, hidróxido de potasio y agitación – aireación para la alternativa N° 3, brindaron resultados alentadores con valores similares al estándar.

La recirculación y reutilización de una parte del actual efluente industrial (PC) directamente al proceso, Alternativa N° 4, generó resultados inferiores a los del estándar, por lo cual no puede ser implementado así. Sin embargo, se debe evaluar si es posible que con un sencillo tratamiento este flujo pueda ser reutilizado en el proceso de concentración. Cabe indicar que de resultar exitosa esta alternativa, sería la que menos tiempo y costo de implementación representará, debido a que solamente necesitaría una poza de bombeo, una bomba y tuberías para operar.

Del análisis de los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en base a la alternativa N° 3 se concluye que:

- a) Los resultados obtenidos en las pruebas con el rebose del espesador de relaves estaban en un rango de resultados aceptable para una prueba de laboratorio y que en el escalamiento podía ser optimizada. Por lo tanto, representa una buena alternativa para el escalamiento directo.
- b) Se obtuvieron buenos resultados con el tratamiento por aireación y agitación. La agitación se da a escala industrial en el bombeo y transporte de fluidos, y la aireación también es producida en los sistemas abiertos de almacenamiento del fluido.
- c) Se obtuvieron buenos resultados con el agua de recirculación de la relavera, considerando a ésta como un reactor natural. Un efecto parecido podría suscitarse en el tanque de agua industrial en el cual el tiempo de retención es de 8 hrs. aprox.
- d) La implementación de la Alternativa N° 3 a escala industrial representa un costo muy bajo puesto que ya estaba pre diseñada con materiales y equipos existentes, en stock o disponibles para re uso, lo cual significaba tiempo y costo de inversión mínimos para su implementación.

En base a estos resultados que aseguraban el éxito de una operación a escala industrial se tomó la decisión de pasar a la segunda etapa: Implementar la Alternativa N° 3.

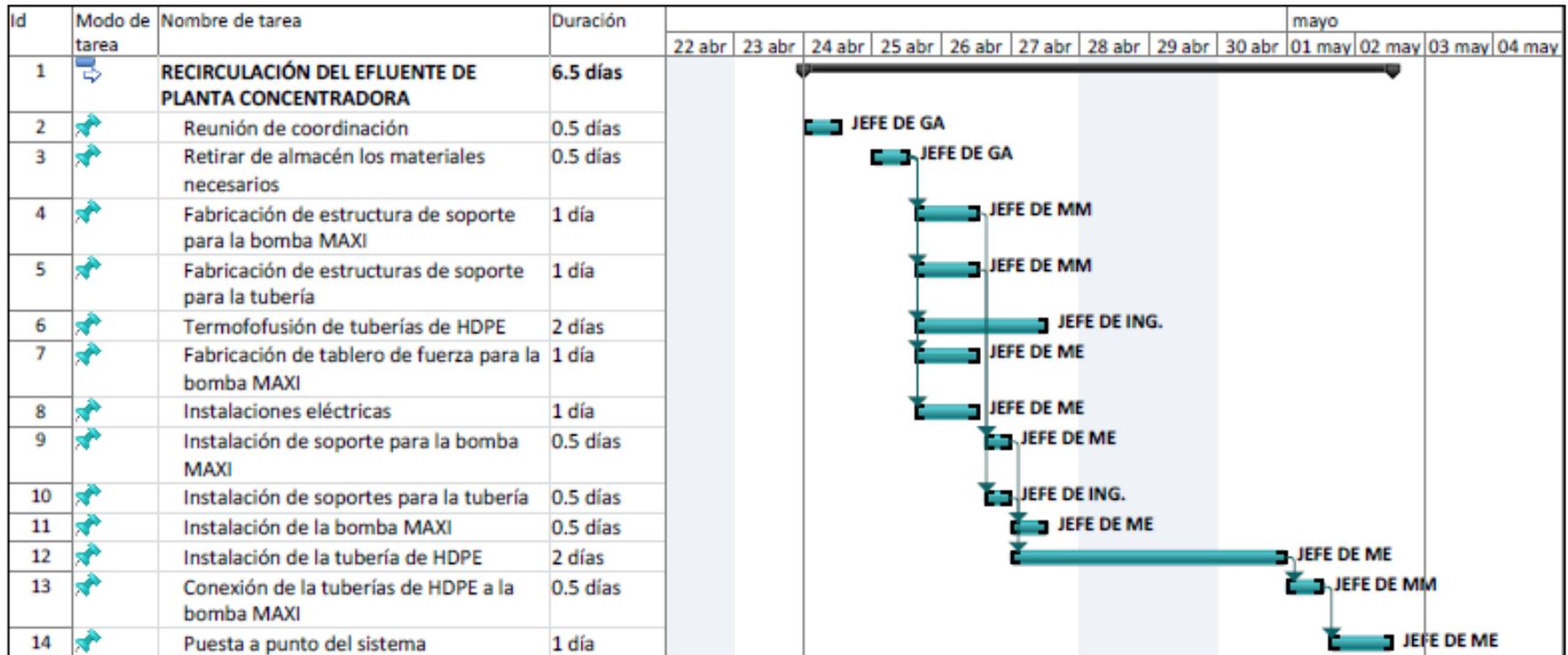
CAPÍTULO IV

SEGUNDA ETAPA: IMPLEMENTACIÓN Y OPERACIÓN DEL PROYECTO

En el diseño de la infraestructura para la Recirculación Total del Efluente Industrial de la Planta Concentradora se priorizó el criterio de uso y/o re uso de materiales y equipos disponibles en la unidad.

4.1. Cronograma y Recursos

Cuadro N° 30 Cronograma y Recursos



Fuente: Unidad Minera

Materiales y equipos

Una bomba GRINDEX Tipo Maxi

350 m de tubería de HDPE Ø 4" y accesorios

100 m de cable eléctrico

Infraestructura

Cajón de rebose del espesador

Estructura para soporte de las bombas

Estructura para soporte de las tuberías de HDPE

Servicios

Mano de obra para montajes

4.2. Esquema de la Planta Concentradora Antes de la Implementación

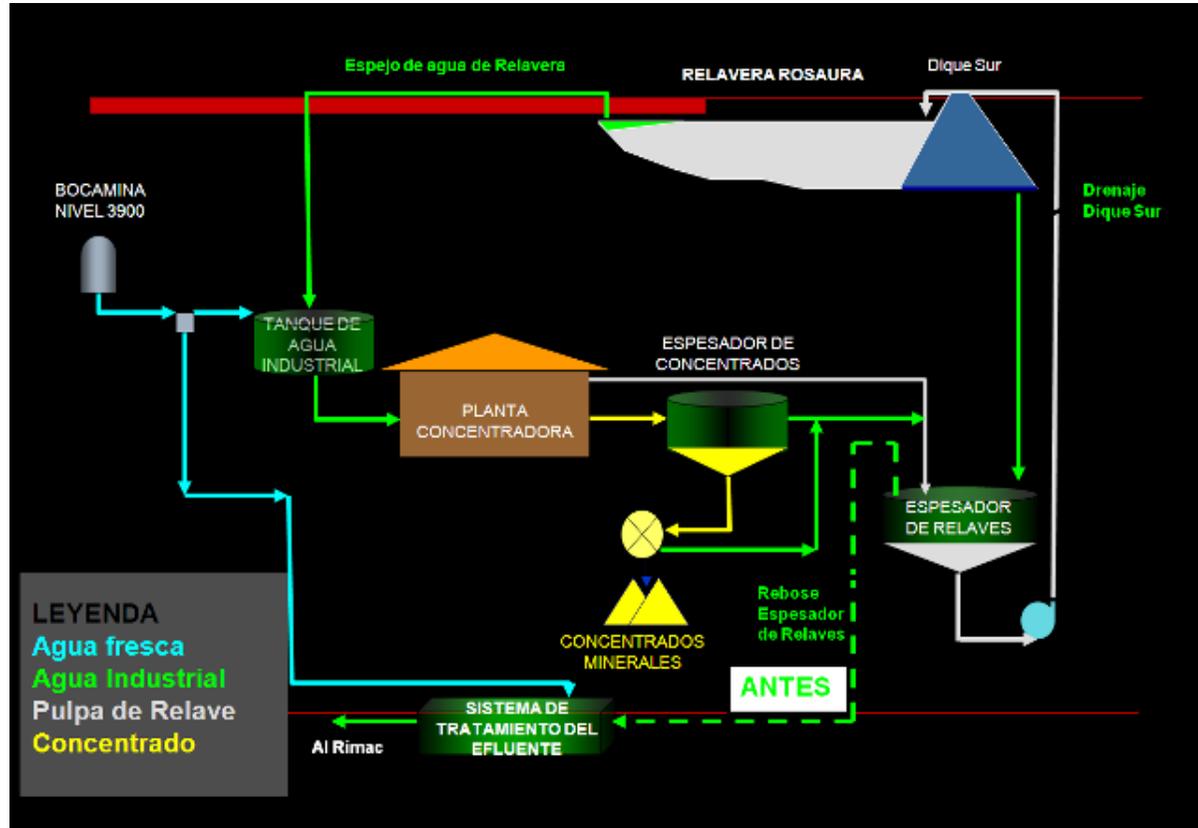


Figura N° 10 Planta Concentradora Antes de la Implementación

Fuente: Unidad Minera

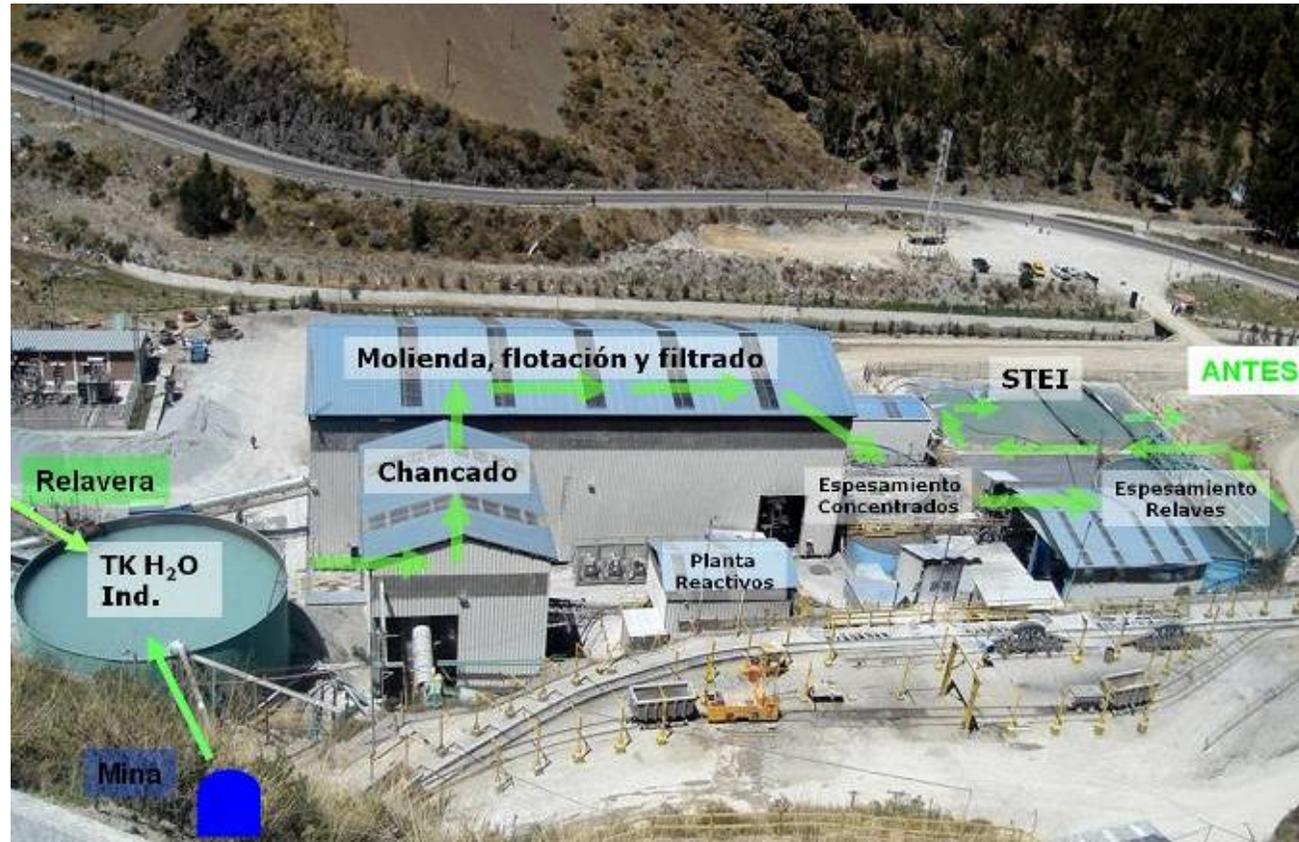


Figura N° 11 Vista de la Planta Concentradora Antes de la Implementación

Fuente: Unidad Minera

4.3. Esquema de la Planta Concentradora Después de la Implementación

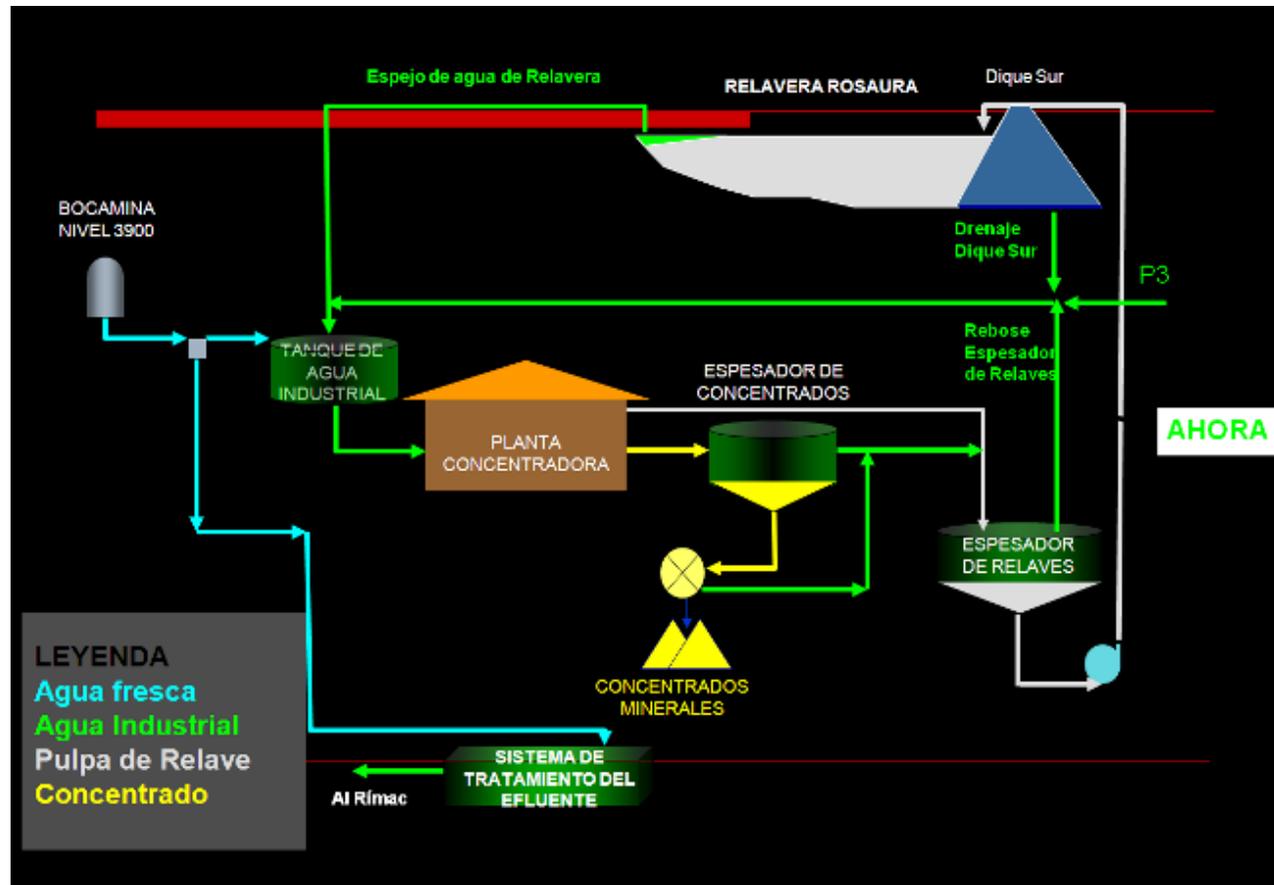


Figura N° 12 Planta Concentradora Después de la Implementación



Figura N° 13 Vista de la Planta Concentradora Después de la Implementación

Fuente: Unidad Minera

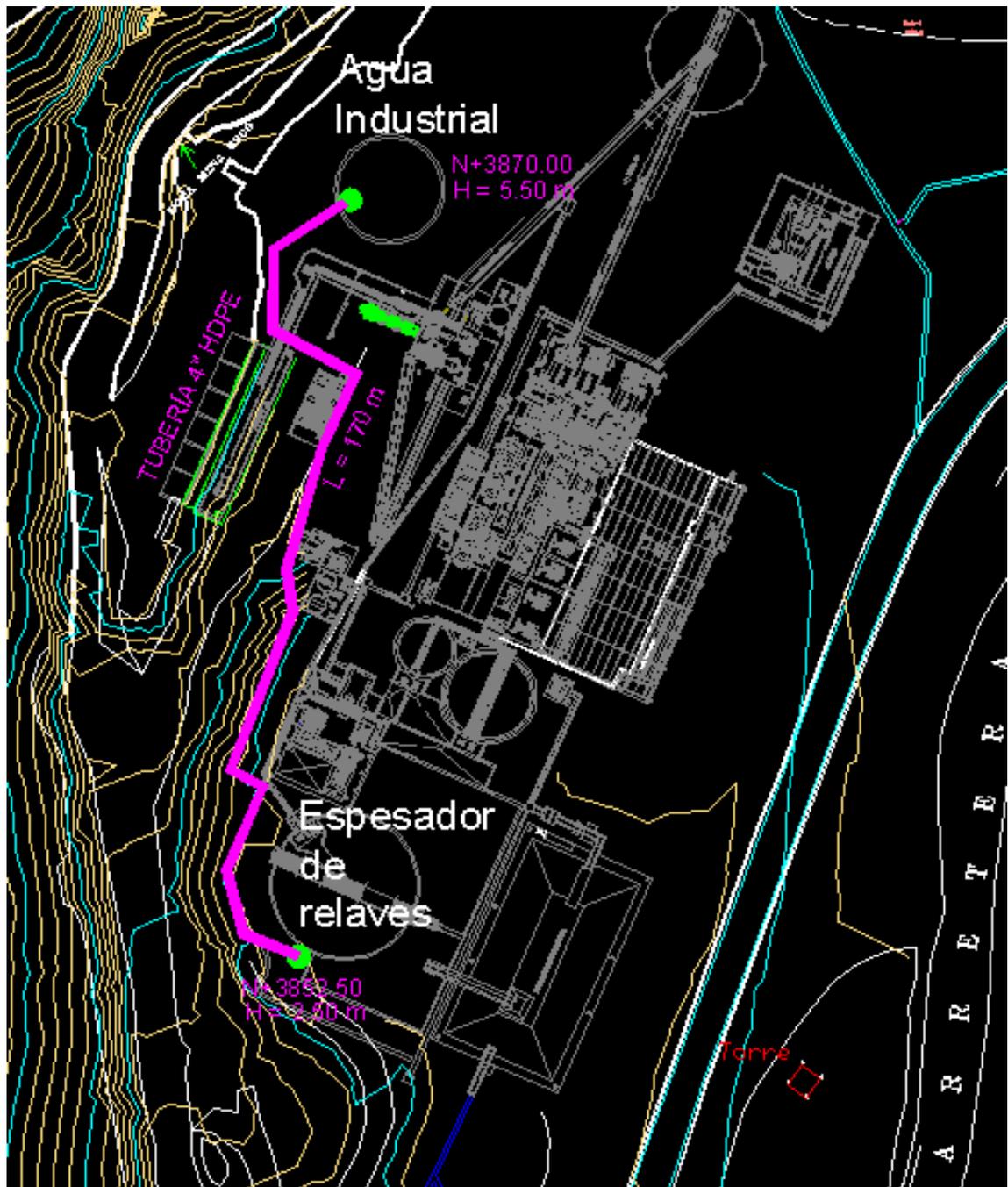


Figura N° 14 Plano de la Planta Concentradora Después de la Implementación

Fuente: Unidad Minera

4.4. Costo de Inversión

Cuadro N° 31 Costo de Inversión

INVERSIÓN REALIZADA EN LA RECIRCULACIÓN DEL EFLUENTE DE PLANTA						
DESCRIPCIÓN	PU	METRADO		TOTAL	REAL	OBS
	US\$	UN	CTD	US\$		
MATERIALES						
Tubería HDPE 4"	7.11	m	350	2489	1067	200 m de tubería recuperada
Accesorios (Coplas vitáulicas, conduit, cajas de paso, conectores, otros)	1350	UN	1	1350	1350	
Cable eléctrico (3x16 doble terna)	500	UN	1	500	500	
INFRAESTRUCTURA						
Tanque de rebose del espesador	8000	UN	1	8000		Existente
Estructura de soporte de las tuberías de HDPE	2.9	Kg	900	2610	2610	
Estructura de soporte de la bomba	2.9	Kg	500	1450	1450	
EQUIPOS						
Bomba GRINDEX, tipo MAXI H con arrancador	18090	UN	1	18090		Existente en stand by
SERVICIOS						
Mano de obra para montajes mecánicos y eléctricos	1500	UN	1	1500	1500	
TOTAL				35989		
INVERSIÓN EFECTIVA					8477	

Fuente: Unidad Minera

4.5. Costo de Operación

Cuadro N° 32 Costo de Operación

COSTO MENSUAL EN LA RECIRCULACIÓN DEL EFLUENTE DE PLANTA				
DESCRIPCIÓN	PU	METRADO		TOTAL
	US\$	UN	CTD	US\$
ENERGÍA				
Energía eléctrica	0.054	US\$/Kw-h	27490	1484
PERSONAL				
Operadores	855	US\$/mes	0.1	85.5
MANTENIMIENTO				
Servicio de bomba Maxi	800	US\$/mes	1	800
Servicio TK, tuberías y accesorios	300	US\$/mes	1	300
Servicio de sistemas eléctricos	150	US\$/mes	1	150
TOTAL				2820

Fuente: Unidad Minera

4.6. Resultados de la implementación

El logro fundamental fue la preservación del cuerpo receptor debido al volumen de agua fresca que se dejó de utilizar en el proceso así como por la mejora de la calidad del vertimiento final de las operaciones, asegurando de esta manera y sostenidamente en el Cuerpo Receptor Principal el cumplimiento de la exigente normativa del sector salud para esta parte de la cuenca (Ley General de Aguas Clase II: Abastecimiento de agua doméstica con tratamiento equivalente a procesos combinados de mezcla y coagulación, sedimentación, nitración y cloración aprobados por el Ministerio de Salud)

Los resultados de este proceso en la eficiencia de la planta concentradora se pudieron medir a los 30 días, resultando en un ahorro muy significativo de reactivos (Sulfato de Zinc de 0.235 a 0.195 Kg./ton; Sulfato de cobre de 0.205 a 0.172 Kg./ton, F-70 de 0.031 a 0.021 Kg./ton, hidróxido de calcio de 0.402 a 0.373 Kg./ton, y Z-11 de 0.030 a 0.027 Kg./ton.).

La performance del proceso de concentración no fue afectada. Las leyes y las recuperaciones de los elementos metálicos mejoraron o se mantuvieron de acuerdo a lo programado,

Se redujo significativamente el uso de agua fresca subterránea, de 62 l/s a sólo 4 l/s, representando un ahorro significativo en el pago por derecho de uso de agua fresca con fines mineros.

Mejora de la performance ambiental, lo cual nos lleva a un mejor posicionamiento en cualquier negociación y/o coordinación con nuestros grupos de interés y/o partes interesadas.

4.7. Variación en el consumo de reactivos

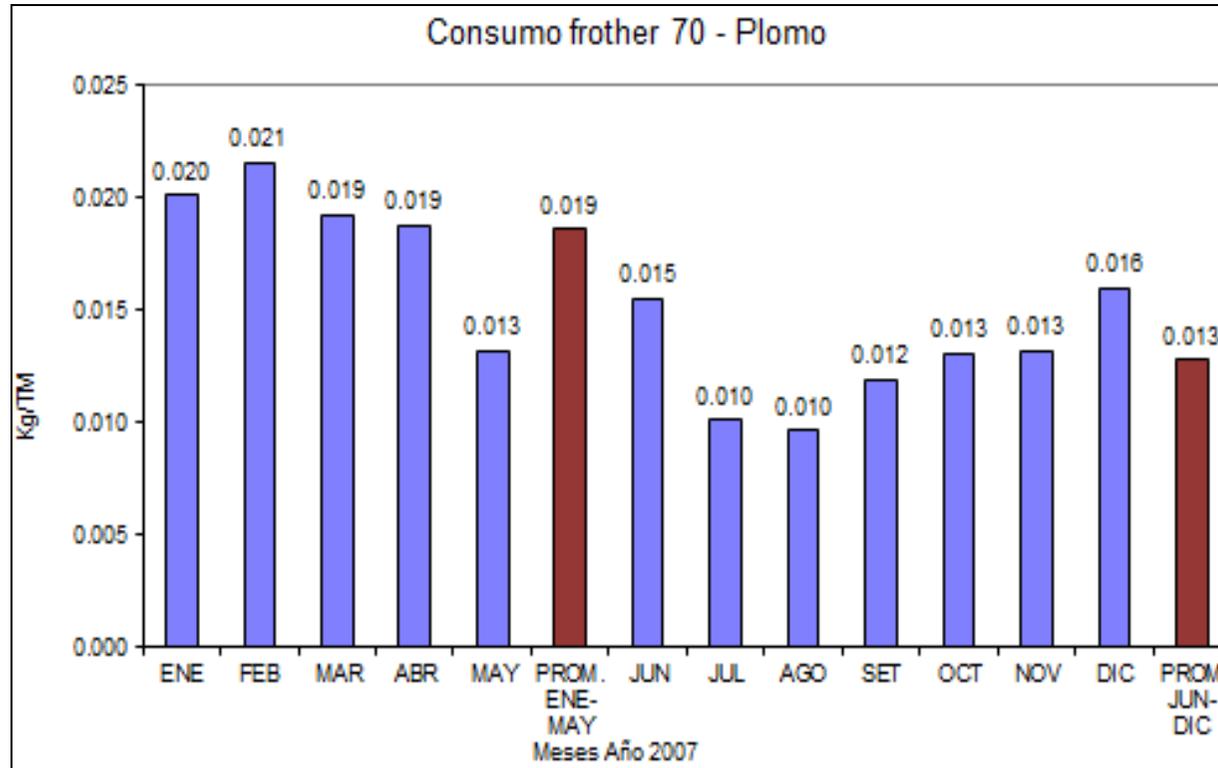


Gráfico N° 22 Variación del espumante Frother 70 en el Circuito de Plomo

Fuente: Unidad Minera

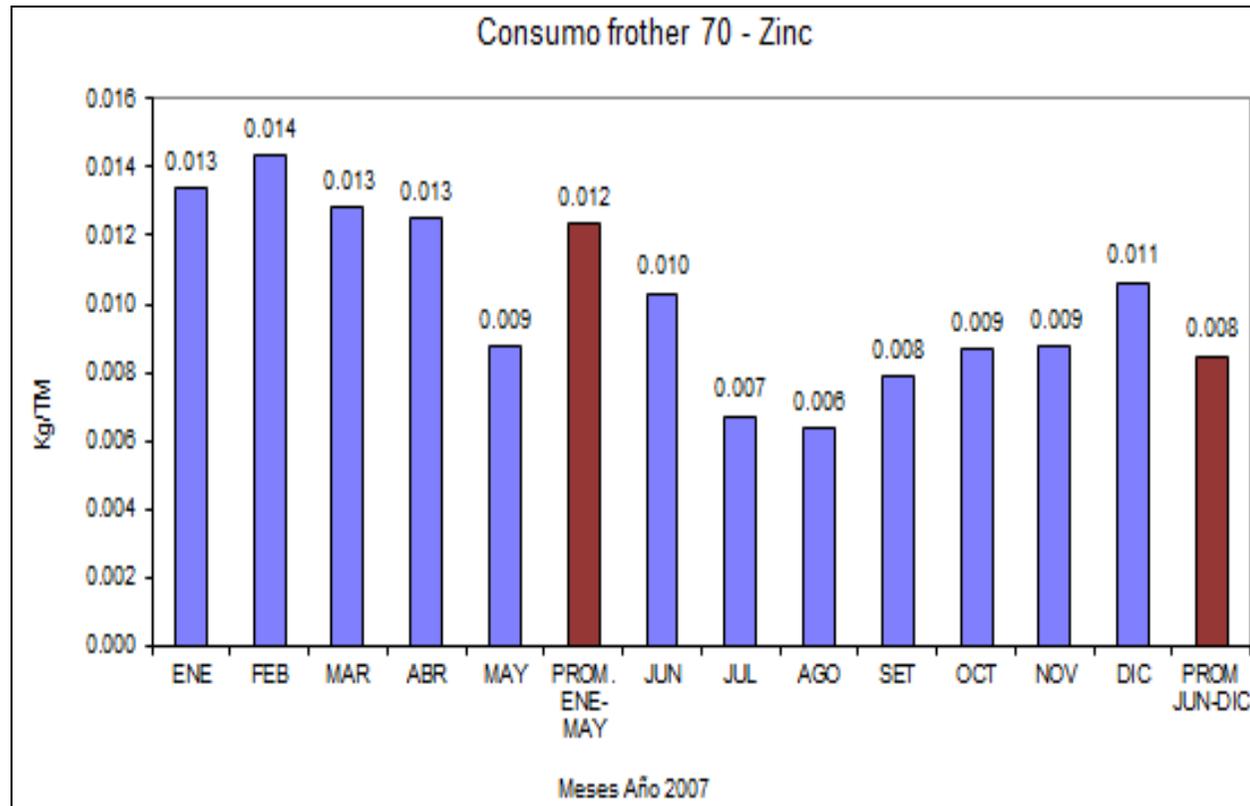


Gráfico N° 23 Variación del espumante Frother 70 en el Circuito de Zinc

Fuente: Unidad Minera

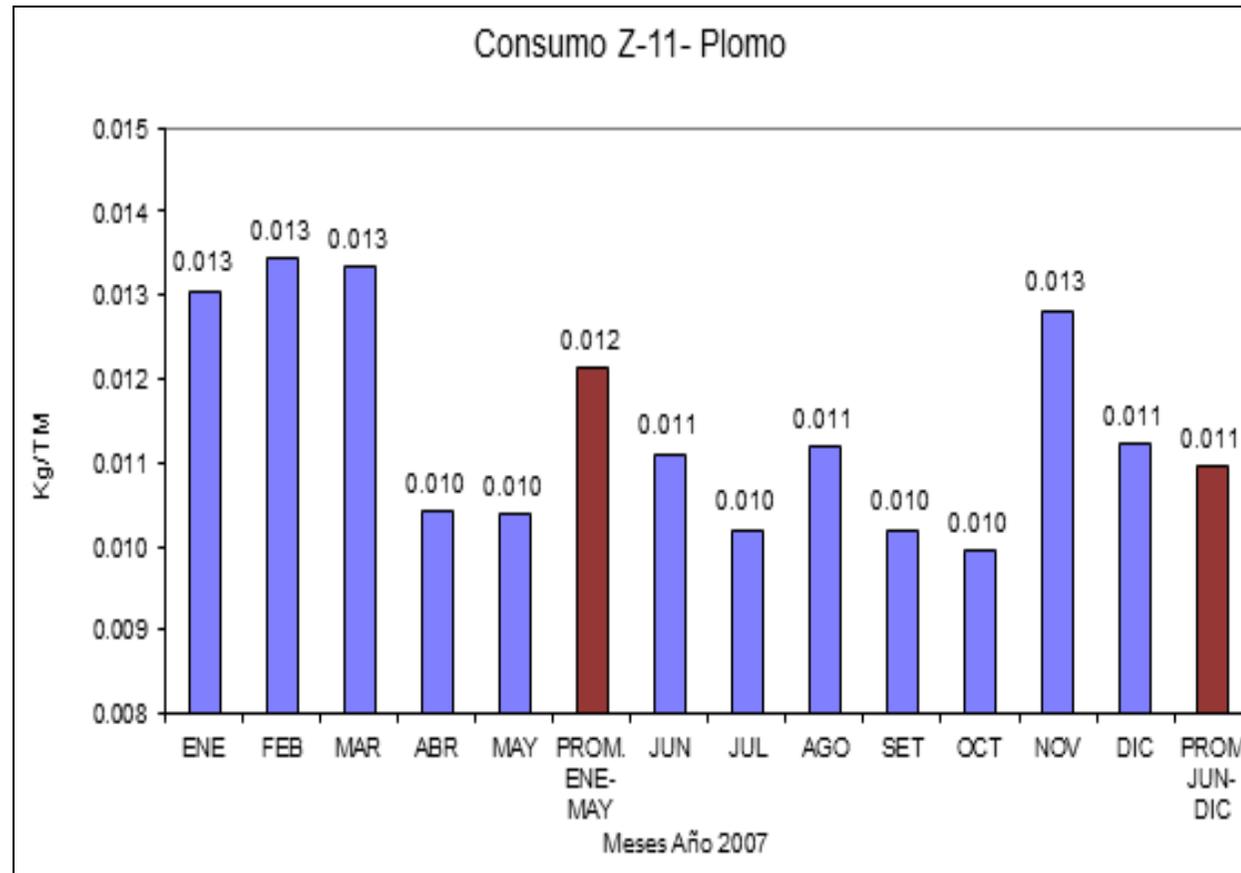


Gráfico N° 24 Variación del Colector Z-11 en el Circuito de Plomo

Fuente: Unidad Minera

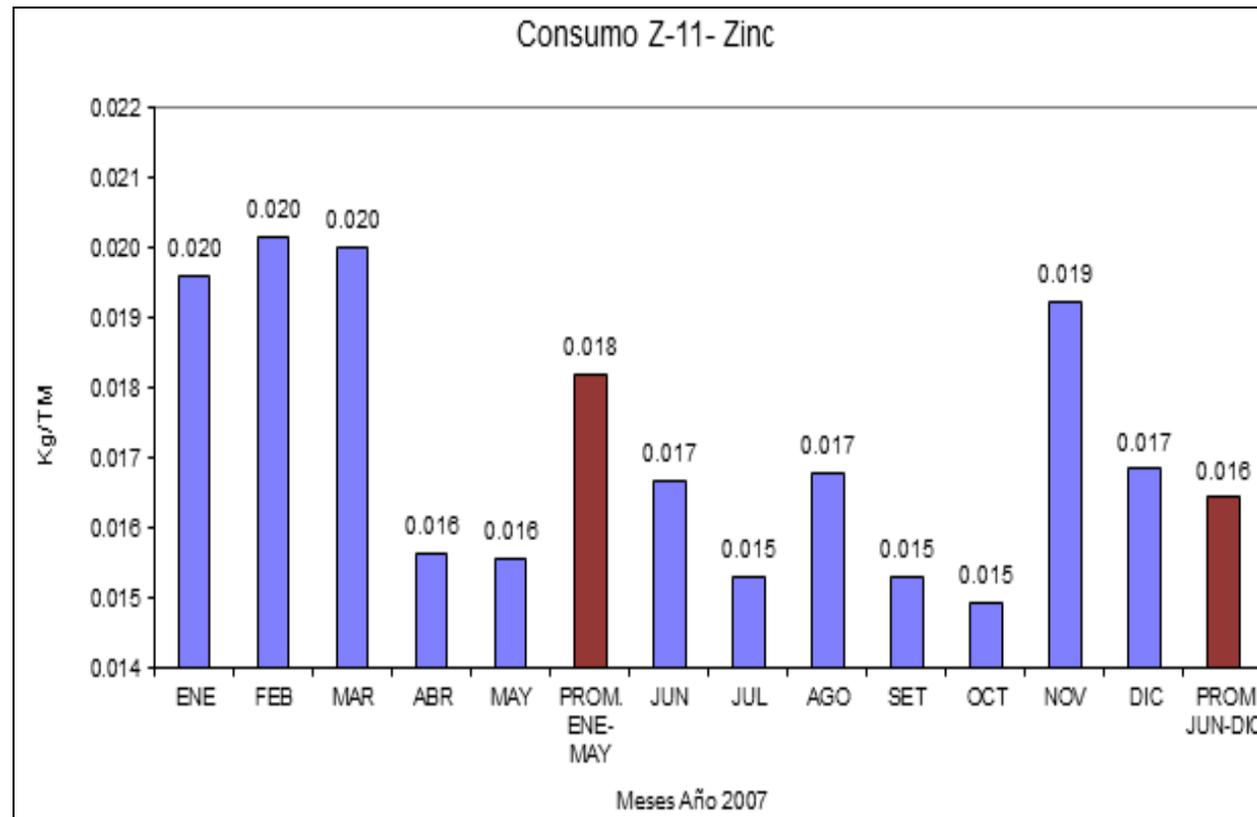


Gráfico N° 25 Variación del Colector Z-11 en el Circuito de Zinc

Fuente: Unidad Minera

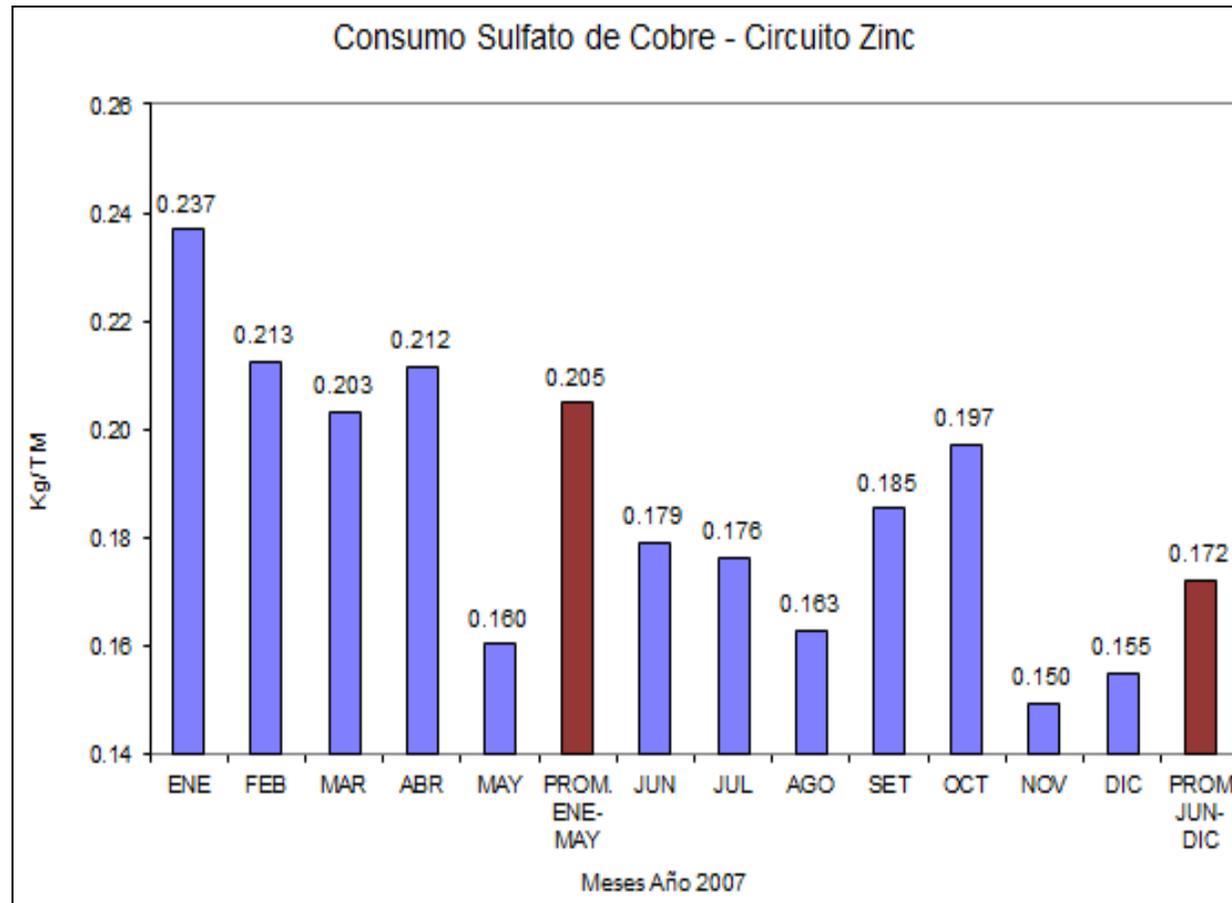


Gráfico N° 26 Variación del Sulfato de Cobre en el Circuito de Zinc

Fuente: Unidad Minera

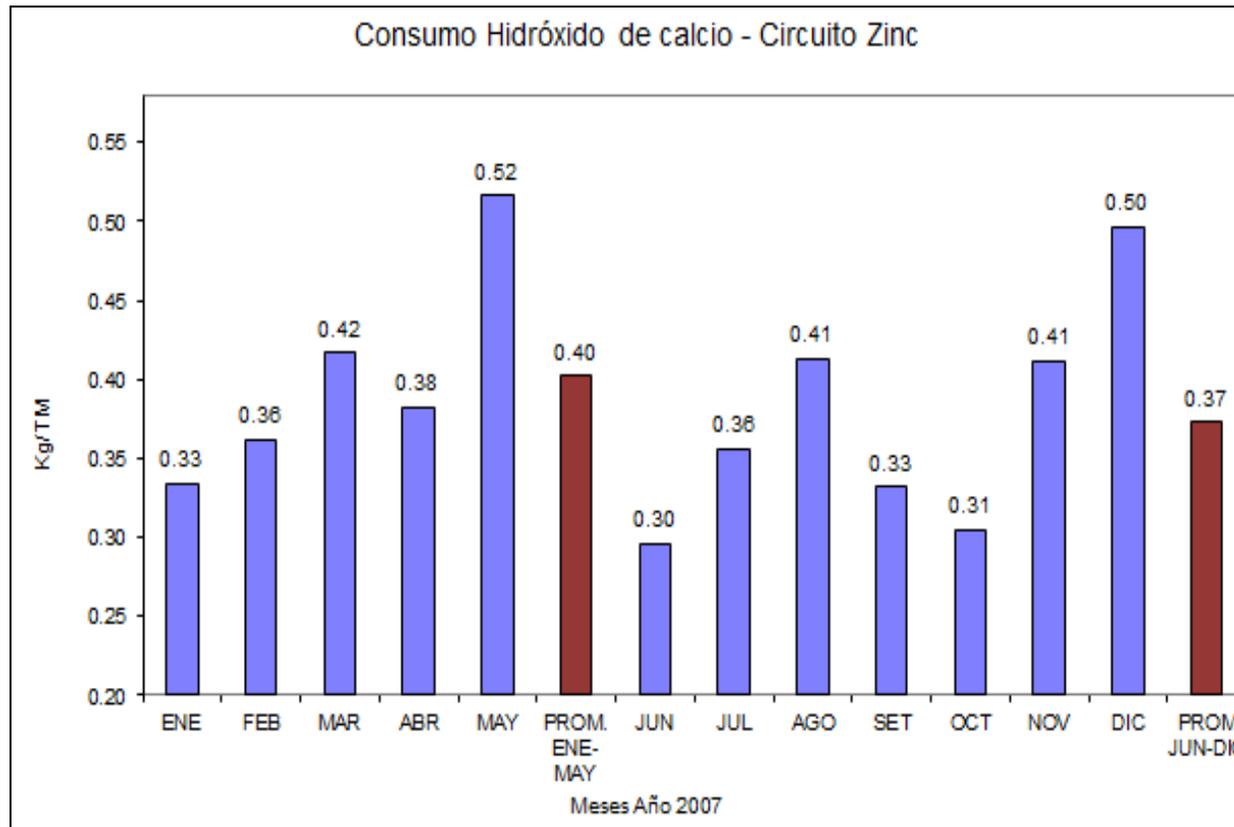


Gráfico N° 27 Variación del Hidróxido de Calcio en el Circuito de zinc

Fuente: Unidad Minera

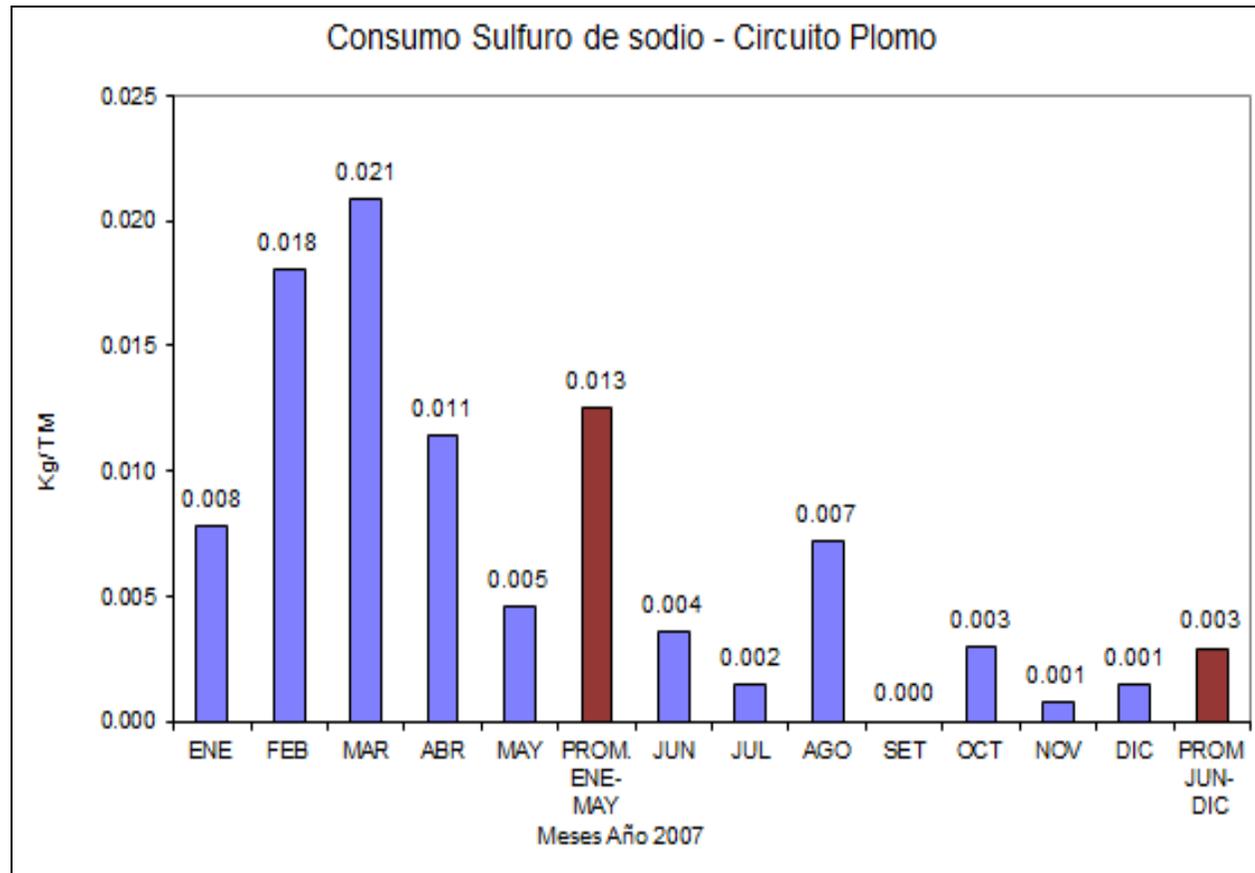


Gráfico N° 28 Variación del Sulfuro de Sodio en el circuito de plomo

Fuente: Unidad Minera

4.8. Rendimiento del proceso de concentración

Cuadro N° 33 Rendimiento del proceso de concentración

Una semana antes de Circulación Total de Agua Industrial													
			ENSAYES QUIMICOS					DISTRIBUCION					R.C.
	TMS	%	%Zn	%Pb	%Cu	oz Ag/TM	%Fe	Zn	Pb	Cu	Ag	Fe	
Cabeza	14.944	100,00	2,15	1,55	0,30	1,97	6,91	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	
Conc. Pb	387	2,59	4,55	49,42	7,95	57,36	7,82	5,46	82,62	70,34	75,96	2,93	38,66
Conc. Zn	523	3,50	54,37	2,26	1,66	5,16	5,01	88,27	5,11	19,81	9,24	2,45	28,58
Relave	14.035	93,92	0,14	0,20	0,03	0,31	7,22	6,27	12,27	9,84	14,80	98,15	
Cab. Calc.	14.944	100,00	0,17	1,55	0,29	1,95	7,16	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	

Una semana después con Circulación Total de Agua Industrial													
			ENSAYES QUIMICOS					DISTRIBUCION					R.C.
	TMS	%	%Zn	%Pb	%Cu	oz Ag/TM	%Fe	Zn	Pb	Cu	Ag	Fe	
Cabeza	16.030	100,00	2,13	1,61	0,29	2,00	7,33	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	
Conc. Pb	432	2,70	4,60	50,21	7,07	56,72	7,94	5,83	84,25	68,37	77,29	2,92	37,07
Conc. Zn	554	3,46	54,09	2,10	1,73	4,79	4,63	88,00	4,52	21,49	8,36	2,20	28,92
Relave	15.044	93,85	0,14	0,19	0,03	0,30	7,38	6,17	11,23	10,13	14,35	94,40	
Cab. Calc.	16.030	100,00	0,16	1,61	0,28	1,98	7,30	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	

Fuente: Unidad Minera

Nótese que los resultados son muy similares, es decir, los resultados metalúrgicos no se vieron afectados por la implementación del proceso de recirculación total, tal como se había comprobado en la primera etapa de pruebas a nivel de laboratorio.

CAPÍTULO V

PERFORMANCE AMBIENTAL (CALIDAD DE AGUA Y VERTIMIENTOS)

DE LA PLANTA CONCENTRADORA DESPUÉS DE LA

IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO (Mayo 2007)

5.1. Balance de Agua de la Planta Concentradora después de la implementación

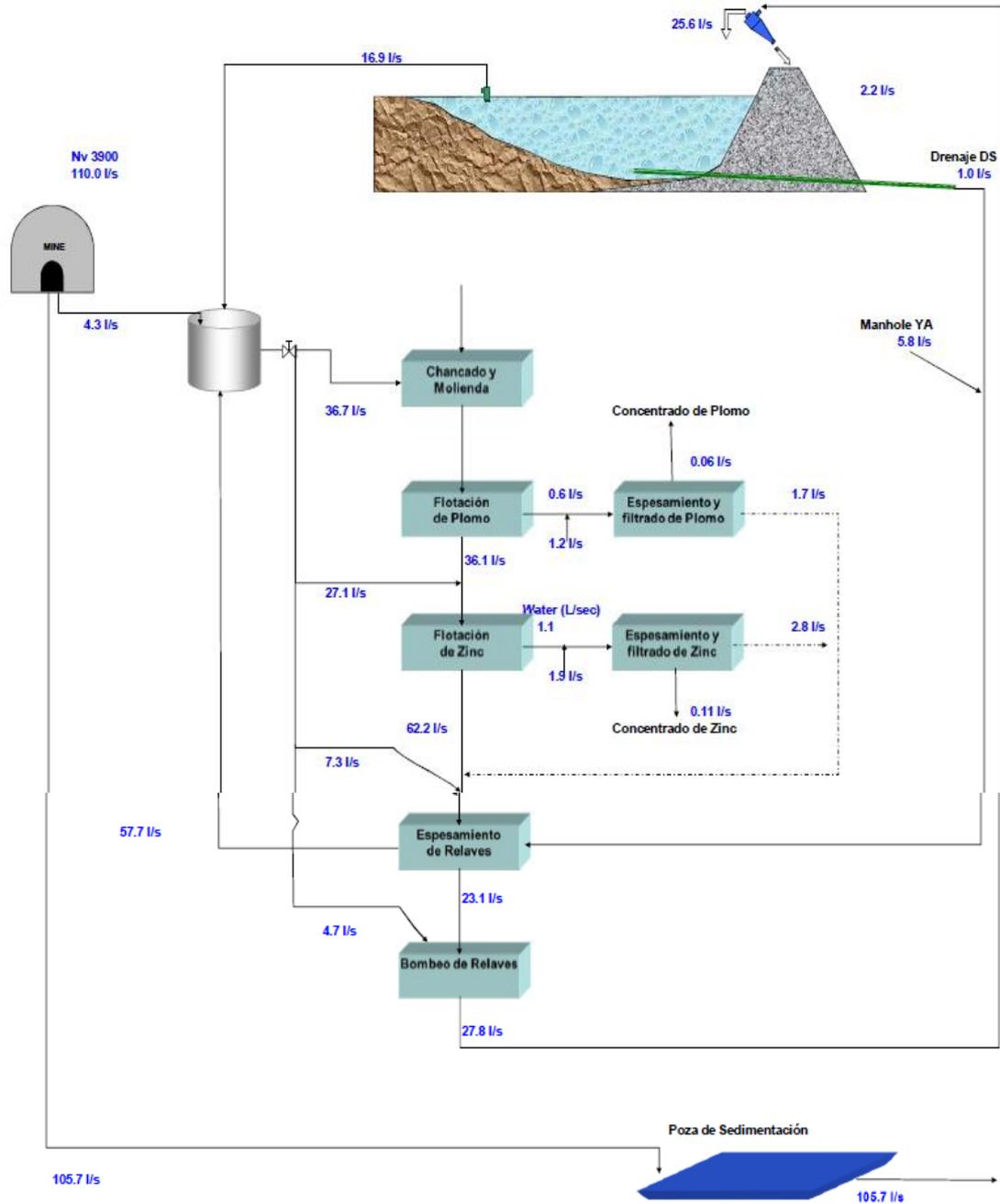


Figura N° 15 Balance de Agua de la Planta Concentradora después de la implementación

Fuente: Unidad Minera

5.2. Calidad de Agua 2007

5.2.1. Resultados

Cuadro N° 34 Estación de monitoreo P1 - 2007

Estación de Monitoreo P1						
	mg/l					
	CN WAD	Pb	Cu	Zn	Fe	As
Ene	<0.004	0.064	0.109	2.337		0.017
Feb	0.054	0.090	0.100	1.370		<0.010
Mar	<0.004	<0.100	<0.141	1.270		<0.022
Abr	0.019	<0.020	<0.040	0.410	0.560	<0.010
May	<0.005	<0.020	<0.040	0.210	0.190	0.020
Jun	<0.005	<0.020	<0.040	0.250	0.280	<0.010
Jul	<0.040	0.020	<0.040	0.400	0.170	0.020
Ago	<0.030	<0.045	<0.088	0.293	1.000	<0.016
Sep	0.006	0.106	0.051	1.309	1.700	0.016
Oct	<0.005	0.011	0.047	0.461	0.200	0.009
Nov	<0.005	0.031	0.042	0.493	1.000	0.041
Dic	<0.005	0.041	0.065	1.464	0.700	0.016
PROM MAY-DIC	0.013	0.037	0.052	0.610	0.655	0.019
LMP	0.080	0.050	1.000	5.000		0.100

Fuente: MINERALS OF LABORATORIES SRL (MINLAB) / SGS DEL PERÚ SAC

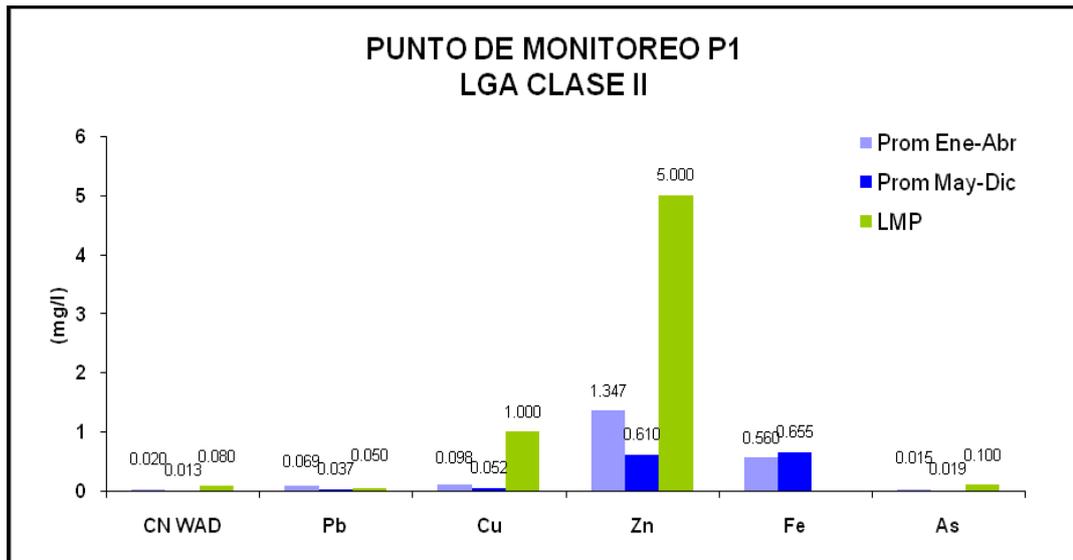


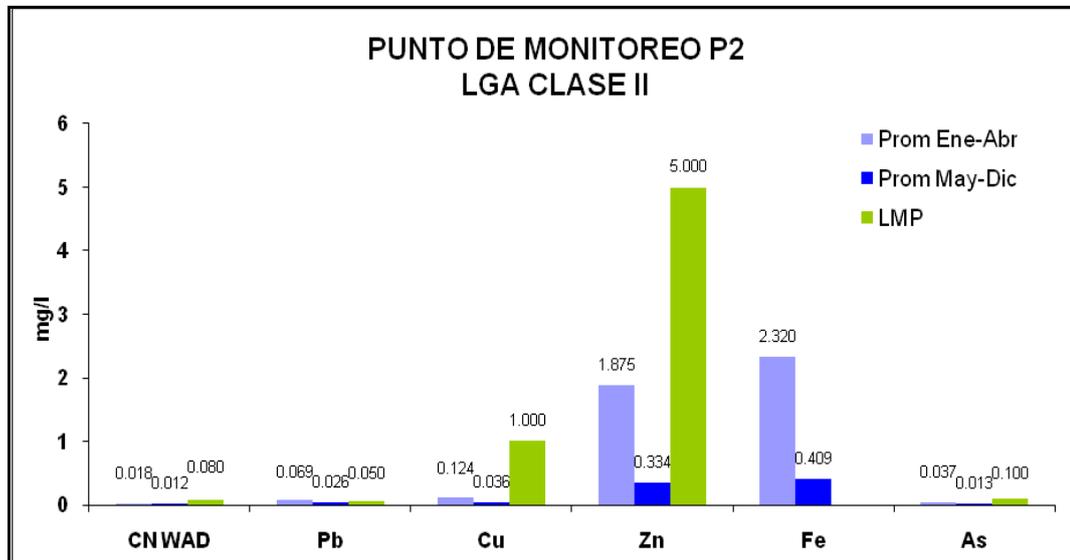
Gráfico N° 29. Estación de monitoreo P1 - 2007

Fuente: Unidad Minera

Cuadro N° 35 Estación de monitoreo P2 - 2007

Estación de Monitoreo P2						
	mg/l					
	CN WAD	Pb	Cu	Zn	Fe	As
Ene	<0.004	0.108	0.177	2.238		0.117
Feb	0.047	0.080	0.200	2.780		<0.010
Mar	<0.005	<0.020	0.080	1.700		<0.010
Abr	0.014		<0.040	0.780	2.320	<0.010
May	<0.005	<0.020	<0.040	0.190	0.110	<0.010
Jun	<0.005	<0.020	<0.040	0.170	0.270	<0.010
Jul	<0.040	0.040	<0.040	0.390	0.090	0.020
Ago	0.021	0.040	0.057	0.222	0.600	0.012
Sep	0.006	0.035	0.024	0.493	0.500	0.006
Oct	0.006	0.012	0.020	0.235	0.100	0.008
Nov	<0.005		0.048	0.364	1.500	0.031
Dic	<0.005	0.013	0.018	0.611	0.100	0.007
PROM MAY-DIC	0.012	0.026	0.036	0.334	0.409	0.013
LMP	0.080	0.050	1.000	5.000		0.100

Fuente: MINERALS OF LABORATORIES SRL (MINLAB) / SGS DEL PERÚ SAC

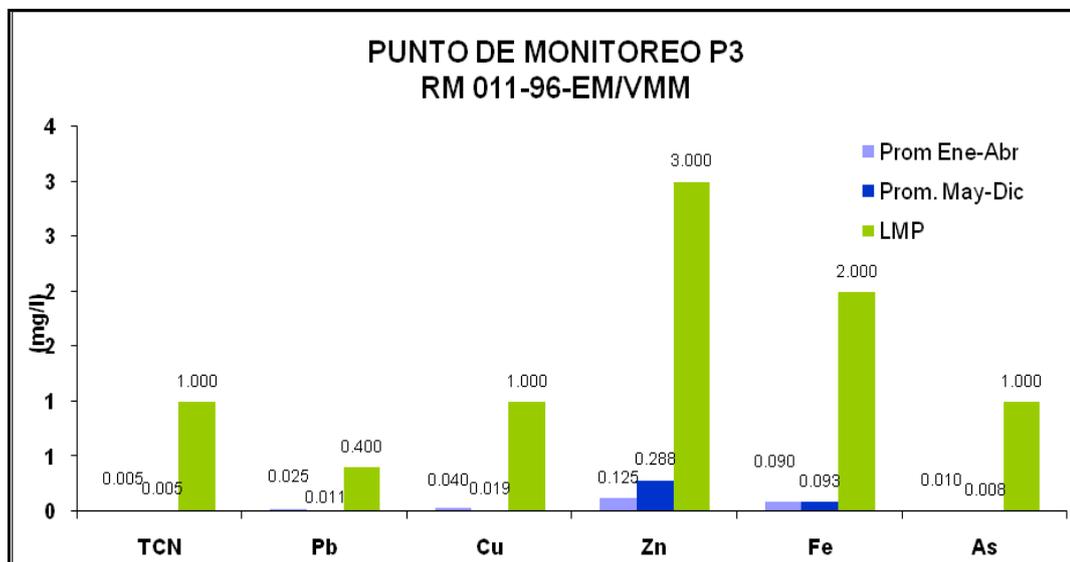
**Gráfico N° 30. Estación de monitoreo P2 - 2007**

Fuente: Unidad Minera

Cuadro N° 36 Estación de monitoreo P3 - 2007

Estación de Monitoreo P3						
	mg/l					
	TCN	Pb	Cu	Zn	Fe	As
Ene	<0.005	<0.020	<0.040	0.030	<0.090	<0.010
Feb	<0.005	0.040	<0.040	0.090	<0.090	<0.010
Mar	<0.005	<0.020	<0.040	0.080	<0.090	<0.010
Abr	<0.005	<0.020	<0.040	0.300	<0.090	<0.010
May	<0.005	<0.020	<0.040	0.950	<0.090	<0.010
Jun	<0.005	<0.020	<0.040	0.160	0.070	<0.010
Jul	<0.005	0.020	<0.040	0.160	<0.090	<0.010
Ago						
Sep	<0.005	<0.004	<0.003	0.105	<0.100	0.007
Oct	0.005	<0.004	0.007	0.140	<0.100	0.007
Nov	<0.005	<0.004	<0.003	0.260	<0.100	<0.005
Dic	<0.005	<0.004	<0.003	0.244	<0.100	0.006
PROM MAY-DIC	0.005	0.011	0.019	0.288	0.093	0.008
LMP	1.000	0.400	1.000	3.000	2.000	1.000

Fuente: MINERALS OF LABORATORIES SRL (MINLAB) / SGS DEL PERÚ SAC

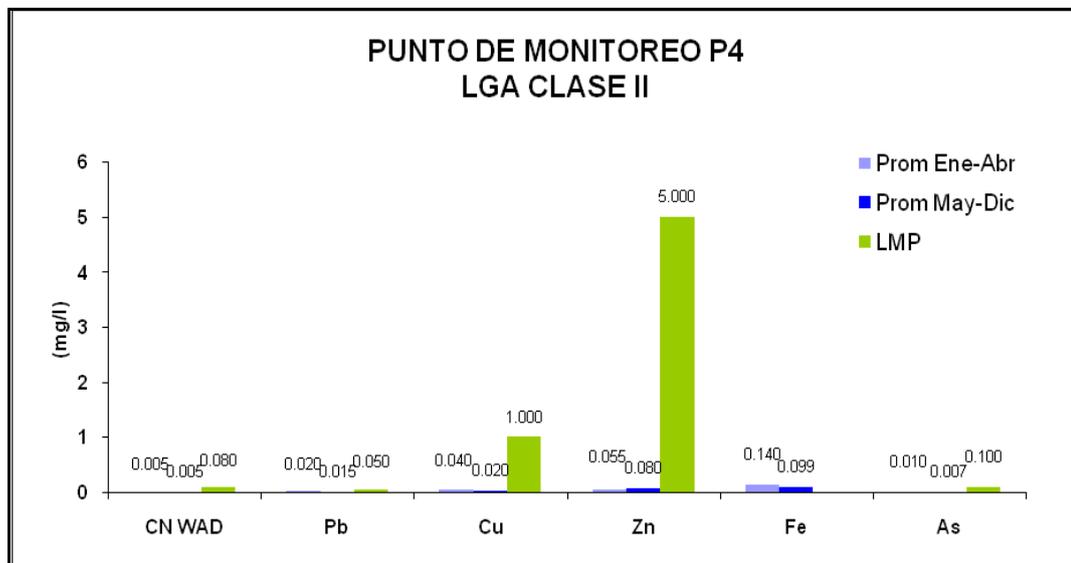
**Gráfico N° 31 Estación de monitoreo P3 - 2007**

Fuente: Unidad Minera

Cuadro N° 37 Estación de monitoreo P4 - 2007

Estación de Monitoreo P4						
	mg/l					
	CN WAD	Pb	Cu	Zn	Fe	As
Ene	<0.005	<0.020	<0.040	0.060		<0.010
Feb	<0.005	<0.020	<0.040	0.080		<0.010
Mar	<0.005	<0.020	<0.040	0.050		<0.010
Abr	<0.005	<0.020	<0.040	0.030	0.140	<0.010
May	<0.005	0.020	<0.040	0.030	<0.090	<0.010
Jun	<0.005	<0.020	<0.040	0.030	0.110	<0.010
Jul	<0.004	<0.020	<0.040	0.520	<0.090	<0.010
Ago	<0.005	<0.040	<0.030	0.008	<0.100	<0.005
Sep	<0.005	<0.004	<0.003	<0.005	<0.100	<0.005
Oct	0.005	<0.004	<0.003	0.028	<0.100	<0.005
Nov	<0.005	<0.004	<0.003	0.010	<0.100	<0.005
Dic	<0.005	<0.004	<0.003	0.006	<0.100	<0.005
PROM MAY-DIC	0.005	0.015	0.020	0.080	0.099	0.007
LMP	0.080	0.050	1.000	5.000		0.100

Fuente: MINERALS OF LABORATORIES SRL (MINLAB) / SGS DEL PERU SAC

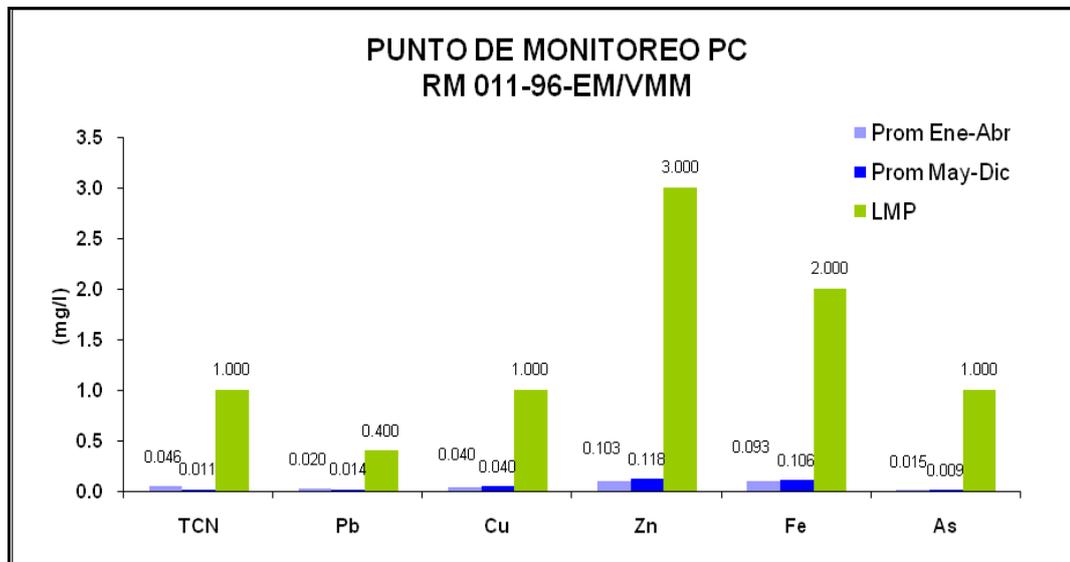
**Gráfico N° 32 Estación de monitoreo P4 - 2007**

Fuente: Unidad Minera

Cuadro N° 38 Estación de monitoreo PC - 2007

Estación de Monitoreo PC						
	mg/l					
	TCN	Pb	Cu	Zn	Fe	As
Ene	<0.004	<0.020	<0.040	0.090	0.090	<0.010
Feb	0.090	0.020	<0.040	0.100	<0.090	<0.010
Mar	0.084	<0.020	<0.040	0.100	<0.090	0.030
Abr	<0.005	<0.020	<0.040	0.120	0.100	<0.010
May	<0.005	<0.020	0.050	0.140	0.090	<0.010
Jun	<0.005	<0.020	<0.040	0.110	0.170	<0.010
Jul	<0.004	<0.020	<0.040	0.190	<0.090	<0.010
Ago	0.039	0.006	0.095	0.076	<0.100	0.011
Sep	0.022	<0.004	0.062	0.085	<0.100	0.008
Oct	0.006	0.013	0.023	0.096	<0.100	0.008
Nov	<0.005	0.020	<0.003	0.126	<0.100	0.007
Dic	0.005	0.011	0.008	0.120	<0.100	0.009
PROM MAY-DIC	0.011	0.014	0.040	0.118	0.106	0.009
LMP	1.000	0.400	1.000	3.000	2.000	1.000

Fuente: MINERALS OF LABORATORIES SRL (MINLAB) / SGS DEL PERÚ SAC

**Gráfico N° 33 Estación de monitoreo P4 - 2007**

Fuente: Unidad Minera

5.2.2. Análisis de los resultados

Calidad de Agua en Cuerpos Receptores. Estaciones de P1, P2 y P4

En cuanto a los metales en las estaciones ubicadas en cuerpos receptores, se puede apreciar que los valores promedio después de la implementación de Recirculación Total Del Efluente de La Planta Concentradora para P1 y P2 cumplen con los Límites Máximos Permisibles de la Ley General de Aguas clase II y además se evidencia el decremento de la concentración de todos los parámetros después de la implementación de la recirculación. El P4 no tiene influencia de las operaciones de la planta concentradora.

Calidad del Agua en Efluentes. Estación P3 y PC

Para el punto P3 se evidencia la buena calidad del agua cumpliendo con todos los parámetros de la norma vigente, la RM 011-96-EM. Este punto no tiene influencia de las operaciones de la planta concentradora. Del análisis de los resultados del punto PC se deduce que cumple con todos los parámetros de la norma vigente, la RM 011-96-EM y además que la concentración de TCN, plomo, cobre y arsénico disminuyen notablemente después de la implementación de la recirculación. Los parámetros Zn y Fe sufren una variación ligera (0.076 y 0.018 mg/l respectivamente) después de la recirculación.

CONCLUSIONES

6.1. Calidad del vertimiento industrial

El vertimiento industrial de la unidad minera corresponde únicamente al agua subterránea que, después de atravesar las zonas operativas en interior mina, se evacúa por la bocamina del nivel 3900 y recibe un tratamiento de floculación-sedimentación antes de verterse al Río Rímac. Este vertimiento cumple ampliamente la legislación sectorial vigente (RM 011-96-EM/VMM).

6.2. Preservación del Cuerpo Receptor

La implementación del proceso de RECIRCULACIÓN DEL EFLUENTE DE LA PLANTA CONCENTRADORA permitió evitar una descarga anual de 1 794 701 m³/año de efluente de la planta concentradora y, respecto al año 2006, liberar al cuerpo receptor principal de una carga anual de:

0.004 TM de Cu

0.176 TM de TCN

0.194 TM de Pb

0.018 TM As

6.3. Preservación del agua natural

La implementación del proceso de RECIRCULACIÓN DEL EFLUENTE DE LA PLANTA CONCENTRADORA nos permitirá prescindir del uso de 1 794 701 m³/año de agua fresca.

6.4. Eficiencia en el uso de insumos químicos

Los resultados de este proceso en la eficiencia de la planta concentradora se pudieron medir a los 30 días, resultando en un ahorro muy significativo de reactivos en el circuito de zinc (Sulfato de Zinc de 0.235 a 0.195 Kg./ton; Sulfato de cobre de 0.205 a 0.172 Kg./ton, F-70 de 0.031 a 0.021 Kg./ton, hidróxido de calcio de 0.402 a 0.373 Kg./ton, y Z-11 de 0.030 a 0.027 Kg./ton) sin afectar la performance del proceso. Esto representa un ahorro económico anual aproximado de 300 000 Nuevos Soles.

BIBLIOGRAFÍA

El conocimiento aplicado en este trabajo ha sido generado enteramente en la unidad minera mediante pruebas metalúrgicas a nivel de laboratorio con infraestructura y materiales propios así como sus respectivos análisis químicos en laboratorios propios y en algunos casos en entidades externas certificadas. Los resultados descritos de la operación del proceso corresponden a resultados reales obtenidos en la planta concentradora.

pH Neutralization in Industry – without sodium alkali. Faculty of Science, Engineering and Technology – Victoria University of Technology – Melbourne. Anyosa Joshi – Septiembre 2005.

Cinética de las Reacciones de Oxidación del Fe (II) en Aguas Residuales de la Industria Hidrometalúrgica. V.M. Sierra, J.E. Sánchez, A Gonzales, H.A. Etiene. Revista cubana de Química, Vol. X, N° 1-2, 1988

Remoción de Metales Pesados con carbón Activado como soporte de Biomasa. Erick Daniel Reyes Toriz, Felipe de Jesús Cerino Córdova, Martha Alicia Suárez Herrera. Ingeniería Química. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL). Ingenierías, Abril-Junio 2006, Vol IX, N° 31.

Manual Técnico del Agua. Barraque Ch. y *otros*. ed Degremont 1979.

http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/tratamientos_especificos.pdf

Remoción de Hierro y Manganeso por Aireación. Mazzei Injector Corporation. Boletín Técnico N° 2.

<http://www.mazzei.net/EspanolTech/Bulletins/ES-TB-02.PDF>

Remoción de Hierro y Manganeso en Fuentes de Agua subterránea para abastecimiento público. Martín Piña Soberanis, María de Lourdes Rivera Huerta y Antonio Ramírez González. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua.

http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo_04.pdf

<http://desastres.usac.edu.gt/documentos/pdf/spa/doc8196/doc8196-b1.pdf>

Capítulo II: Procesos Físicoquímicos que se Utilizan para el Tratamiento de Residuos Peligrosos.

<http://www.textoscientificos.com/quimica/carbon-activo>. 25/06/2006

Los Metales Pesados en las Aguas Residuales, José Aguado Alonso. El Agua de Madrid, Red Madrileña de Tratamientos Avanzados para Aguas Residuales con Contaminantes no Biodegradables (REMTAVARES). 2 de Febrero del 2008.

<http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2008/02/02/83698>

ANEXO I: NOMENCLATURA

Recirculación del efluente de la planta concentradora.- Proceso por el cual el efluente de la planta concentradora es retornado al ingreso del proceso de beneficio de minerales en la planta concentradora para ser reutilizado.

Vertimiento Industrial.- Descarga del efluente de la operación minera en el cuerpo receptor natural.

Rebose.- Efluente que se descarga por la parte superior del reactor que lo contiene.

Poza de contingencias.- Reactor que recibe de forma controlada las descargas del proceso en caso de producirse eventos no deseados.

Espesador.- Reactor cuya finalidad es la separación de la parte sólida y líquida de una pulpa.

Sedimentación.- Proceso en el cual las partículas suspendidas en un flujo de agua caen progresivamente por gravedad hacia el fondo del reactor o recipiente que atraviesa.

Planta Concentradora.- Conjunto de infraestructura y procesos en el cual se beneficia el mineral extraído de mina obteniendo como productos principales concentrados minerales y como residuos principales relaves y otros.

Depósito de relaves.- Lugar acondicionado de acuerdo a un diseño aprobado en el cual se disponen de forma permanente los residuos de la planta concentradora llamados relaves.

Floculación.- Proceso por el cual mediante una mezcla de una solución con sólidos suspendidos y un agente floculador se forman partículas más grandes a partir de la aglomeración de las más pequeñas, con la finalidad de propiciar su sedimentación y mejorar la calidad de la solución.

Clorinación.- Proceso de tratamiento de aguas en el que se le agrega una dosificación determinada de cloro para mejorar la calidad de la solución.

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

Estaciones de monitoreo de agua.- Ubicación definida de acuerdo a las normas vigentes en las cuales se realiza, con la frecuencia establecida, la toma de las muestras y las mediciones de los parámetros de campo de un cuerpo líquido.

Muestras puntuales.- Muestra aislada tomada en una estación de monitoreo.

Cuerpo receptor.- Cuerpo natural que recibe un vertimiento o emisión.

Estación de monitoreo aguas arriba.- Estación ubicada en una parte del cauce del río o canal, u otro, ubicada antes del contacto del flujo de agua con el punto de referencia.

Estación de monitoreo aguas abajo.- Estación ubicada en una parte del cauce del río o canal, u otro, ubicada después del contacto del flujo de agua con el punto de referencia.

EIA.- Estudio de Impacto Ambiental, estudio realizado antes del inicio de un proyecto y cuya aprobación por el estado peruano es requisito indispensable para el inicio del mismo.

Efluentes mineros.- Es cualquier flujo regular o estacional de sustancia líquida descargada a los cuerpos receptores, que proviene de:

- a) Cualquier labor, excavación o movimiento de tierras efectuado en el terreno cuyo propósito es el desarrollo de actividades mineras o actividades conexas, incluyendo exploración, explotación, beneficio, transporte y cierre de minas, así como campamentos, sistemas de abastecimiento de agua o energía, talleres, almacenes, vías de acceso de uso industrial (excepto de uso público), y otros;
- b) Cualquier planta de procesamiento de minerales, incluyendo procesos de trituración, molienda, flotación, separación gravimétrica, separación magnética, amalgamación, reducción, tostación, sinterización, fundición, refinación, lixiviación, extracción por solventes, electrodeposición y otros;
- c) Cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales asociado con actividades mineras o conexas, incluyendo plantas de tratamiento de efluentes mineros, efluentes industriales y efluentes domésticos;
- d) Cualquier depósito de residuos mineros, incluyendo depósitos de relaves, desmontes, escorias y otros;
- e) Cualquier infraestructura auxiliar relacionada con el desarrollo de actividades mineras; y,
- f) Cualquier combinación de los antes mencionados.

Impactos ambientales.- Cambios positivos o negativos en el ambiente producto de su interacción con los aspectos ambientales de cualquier industria, instalación, proceso y actividad humana o natural en general.

Calidad de agua.- Características del agua comparadas con un estándar legal.

LGA Clase III.- Calidad de agua establecida en el DECRETO SUPREMO N° 261-69-AP como *Agua para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales.*

LGA Clase II.- Calidad de agua establecida en el DECRETO SUPREMO N° 261-69-AP como *Agua de abastecimiento doméstico con tratamiento equivalente a procesos combinados de mezcla y coagulación, sedimentación, filtración y cloración aprobados por el Ministerio de Salud.*

RM 011-96-EM/VMM.- Resolución Ministerial del Ministerio de energía y Minas que aprueba los niveles máximos permisibles para efluentes líquidos minero metalúrgicos.

TCN.- Parámetro de medición de la calidad del agua que indica la concentración total de Cianuro en la solución.

mg/l.- Unidad de concentración descrita como *miligramo por litro.*

Límites Máximos Permisibles (LMP).- Medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al efluente líquido de actividades minero metalúrgicas, y que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el

Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el sistema de gestión ambiental.

Metales Totales.- Parámetro de medición de la calidad del agua que indica la concentración del metal evaluado en la solución que considera las fases iónica y sólida.

Metales Disueltos.- Parámetro de medición de la calidad del agua que indica la concentración del metal evaluado en la solución que considera sólo la fase iónica.

Caracterización del agua.- Determinación del valor de los parámetros de calidad de una solución.

Proceso de Flotación.- Proceso de separación selectiva de los metales de una pulpa por medio de burbujas, sobre las cuales se adsorbe el metal fino para subir a la superficie de la pulpa y ser extraído de ella.

Espejo de Agua.- Zona de acumulación del agua de la pulpa de relaves finos durante su deposición en el depósito de relaves.

Estándar de Planta Concentradora.- Óptimo procedimiento de beneficio de minerales determinado a nivel de laboratorio, y luego escalado a nivel industrial, cuyos resultados sirven de referencia para las mejoras o cambios a realizar y también para la comparación de los resultados operativos.



CHRISTIAN ENRIQUE DEXTRE CHICON

Ingeniero Metalurgista

Minería y Medio Ambiente

Sistemas Integrados de Gestión

Gerencia de Proyectos

CIP 85695

Tel: 99759 0851 / 99125 9968 / 436 3346

christian.dextrec@ciplima.org.pe

CURRICULUM VITAE

I.- EXPERIENCIA PROFESIONAL

FEBRERO 2009 A LA FECHA

GRUPO GLENCORE - EM LOS QUENUALES S.A. – UM CASAPALCA

JEFATURA DE GESTIÓN AMBIENTAL

FEBRERO 2005 – ENERO 2009

GRUPO GLENCORE - PERUBAR S.A. – UM CASAPALCA 7

JEFATURA DE GESTIÓN AMBIENTAL

DICIEMBRE 2002 – ENERO 2005

GRUPO GLENCORE - PERUBAR S.A. - DEPÓSITOS DE
CONCENTRADOS DEL CALLAO

JEFATURA DE SEGURIDAD, AMBIENTE Y SALUD

DICIEMBRE 2000 – JULIO 2002

CONSULCONT S.A.

INGENIERO DE PROYECTOS METALÚRGICO - AMBIENTALES

II.- ESTUDIOS DE POSTGRADO

MINERÍA Y MEDIO AMBIENTE

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA, 2004 – 2006

GERENCIA DE PROYECTOS BAJO EL ENFOQUE PMI
UNIVERSIDAD DE PIURA, 2011

SISTEMAS INTEGRADOS DE GESTIÓN EN SEGURIDAD, SALUD
OCUPACIONAL, MEDIO AMBIENTE Y CALIDAD.
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, 2007

III.- ESTUDIOS SUPERIORES

INGENIERÍA METALÚRGICA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
1994 – 1999

IV.- TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN Y OTROS:

“PROCESO DE NEUTRALIZACIÓN DINÁMICA CON RELAVES (NDR)”.
CONSULCONT S.A.

“PROCESO DE NEUTRALIZACIÓN Y COAGULACIÓN DINÁMICA (NCD)”
CONSULCONT S.A.

Co-autor del artículo técnico DYMANIC NEUTRALIZATION AND
COAGULATION (DNC) PROCESSES FOR EFFICIENT AND LOW COST
TREATMENT OF ACID MINING DRAINAGES.

METALLURGY, REFRACTORIES AND ENVIRONMENT, Proceedings of the
V. International Conference Metallurgy, Refractories and Environment - Stara
Lesna, High Tatras, Slovakia – May 13 to 16, 2002.

Co-autor de artículo técnico PROCESO DE COAGULACIÓN Y
NEUTRALIZACIÓN DINÁMICA (NCD)

Revista MINERÍA – INSTITUTO DE INGENIEROS DE MINAS DEL PERÚ –
MARZO 2002 – Pág. 24

V.- IDIOMAS e INFORMATICA:

Inglés, Nivel Intermedio

SAP, AUTOCAD, MS PROJECT, Microsoft Office.

VI.- CURSOS COMPLEMENTARIOS:

PEE Principios Económicos Aplicados a las Finanzas

ESAN. Septiembre – Noviembre, 2006

PEE Contabilidad Financiera Gerencial

ESAN. Marzo – Junio, 2006.

MATPEL Técnico Nivel III

Paragon Safety Technology. Marzo, 2006

Couching Course, Safety Management Training Course, Instructional Techniques in System, Workplace Inspections, Incident Investigation, ISO 14000 Awareness Course.

NOSA Certification Authority. 2002-2005

Estabilidad Química y Física de Relaves

Instituto de Ingenieros de Minas del Perú. Diciembre, 1999



CHRISTIAN ENRIQUE DEXTRE CHICON
Metallurgical Engineer
Mining and Environment
Integrated Management Systems
Project Management
CIP 85695

Telephones: 99759 0851 / 99125 9968 / 436 3346
christian.dextrec@ciplima.org.pe

CURRICULUM VITAE

I.- PROFESSIONAL EXPERIENCE

FEBRUARY 2009 - TODAY

GLENCORE GROUP – LOS QUENUALES MINING COMPANY - MU
CASAPALCA

HEAD OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

FEBRUARY 2005 – JANUARY 2009

GLENCORE GROUP - PERUBAR CORP. – MU CASAPALCA 7

HEAD OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

DECEMBER 2002 – JANUARY 2005

GLENCORE GROUP - PERUBAR CORP. – CALLAO CONCENTRATE
WEREHOUSE

HEAD OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

DECEMBER 2000 – JULY 2002

CONSULCONT CORP.

METALLURGICAL-ENVIRONMENTAL PROJECTS ENGINEER

II.- GRADUATE STUDIES

PROJECT MANAGEMENT APPROACH IN PMI

PIURA UNIVERSITY, 2011

INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEMS
PERUVIAN CATHOLIC UNIVERSITY, 2007

MINING AND ENVIRONMENT
NATIONAL ENGINEERING UNIVERSITY, 2004 – 2006

III.- HIGHER STUDIES

METALLURGICAL ENGINEERING
NATIONAL ENGINEERING UNIVERSITY
1994 – 1999

IV.- RESEARCH WORKS AND PAPERS

Dynamic Neutralization Process with Tailings
CONSULCONT Corp.

Dynamic Neutralization and Coagulation Process
CONSULCONT Corp.

Co-autor of DYNAMIC NEUTRALIZATION AND COAGULATION (DNC)
PROCESS FOR EFFICIENT AND LOW COST TREATMENT OF ACID
MINING DRAINAGES.

METALLURGY, REFRACTORIES AND ENVIRONMENT, Proceedings of the
V. International Conference Metallurgy, Refractories and Environment –
Stara Lesna, High Tatras, Slovakia – May 13 to 16, 2002.

Co-autor of DYNAMIC NEUTRALIZATION AND COAGULATION (DNC)
PROCESS – MINERÍA JOURNAL – PERUVIAN INSTITUTE OF MINING
ENGINEERS – MARCH 2002 – Pag. 24

V.- LANGUAGES and SOFTWARE:

English, Intermediate

SAP, AUTOCAD, MS PROJECT, Microsoft Office.

VI.- COMPLEMENTARY STUDIES:

Economic Principles Applied to Finance

ESAN. September – November, 2006

Financial Accounting Management

ESAN. March – June, 2006.

HAZMAT Technical Level III

Paragon Safety Technology. March, 2006

Couching Course, Safety Management Training Course, Instructional Techniques in System, Workplace Inspections, Incident Investigation, ISO 14000 Awareness Course

NOSA Certification Authority. 2002-2005

Chemical and physical stability of tailings

Peruvian Institute of Mining Engineers. December, 1999