

UCH-FC
Q.AMB
M 971
C.L



CARRERA DE QUÍMICA AMBIENTAL
ESCUELA DE CIENCIAS
FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

**“MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO EN LA
MINERÍA DEL COBRE**

**I. ANÁLISIS DE SUS FUENTES,
DISTRIBUCIÓN, USOS Y VALORACIÓN
AMBIENTAL EN LA DIVISIÓN ANDINA”**

Seminario de Título
entregado a la
Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile
para optar al título de

QUÍMICO AMBIENTAL

SANDRA CATALINA MUÑOZ PAVEZ

Director: Ingeniero Maritza Abarca Leiva.

Profesor Patrocinante: Doctor Raúl G.E. Morales Segura.

Mayo, 2000



DEDICATORIA

A quienes confiaron en mi trabajo y esperaron pacientemente que lograra ésta, una de mis primeras metas. En especial a mis padres por aguardar que madurara lentamente, y a mi querido hermano y la tía Elsa que me acompañaron sigilosamente. A Ti, por haberme escoltado durante esta etapa y enseñarme a incorporar a mi forma de ser... virtudes... que me hacen equilibrar parte de mis.... defectos.

Debo señalar que he aprendido que la vida esta llena de obstáculos y de grandes sorpresas, por lo que se debe caminar a paso firme frente a ella, sin olvidar que siempre habrá una estrella para acompañarnos. Una estrella que alumbraba cada uno de nuestros pasos, que nos da la fuerza para continuar, y nos conduce a trabajar para muchos más que para nosotros mismos.



AGRADECIMIENTOS

Luego de terminar, quisiera recordar y agradecer a mis profesores de la Facultad, por enseñarme a ver con claridad lo trascendental de cada problema y a saber como enfrentarlos. A ellos quisiera decirles que los respeto y admiro por su conocimiento y entrega a la ciencia y a la docencia.

Quisiera también mencionar mi gratitud a los profesionales de la Corporación Nacional del Cobre, especialmente a Don Santiago Torres por haberme dado la posibilidad de realizar este trabajo en la Gerencia de Medio Ambiente, y a Maritza Abarca por haber guiado mi trabajo y una importante parte de mi crecimiento como persona y profesional. Y finalmente agradezco a las personas de la División Andina que me recibieron en sus lugares de trabajo, y permitieron incorporarme a sus esfuerzos para el cumplimiento de sus compromisos ambientales.



ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	x
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1 ANTECEDENTES DIVISIONALES GENERALES	6
DESCRIPCIÓN GENERAL.....	6
PROYECTO DE EXPANSIÓN ANDINA.....	10
PROCESO PRODUCTIVO	13
Planta de Chancado.....	16
Planta de Molienda.....	18
Planta de Flotación Colectiva.....	20
Planta de Molibdenita.....	23
Planta de Filtros.....	24
Planta de Lixiviación.....	25
Planta de Tratamiento de Efluentes.....	27
CAPITULO 2 BALANCE GENERAL DE AGUA PARA EL PROCESO PRODUCTIVO	30
CONSUMOS DE AGUA DIVISIONAL (BALANCE DE AGUA).....	31
Base Teórica (balance de masa).....	33
DISPONIBILIDAD DEL RECURSO.....	46
Bocatomas y Derechos de agua existentes.....	46
Caudales disponibles en la cuenca	53
CAPITULO 3 CARACTERIZACIÓN DE DOS DESCARGAS PRODUCIDAS EN EL PROCESO	63
CAPITULO 4 ALTERNATIVAS DE MANEJO DEL RECURSO AGUA PARA EL CUMPLIMIENTO DE LAS DIRECTRICES CORPORATIVAS	91
TECNOLOGÍAS DE ABATIMIENTO DE CONTAMINANTES.....	93
RECIRCULACIÓN DE LAS AGUAS DEL PROCESO.....	98
FACTORES IMPORTANTES DE CONSIDERAR EN LA ELECCIÓN DE UNA ALTERNATIVA.....	103
Costos Soft	104
Costo Alternativo del Agua.....	114

CAPITULO 5 ESCENARIOS DE ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE MANEJO DE LA DESCARGA DE LA PLANTA OPERACIONES SUPERFICIE Y LA DISMINUCIÓN DE LOS CONSUMOS DE AGUA FRESCA A NIVEL DIVISIONAL 116

ESCENARIOS DE MANEJO.....	116
Escenario 1 "Recirculación parcial de la descarga de la POS".....	116
Escenario 2 "Recirculación total de la descarga de la POS dentro de ella y al CO"	131
Escenario 3 "Recirculación total de la descarga de la POS al CO"	133

CAPITULO 6 VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS DISTINTOS ESCENARIOS DE MANEJO DE LA DESCARGA DE LA PLANTA OPERACIONES SUPERFICIE Y LA DISMINUCIÓN DE LOS CONSUMOS DE AGUA DIVISIONALES.....140

ALTERNATIVA A: "Conservación de la Situación Actual"	142
ALTERNATIVA B: "Planta de Tratamiento de Efluentes"	143
ALTERNATIVA C: "Planta de Tratamiento de Efluentes + Recirculación parcial de la descarga de la Planta Operaciones Superficie + Aumento del porcentaje de sólidos en la línea de relaves".....	145
ALTERNATIVA D: "Planta de Tratamiento de Efluentes + Recirculación total de la descarga de la Planta Operaciones Superficie hasta el Concentrador + Aumento del porcentaje de sólidos en la línea de relaves"	148

DISCUSIÓN Y RECOMENDACIONES.....155

CONCLUSIÓN160

APÉNDICE I GLOSARIO163

APÉNDICE II MARCO LEGAL168

"CONSTITUCIÓN POLITICA DE LA REPÚBLICA DE CHILE".....	168
LEY N°19.300, "LEY DE BASES DEL MEDIO AMBIENTE".....	168
LEY N°3.133/1916, "NEUTRALIZACIÓN DE LOS RESIDUOS PROVENIENTES DE ESTABLECIMIENTOS INDUSTRIALES".....	169
DECRETO SUPREMO N°867/1978, DECLARA LA NORMA CHILENA OFICIAL NCH. 1.333, "REQUISITOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA DIFERENTES USOS"	170
LEY N°18.902/1990, "LEY DE LA SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS SANITARIOS".....	171

DECRETO CON FUERZA DE LEY N°1.122, "CÓDIGO DE AGUAS".....	171
DECRETO CON FUERZA DE LEY N°725/1967, "CÓDIGO SANITARIO".....	172
"NORMA TÉCNICA RELATIVA A DESCARGAS DE RESIDUOS INDUSTRIALES LÍQUIDOS DIRECTAMENTE A CURSOS Y MASAS DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS" (1992).....	173
"PROYECTO DE NORMA DE EMISIÓN PARA LA REGULACIÓN DE CONTAMINANTES ASOCIADOS A LAS DESCARGAS DE RESIDUOS LÍQUIDOS A AGUAS SUPERFICIALES".....	174
DECRETO SUPREMO N° 745/1992, DEL MINISTERIO DE SALUD. "REGLAMENTO SOBRE LAS CONDICIONES SANITARIAS Y AMBIENTALES MÍNIMAS DE TRABAJO".....	175
DECRETO SUPREMO N°351/1992, APRUEBA "REGLAMENTO PARA NEUTRALIZACIÓN Y DEPURACIÓN DE LOS RESIDUOS LÍQUIDOS INDUSTRIALES A QUE SE REFIERE LA LEY N° 3.133"	175
DECRETO CON FUERZA DE LEY N°1/1989, "DETERMINA MATERIAS QUE REQUIEREN AUTORIZACIÓN SANITARIA EXPRESA"	177
APÉNDICE III ANEXO FOTOGRÁFICO	178
Fotografía 1 "Explotación a cielo abierto - Mina Sur - Sur".....	178
Fotografía 2 "Vista Panorámica - Concentrador, Mina Subterránea Río Blanco".....	178
Fotografía 3 "Molino de Unitario - Concentrador".....	179
Fotografía 4 "Espesadores de Relaves N°2 - Concentrador"	179
Fotografía 5 "Tranque de Relaves Los Leones".....	180
Fotografía 6 "Canaleta de Relaves a Tranque Huechún".....	180
Fotografía 7 " Planta Operaciones Superficie ".....	181
Fotografía 8 "Pozo de Residencia N°1 - Planta Operaciones Superficie".....	181
Fotografía 9 "Bocatoma Nueva Blanco - Concentrador".....	182
Fotografía 10 "Laguna Turquesa - Concentrador"	182
Fotografía 11 "Descarga Aguas Claras - Tranque Los Leones".....	183
Fotografía 12 "Efluente Mixto - Planta Operaciones Superficie".....	183
BIBLIOGRAFÍA.....	184



ÍNDICE TABLAS

Tabla 1	"Requerimientos de consumos de agua para las distintas áreas productivas - División Andina".....	31
Tabla 2	"Agua asociada a las corrientes - Flotación Selectiva".....	39
Tabla 3	"Balance de aguas Flotación Selectiva".....	40
Tabla 4	"Consumo teórico total de agua por proceso y estanque específico".....	42
Tabla 5	"Porcentaje de Recirculación (%R), Razones de Recirculación (R.R) y Razón de Alimentación Total (R.A.T)".....	44
Tabla 6	"Bocatomas de agua Área Concentrador y Planta Operaciones Superficie".....	51
Tabla 7	"Derechos Consuntivos División Andina".....	52
Tabla 8	"Caudales disponibles de bocatomas existentes para el proceso productivo".....	58
Tabla 9	"Balance General de Aguas del Proceso – Área Concentrador y Planta Operaciones Superficie".....	59
Tabla 10	"Descargas principales de las Unidades de Producción de División Andina".....	65
Tabla 11	"Análisis del Cumplimiento de la Norma de RILes – Aguas Claras Tranque Los Leones".....	66
Tabla 12	"Eficiencia de Abatimiento en Planta de Tratamiento de Efluentes".....	68
Tabla 13	"Análisis del Cumplimiento de la Norma de RILes – Descarga Planta Operaciones Superficie".....	69
Tabla 14	"Análisis del Cumplimiento de la Normativa de RILes – Efluente Mixto".....	71
Tabla 15	"Monitoreo hidroquímico Salida evacuación Aguas Claras Tranque Los Leones".....	72
Tabla 16	"Monitoreo hidroquímico Descarga Planta Operaciones Superficie".....	76
Tabla 17	"Monitoreo hidrquímico Planta de Tratamiento de Aguas Servidas Saladillo".....	77
Tabla 18	"Monitoreo hidroquímico Efluente Mixto".....	78
Tabla 19	"Monitoreo hidroquímico estación 23 - Norma de Riego".....	86
Tabla 20	"Monitoreo hidroquímico estación 23-A - Norma de Riego".....	87
Tabla 21	"Determinación del Costo Soft".....	113
Tabla 22	" Monitoreo de sulfato - Planta Operaciones Superficie".....	120
Tabla 23	"Concentración de estabilización del sulfato según caudal de recirculación".....	125
Tabla 24	"Nivel de concentración de sulfato por ciclo".....	126
Tabla 25	" Resumen de consumos de agua divisional - Aplicación escenario N°1".....	130
Tabla 26	"Resumen de consumos de agua divisional - Aplicación escenario N°3".....	137
Tabla 27	"Evaluación económica Alternativa A - Conservación de la Situación Actual".....	143
Tabla 28	"Evaluación económica Alternativa B - Planta de Tratamiento de Efluentes".....	144
Tabla 29	"Evaluación económica Alternativa C - Planta de Tratamiento de Efluentes + Recirculación parcial de la descarga de la Planta Operaciones Superficie + Aumento del porcentaje de sólidos en la línea de relaves".....	147

Tabla 30	"Evaluación económica Alternativa D - Planta de Tratamiento de Efluentes + Recirculación total de la descarga de la Planta Operaciones Superficie hasta el Concentrador + Aumento del porcentaje de sólidos en la línea de relaves"	151
Tabla 31	"Evaluación económica Alternativa D - Planta de Tratamiento de Efluentes + Recirculación total de la descarga de la Planta Operaciones Superficie hasta el Concentrador + Aumento del porcentaje de sólidos en la línea de relaves, considerando el costo alternativo del agua"	152
Tabla 32	"Resumen de resultados de la evaluación económica"	153
Tabla 33	"Comparación entre alternativas de manejo"	153
Tabla 34	"Descargas y Efluentes de las Unidades de Producción de División Andina"	186
Tabla 35	"Monitoreo hidroquímico Fosa Séptica Sur-Sur"	202
Tabla 36	"Monitoreo hidroquímico Salida Túnel Sur – Sur"	202
Tabla 37	"Monitoreo hidroquímico Descarga Nivel 11"	202
Tabla 38	"Monitoreo hidroquímico Túnel Haulage I"	203
Tabla 39	"Monitoreo hidroquímico Halage II"	204
Tabla 40	"Monitoreo hidroquímico Aguas Servidas Hilton"	204
Tabla 41	"Monitoreo hidroquímico Fosa Séptica Rock Point"	204
Tabla 42	"Monitoreo hidroquímico Descarga Espesador N°2"	205
Tabla 43	"Monitoreo hidroquímico Fosa Séptica Lagunitas"	205

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1	"Mapa de ubicación - División Andina"	9
Figura 2	"Concepto Minero de Explotación con Proyecto de Expansión Andina"	12
Figura 3	"Representación de un sistema de recirculación"	35
Figura 4	"Balance de Agua Flotación Selectiva - Planta Área Superficie"	37
Figura 5	"Representación de bocatomas existentes - División Andina"	49
Figura 6	"Derechos de Aprovechamiento de Aguas en la División Andina"	50
Figura 7	"Descargas principales del proceso productivo - División Andina"	64
Figura 8	"Balance de sulfato - Planta de Molibdenita"	122
Figura 9	"Presentación del escenario N°1 de alternativas manejo del recurso hídrico"	129
Figura 10	"Presentación del escenario N°3 de alternativas manejo del recurso hídrico"	138
Figura 11	"Descargas y Efluentes División Andina"	185
Figura 12	"Planta de tratamiento de RILes; Naves de Mantención Sur-Sur"	190
Figura 13	"Planta de Tratamiento de Aguas Servidas; Naves de Mantención Sur-Sur"	191
Figura 14	"Planta de Tratamiento de Aguas Servidas Hilton"	195
Figura 15	"Planta de Tratamiento de Aguas Servidas Nivel 17"	196

ÍNDICE DIAGRAMAS DE FLUJO

Diagrama de Flujo 1	"Proceso Productivo con Proyecto de Expansión - División Andina".....	15
Diagrama de Flujo 2	"Balance Teórico de Agua Area Concentrador y Planta Operaciones Superficie - División Andina"	32
Diagrama de Flujo 3	"Balance de masa para la determinación de la concentración de estabilización del sulfato en un sistema de recirculación - Planta Operaciones Superficie".....	119
Diagrama de Flujo 4	"Simulación de la estabilización del sulfato en un sistema de recirculación - Planta Operaciones Superficie" (Escenario 1 - Descarga Parcial)	128
Diagrama de Flujo 5	"Simulación de la estabilización del sulfato en un sistema de recirculación - Planta Operaciones Superficie y Área Concentrador" (Escenario 3 - Descarga Cero).....	135

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1	"Ciclo anual de precipitaciones, mm" (últimos 25 años).....	54
Gráfico 2	"Ciclo anual de nieve caída, cm" (últimos 25 años).....	54
Gráfico 3	"Precipitación acumulada anual, mm" (últimos 25 años).....	55
Gráfico 4	"Nieve acumulada anual, cm" (últimos 25 años).....	55
Gráfico 5	"Balance global de agua del proceso productivo – Área Concentrador".....	61
Gráfico 6	"Balance global de agua del proceso productivo – Área Operaciones Superficie".....	61
Gráfico 7	"Cumplimiento Norma de RILes - Sólidos en Suspensión".....	81
Gráfico 8	"Cumplimiento Norma de RILes - Hierro total".....	81
Gráfico 9	"Cumplimiento Norma de RILes - Cobre total".....	82
Gráfico 10	"Cumplimiento Norma de RILes - Sulfuros".....	82
Gráfico 11	"Cumplimiento Norma de RILes - Col. Fecales".....	83
Gráfico 12	"Cumplimiento Norma de RILes - DBO ₅ ".....	83
Gráfico 13	"Cumplimiento Norma de RILes - Molibdeno total".....	84
Gráfico 14	"Cumplimiento Norma de RILes - pH".....	84
Gráfico 15	"Cumplimiento Norma de Riego - Manganeso y Molibdeno (d) (Estación 23)".....	89
Gráfico 16	"Cumplimiento Norma de Riego - Sulfatos (Estación 23 y 23A)".....	89
Gráfico 17	"Cumplimiento Norma de Riego Cu y Mn (d) (Estación 23A)".....	90
Gráfico 18	"Cumplimiento Norma de Riego - Mo (d) (Estación 23A)".....	90
Gráfico 19	"Representación de la estabilización del sulfato en el circuito de recirculación"	126
Gráfico 20	"Cumplimiento Norma de RILes - Sólidos en Suspensión"	199
Gráfico 21	"Cumplimiento Norma de RILes - Sulfatos".....	200
Gráfico 22	"Cumplimiento Norma de RILes - Hierro total".....	200
Gráfico 23	"Cumplimiento Norma de RILes - Cobre total"	201
Gráfico 23	"Cumplimiento Norma de RILes - pH"	201

RESUMEN

El agua es el principal elemento de la vida, fuente de energía importante de la naturaleza y uno de los recursos naturales más valiosos para el desarrollo de todas las actividades desarrolladas por el hombre. Dentro de esto, están los procesos mineros, los que a pesar de ser motor de beneficios económicos para nuestro país, tienen demandas del recurso que deben ser conjugadas con su disponibilidad. Pero, considerando que la oferta del recurso hídrico ha disminuido, la Corporación Nacional del Cobre - Codelco, ha establecido claras directrices para el manejo de éste. Entre ellas se encuentran la disminución de los consumos de agua fresca, la no sobre-explotación de las fuentes de agua existentes, y la disminución de la generación de residuos e impactos.

En este trabajo se evaluó el cumplimiento de estas directrices corporativas en la División Andina, debido a que en ella se implementó desde 1995 una expansión progresiva en el nivel de tratamiento diario de mineral seco, desde 33.000 toneladas hasta un nivel actual y final de 64.000 toneladas. Tal expansión generó un aumento de los consumos de agua fresca, lo cual fue estudiado junto con la calidad y caudal de los residuos líquidos generados, con la finalidad de tener herramientas e información actualizada, para proponer alternativas de manejo de mejoramiento del uso este recurso en el proceso productivo, considerando los factores ambiental, social y económico.

Primero se visualizó la situación actual, en cuanto al manejo del recurso hídrico y la caracterización de los RILes más importantes del proceso. Y luego se analizaron dos alternativas de manejo del recurso; la primera correspondió a las **tecnologías de abatimiento de los contaminantes** y la segunda a la **recirculación de las aguas del proceso**. El estudio se finalizó con la aplicación de distintos escenarios, evaluados técnica y económicamente.

La situación actual del manejo del recurso, se visualizó considerando las necesidades y la disponibilidad de agua en la cuenca del Río Blanco, lugar donde están instaladas las faenas. Las necesidades del recurso para el proceso productivo, se obtuvo por la realización de un balance teórico y dinámico de aguas del proceso productivo que consideró el escenario expandido. De este balance, se obtuvo consumos divisionales¹ reales de agua de aproximadamente 782 l/s, y un nivel de recirculación de las aguas del proceso de 55,6%. Con esto, y considerando el nivel de extracción de mineral, más antecedentes bibliográficos referente a las otras Divisiones de Codelco, la razón de agua consumida/nivel de tratamiento nos da una idea comparativa de la eficiencia del uso del recurso hídrico en ella, según los siguientes resultados:

- ◆ División Andina: 0,94 metros cúbicos de agua por tonelada métrica de mineral seco (m^3/t); División Chuquicamata: 0,55 (m^3/t); División Salvador: 1,70 (m^3/t); División Teniente: 0,93 (m^3/t).

Lo anterior indica que la escasez de agua ha llevado a la optimización del uso del recurso, y División Andina se encuentra en un buen pie frente a sus pares. Pero los resultados anteriores, no necesariamente dan una idea final de la situación, pues cada región tiene una disponibilidad distinta del recurso. Esto último, fue evaluado en la División Andina considerando los caudales de los ríos que aportan el recurso para la ejecución de las faenas y la cantidad de derechos de aprovechamiento de agua.

Los resultados indicaron que la División Andina debe establecer planes de manejo por áreas, debiendo en el Área Concentrador, apuntar a la disminución de los consumos de agua para asegurar la satisfacción de las necesidades desde derechos de tipo consuntivos de agua, y para evitar su extracción desde lagunas naturales, mejorando con ello la conservación del

¹ Consumos de Agua del Área Concentrador y Planta Operaciones Superficie.

patrimonio ambiental. En el Área Operaciones Superficie por otro lado, la disponibilidad tanto de derechos de aprovechamiento de agua no consuntivos como de caudales estimados es suficiente para los requerimientos calculados, pero es fundamental el control de la calidad de los RILes generados, pues ésta debe ser mejorada para garantizar una menor degradación e impacto ambiental a la cuenca del Río Blanco por la evacuación de estas descargas en ella.

El análisis de los dos RILes oficiales del proceso, las **Aguas Claras del Tranque Los Leones** y el **Efluente Mixto**, determinó que se justifica establecer un plan de abatimiento de contaminantes para la segunda descarga, el efluente mixto, ya que sobrepasa la **“Norma Técnica Relativa a Descargas de Residuos Industriales Líquidos Directamente a Cursos y Masas de Aguas Superficiales y Subterráneas (1992)”** y el **“Proyecto de Norma de Emisiones para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Superficiales”**, en cuanto a sólidos en suspensión, pH, cobre, hierro, molibdeno total, y sulfuros.

Finalmente, de modo general se puede establecer que los planes de mejoramiento del manejo del recurso hídrico deben incluir las alternativas analizadas en forma conjunta, es decir deben incorporar un abatimiento de los contaminantes de los RILes previo a su recirculación al proceso. Lo anterior se plantea, ya que con ello se logra la disminución de los consumos de agua y de la generación de residuos e impactos, y además hace cumplir a las aguas a recircular, con los requerimientos físicoquímicos de entrada a las operaciones.

INTRODUCCIÓN

El agua es imprescindible para la existencia de la vida, y un requerimiento fundamental para todas las actividades humanas que nutren de trabajo y beneficios a la sociedad, por lo que su alta demanda es una realidad. Estas actividades productivas, tienen requerimientos del recurso que deben estar regulados con su disponibilidad en la región donde se desarrolla, y ésta, al venir disminuyendo desde hace largo tiempo, debido al crecimiento exponencial de la población y el consecuente incremento de la productividad industrial y agrícola, a la heterogeneidad de su distribución, y a la falta de conciencia y educación ambiental por la importancia de este preciado bien, ha generado un clima de conflicto encerrada en una creciente protección medioambiental. Es por ello, que la mayoría de los sectores productivos han comenzado a tomar medidas para mejorar el manejo de este recurso, las que están orientadas a la **reducción de consumos**, y al desarrollo de **tratamientos depurativos** del agua usada en procesos productivos contaminantes. Estas medidas traen un beneficio directo al ecosistema comprometido, disminuyendo las alteraciones, y permitiendo que el recurso pueda ser nuevamente utilizado.

El sector minero, principal base económica para nuestro país, no ha estado ajeno a esta situación, más aún considerando que sus altas productivas tienen relación directa con la demanda hídrica que éste genera. Es por ello, que en la gestión ambiental de la **Corporación Nacional del Cobre – Codelco** se incluye una política que involucra a toda su línea decisional, estableciendo en ella, directrices relacionadas con la reducción del consumo de los recursos agua y energía, la reducción de la generación de residuos e impactos, y la prevención de riesgos ambientales en las operaciones.

La reducción de los **niveles de consumo de agua** y de la **generación de residuos e impactos** son puntos interesantes de destacar, pues ellos involucran establecer programas especiales de manejo para lograrlos de manera efectiva. Estos programas deben incluir la identificación de nuevas fuentes de recursos hídricos, no sobre-explotar aquellas actualmente en uso, disminuir al máximo los consumos de agua fresca, y mantener una adecuada calidad de los RILes generados, de manera de lograr una adecuada relación con el medio circundante.

La reducción de los niveles de consumo de agua, ha involucrado un sinnúmero de acciones en cada una de las Divisiones de Codelco. Es así como en la División Chuquicamata, en donde se tiene por características climáticas e hidrológicas el mayor problema del recurso, se lleva la delantera en cuanto al ahorro, alcanzando razones de recirculación de las aguas del proceso del 80%. A su vez, y aún cuando el resto de las Divisiones se encuentran en regiones con características distintas, donde la disponibilidad del recurso va en aumento de norte a sur, se han desarrollado políticas y programas adecuados para tales objetivos. Respecto a lo anterior, y específicamente en la División Andina, existen Programas de Control y Manejo especiales para enfrentar las condiciones que se presentarán en el nuevo milenio.

Para lograr un mayor entendimiento de este último caso, se debe considerar que las instalaciones de la División Andina se encuentran en la Cuenca del Río Blanco en la Quinta Región de Chile. Este río recibe los aportes de los Ríos Castro, Barriga, Morado, Los Leones, y Polvareda entre otros, los que sirven de bocatoma del recurso para la satisfacción del consumo de agua del proceso que demanda el nivel productivo actual. Este nivel corresponde al establecido por el **Proyecto de Expansión Andina**, aprobado en 1995 por el Directorio de Codelco, el cual implicó una expansión progresiva en el nivel de tratamiento de mineral seco, desde 33.000 toneladas métricas al día (t/d) hasta

un nivel actual y final de 64.000 (t/d). Además, se debe destacar que el Río Blanco amortigua gran parte los efluentes producidos por el proceso de beneficio, y al ser tributario del Río Aconcagua junto al Río Juncal, es de vital importancia el buen manejo del recurso agua y la implementación de sistemas de depuración y/o tratamiento de las aguas ocupadas que vuelven al cauce. Estos tratamientos, deben apuntar al cumplimiento de la normativa vigente y a una mejoría en los patrones medioambientales de las zonas directamente afectadas, sin olvidar que este recurso es necesario para el desarrollo normal de las actividades desarrolladas aguas abajo de las instalaciones. Así, es de gran importancia tratar y estudiar este tema en la División Andina, para lograr consecuencia con las directrices comentadas.

En este trabajo de Seminario de Título, se analizan dos alternativas para enfrentar el caso en que se encuentra la División Andina. Estas son la **recirculación de las aguas del proceso** y las **tecnologías de abatimiento de contaminantes**, las que fueron abordadas de manera conjunta. La complementariedad mencionada, se plantea debido a que la ejecución de un abatimiento de contaminantes de los RILes del proceso previo a su recirculación al mismo, permite que: se disminuyan los impactos al medioambiente, el agua a recircular cumpla con los requerimientos físicoquímicos de entrada a los procesos de beneficio sin causar problemas metalúrgicos en el circuito, y se disminuyan los consumos del recurso a nivel Divisional. Pero implementar una acción conjunta es un tanto complejo, y la elección de un escenario que incluya un aporte adecuado de cada una, debe considerar algunos factores para un equilibrio conveniente. Entre estos factores son importantes: la disponibilidad del recurso en la cuenca, los derechos de aprovechamiento designados de tipo consuntivo, la caracterización físicoquímica de los efluentes producidos y los requerimientos de los procesos si se desea considerar una posible reutilización o recirculación de éstos. A los anteriores, se deben agregar factores que generalmente son olvidados, y que

son importantes debido a que cualquier proyecto o modificación a un sistema, debe ser evaluado inevitablemente equilibrando los beneficios con los costos. Y la consideración de un sistema de tratamiento sin la implementación posterior de planes que lleven a una desaparición de los RILes por recirculación, debe incluir en su evaluación económica los “**Costo Soft**”, los cuales apuntan a la determinación de los gastos Divisionales por la evacuación de un RIL sea cual sea su calidad. Lo anterior se fundamenta en que la existencia de una descarga del proceso trae gastos sorpresivos no despreciables a la División, producto de la presión social, los nuevos conceptos medioambientales y normativos, y por los antecedentes históricos de conflicto del RIL. Cada uno de estos costos, deben ser evaluados para la toma de decisiones oportunas y óptimas, y/o al menos, tenerlos de antecedente ya que no desaparecerán fácilmente, aún cuando las descargas conflictivas sean manejadas posteriormente con tratamientos depurativos adecuados, logrando ser no agresivos al medioambiente.

La alternativa de disminución del consumo del agua por recirculación, posterior a un tratamiento previo, trae un beneficio tanto para la población circundante y de aguas abajo, como para la División Andina. Esto puede entenderse por varias razones, la primera es un beneficio social directo debido a una disminución en la degradación del medio ambiente y una mayor conservación del patrimonio ambiental. Esto se da por el descenso del consumo de agua fresca en las operaciones, y la disminución hasta límites permitidos de los parámetros fisicoquímicos normados y de aquellos que afecten los patrones normales de la cuenca. La segunda razón explica el beneficio Divisional, y puede entenderse si se considera que estas acciones mejoran la imagen pública de la empresa, disminuyendo la presión y por ende decreciendo los costos soft anteriormente mencionados. Este último beneficio, se fortalece aún más si se ve al agua como un “**recurso escaso**”, donde éste toma una valoración monetaria frente a un mercado competitivo, traduciéndose el no

consumo en un beneficio económico. Dentro de este último punto, se cree que una valoración del recurso en estos momentos es un poco anticipada, pues el mercado en esta zona cordillerana es aún emergente y están relativamente disponibles las fuentes de agua. Pero este factor no debe ser olvidado, pues su consideración al corto plazo puede significar un anticipo para tener una posición favorable en los futuros escenarios a que nuestra agua estará sometida, y que sin duda podría llegar a cambiar en una dirección diferente las adecuadas decisiones que la División Andina debe tomar.

Con los antecedentes expuestos anteriormente, se realizó un análisis técnico-económico comparativo de alternativas de manejo del recurso hídrico. Esto tiene el objetivo de presentar las herramientas y analizar los distintos factores que se deben considerar, para la elección de la mejor opción o mejores planes de optimización del uso recurso hídrico en el proceso productivo, en un marco de factibilidad ambiental, social y económico. El tema se desarrolló presentando en primer lugar los antecedentes generales Divisionales para un mejor entendimiento de la situación, seguido de un balance teórico de aguas del proceso productivo para conocer el manejo actual del recurso, considerando consumos y disponibilidad de agua. Luego se presentan los efluentes y las descargas producidas por el proceso, para conocer las desviaciones de los parámetros fisicoquímicos con respecto a la normativa vigente, y conocer los requerimientos generales del tratamiento que debe efectuarse. Lo anterior junto con la determinación de los costos soft, correspondiente a la evacuación de un RIL históricamente conflictivo y agresivo al medio ambiente, obtenido por relación directa de casos reales (incidentes) ocurridos durante los últimos años en la División, y el costo alternativo del agua, sirvió para proponer y evaluar distintos escenarios que implican una disminución de los porcentajes de agua fresca consumida a nivel Divisional. Estos escenarios fueron comparados para la elección del más conveniente, un poco más real, y/o para que en un futuro próximo, ojalá no tan lejano, algunos de estos factores sean considerados.

CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES DIVISIONALES GENERALES



Foto 1 “Presentación División Andina - Camino a Concentrador”

DESCRIPCIÓN GENERAL

El Yacimiento Río Blanco fue reconocido desde fines del siglo XIX, con las primeras explotaciones. Desde 1920 existieron intentos por desarrollarlo y ponerlo en producción. Y entre 1930 y 1937 varias compañías se interesaron. Pero no fue hasta el año 1966 que éste fue fundada como Filial del Cerro Corporación, en la que el estado de Chile mantuvo el 30% de la propiedad. Luego, en 1971, fue nacionalizada para pasar más tarde (1976) a ser parte de las Divisiones Operativas de Codelco con el nombre de División Andina, y desde entonces es capaz de producir Concentrados de Cobre y de Molibdeno de alta calidad.

Las faenas de extracción y beneficio del mineral se encuentran ubicadas en la V Región de Chile, a 38 km. de Los Andes y a 80 km. al Nordeste de Santiago, en la Cordillera de los Andes entre 1.500 y 4.200 metros sobre el nivel del mar. (msnm) (**Figura 1 “Mapa de ubicación - División Andina”**)

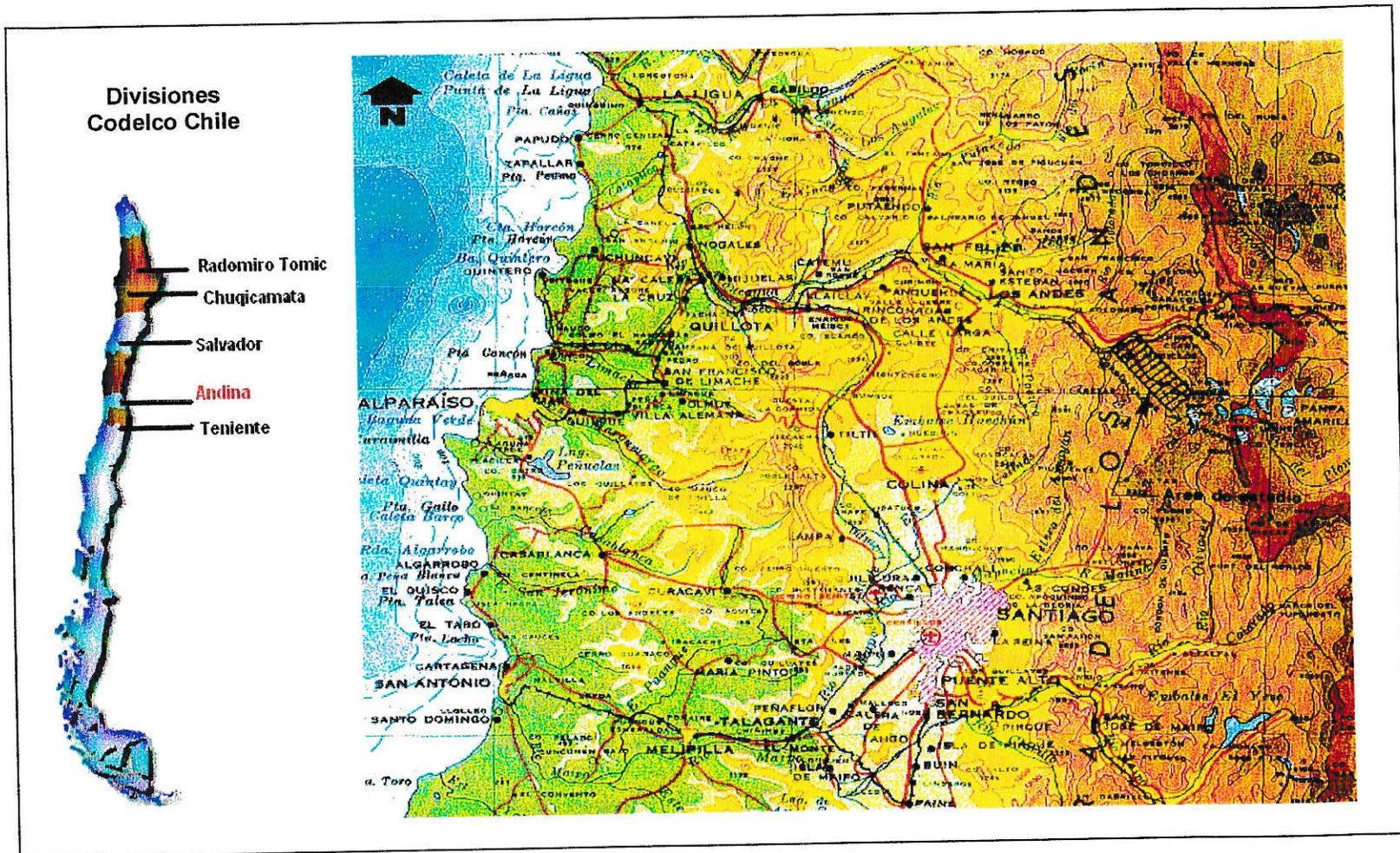
El clima donde realiza sus operaciones es típico de Alta Cordillera, con precipitaciones principalmente de nieve entre abril y octubre, siendo más escasas entre noviembre y marzo. Las temperaturas ambientales medias son moderadas en las estaciones de primavera - verano y bajas en otoño - invierno, siendo la media anual de 6,4°C producto de una oscilación entre los (23-13)°C. Además, es característico de la zona una humedad relativa promedio de 46% y vientos predominantes Noroeste - Sureste.

El Yacimiento Río Blanco es clasificado geológicamente como pórfido cuprífero, donde se destacan los sectores central e interno caracterizado por la presencia de calcopirita-bornita, y el superior donde existen chimeneas de rocas fragmentadas con altas concentraciones de calcopirita y menor proporción de calcosina-covelina. Su explotación se basa en 1.910 millones de toneladas en reservas totales con una ley promedio de 0,8% de cobre, de las cuales 583 millones poseen una ley promedio de cobre del 1,3% que se encuentran contempladas en el plan minero para los próximos 25 años. Su extracción se realiza mediante un sistema mixto, que contempla minería a cielo abierto en la Mina Sur-Sur/Don Luis y minería subterránea en la Mina Río Blanco. En ambas minas el mineral es de tipo sulfurado, el que una vez extraído es trasladado al proceso de concentración que se encuentra ubicado en las cavernas de la Mina Subterránea. Tal ubicación se debe a que la zona no permite la existencia de lugares despejados y seguros, por la alta frecuencia de avalanchas y mal tiempo.

La producción de la División en 1998 fue de 163.998 y 1.622 toneladas métricas (t/a) finas de Cobre y Molibdeno respectivamente. Este nivel se logra con la refinación de un concentrado de cobre y molibdeno, producido luego de un sinnúmero de operaciones que requieren entre sus insumos, una importante y no despreciable cantidad de agua. Es por esto, que la División tiene diversos

puntos de captación del recurso, entre los cuales se encuentran las bocatomas Morado, Barriga, Blanco y Castro, además de las existentes en los embalses Turquesa y La Ventana, y la Laguna Barroso.

Figura 1 “Mapa de ubicación - División Andina”



PROYECTO DE EXPANSIÓN ANDINA

El proyecto de Expansión Andina basado en la magnitud de los recursos mineros existentes, en su producción de concentrados de cobre con bajos niveles de impurezas, como plomo y arsénico entre otros factores, se planificó en los años 80. Esta planificación que implicó el análisis de todas las Operaciones Unitarias del área Mina, además de la Planta de Relaves, del Suministro de Agua y Energía Eléctrica, y de la Infraestructura, terminó por desarrollar en 1990 una Ingeniería Conceptual para alcanzar un alto ritmo de tratamiento. Desde entonces el proyecto logró un mayor desarrollo, para ser aprobado en 1995 por el Directorio de Codelco, con una inversión de 322 millones de dólares. El compromiso del proyecto fue aumentar la producción de Cobre y Molibdeno fino en aproximadamente 111.000 y 1.450 toneladas métricas respectivamente como promedio anual (t/a), por lo cual se incrementó progresivamente el nivel de tratamiento de mineral seco desde 33.000 toneladas métricas diarias (t/d) hasta un nivel actual y final de 64.000 (t/d). Para permitir lo anterior, necesariamente se elevó la explotación a rajo abierto (Sur-Sur/Don Luis) con el fin de alcanzar una capacidad promedio de tratamiento de 20 mil (t/d) de mineral seco. La Mina Subterránea por su parte, para aumentar su capacidad de extracción a 44 mil (t/d) de mineral desde su III Panel, agrandó el espacio en las cavernas para incorporar nuevos sistemas de traspaso, chancadores, molinos, celdas de flotación, y sistemas de extracción de aire entre otras cosas. (**Figura 2 “Concepto Minero de Explotación con Proyecto de Expansión Andina”**)

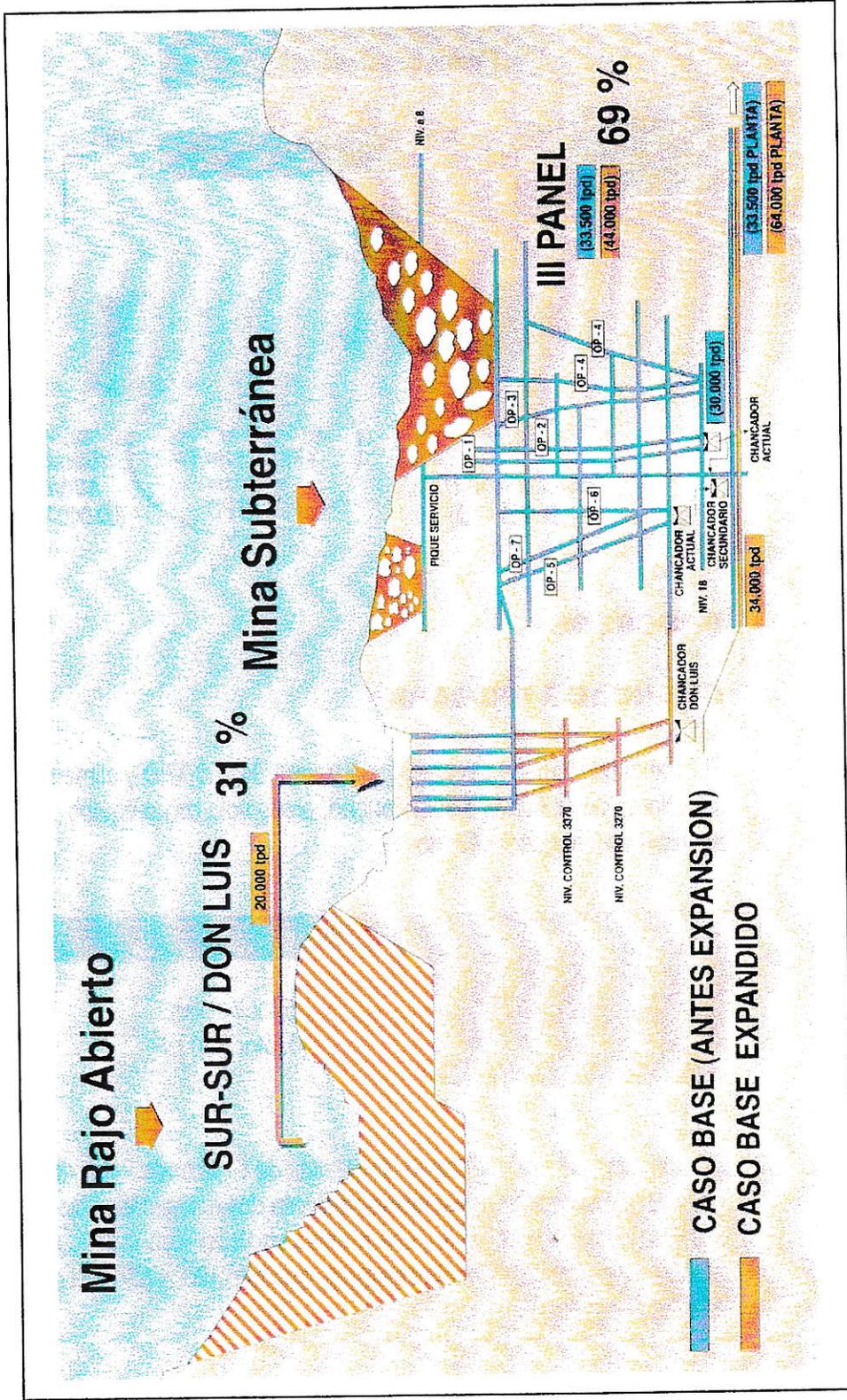
Una inversión como la anteriormente descrita, trae inevitablemente un incremento en el **consumo de agua** y en la **generación de residuos**, tomando de este modo, gran relevancia el adecuado manejo de estos factores para evitar un deterioro medioambiental no previsto. Hasta la actualidad se han realizado

estudios para analizar estos factores, como por ejemplo sobre el **suministro de agua**. Ellos dieron pie a la realización de nuevas bocatomas y a la instalación de nuevas tuberías desde los puntos de captación existentes, contando con derechos de aprovechamiento de agua suficientes y en regla. En cuanto a la **generación de residuos**, se construyó la última etapa del **Tranque de Relaves Los Leones** que terminó el recibimiento de relaves en 1999 y el **Tranque de Relaves Ovejería** ubicado en **Rinconada de Huechún**, que permitirá embalsar segura y permanentemente los relaves originados por la División Andina en su vida útil, desde el cierre de Los Leones. Finalmente, dentro de este punto también existen estudios que involucran el **Tratamiento del Efluente Oficial** del proceso de la Planta Operaciones Superficie, el Efluente Mixto¹.

Las acciones inmediatamente anteriores buscan alcanzar una mejor relación con el medio ambiente, soportándose sobre una de las directrices Divisionales y corporativas de Codelco como es la **reducción de la generación de impactos**, pero además, a lo anterior es importante la incorporación de nuevos planes a los ya existentes en cuanto a la “**reducción de los consumos de agua**”, y así tener un logro aún más trascendente.

¹ Efluente Mixto: 2° RIL Oficial de División Andina, caracterizado en el Capítulo 3 del presente trabajo.

Figura 2 "Concepto Minero de Explotación con Proyecto de Expansión Andina"



PROCESO PRODUCTIVO

Las diferentes actividades de la División Andina se realizan a través del valle del Río Blanco, en aproximadamente 30 km. Las faenas Divisionales pueden describirse en tres áreas generales; Mina, Concentrador y Planta Operaciones Superficie. El **Área Mina** incluye dos puntos de extracción, la **Mina Subterránea Río Blanco (III Panel)** que esta ubicada a 36 km. de Saladillo, aproximadamente a 3.000 msnm. Ella se explota, por el **Método de Hundimiento por Bloques** con las variantes de extracción convencional (parrillas) y mecanizada L.H.D. (Load Haul Dump/Carga Transporte Descarga). Este sistema involucra el hundimiento sistemático de unidades pequeñas de mineral, realizando un traspaso vertical que aprovecha la fuerza de gravedad y un traspaso horizontal por medio de camiones, cargadores frontales, y correas transportadoras de hasta 5,0 km. Estas correas llevan el mineral hacia cavernas subterráneas de grandes dimensiones, donde comienza su tratamiento de concentración. Subiendo 2 km. al Sur, se encuentra en el valle del Río Blanco (a 4.200 msnm), el segundo punto de extracción, la **Mina a Cielo Abierto Sur-Sur/Don Luis**, la que es explotada por el **Método de Extracción por Bancos** que incluye perforación, tronadura, carguío y transporte. Este último se realiza usando cargadores frontales, palas hidráulicas y camiones de gran capacidad, para llevar el mineral hasta una cavidad en la Mina Subterránea y el estéril, hacia botaderos cercanos al rajo.

Las instalaciones para el proceso de concentración, se encuentran en las restantes dos áreas:

- ♦ **Área Concentrador:** ubicada cercana al campamento Hilton a aproximadamente 3.000 msnm, posee las Plantas de Chancado, Molienda y Flotación Colectiva (con sus variantes Rougher o Primaria,

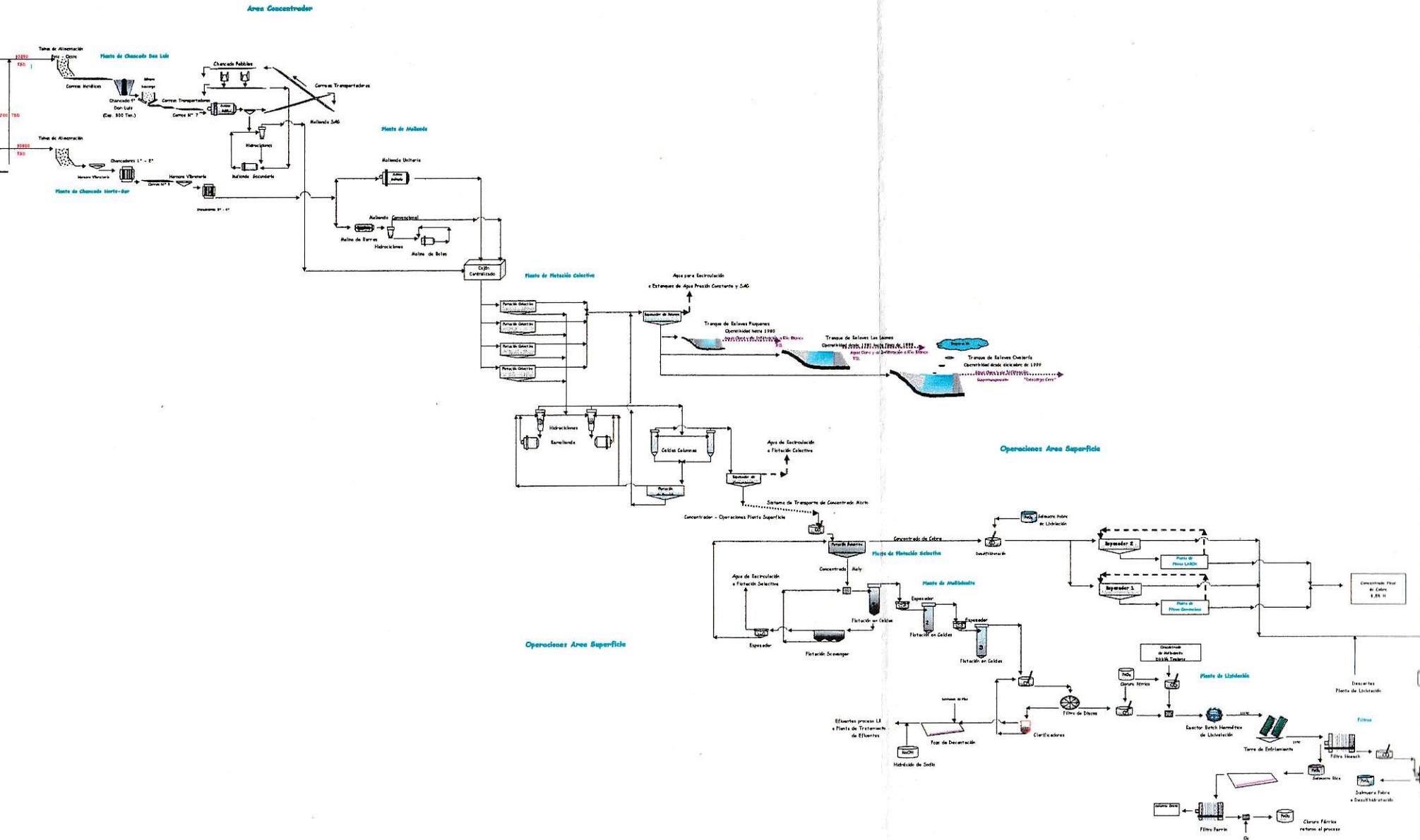
Limpieza y Scavenger.

- ◆ **Planta Operaciones Superficie:** ubicada en Saladillo a aproximadamente 1.550 msnm, posee las Plantas de Flotación Selectiva o de Molibdenita y Filtros, e incluye además, las unidades de Lixiviación, Tratamiento de Efluentes, Estación Disipadora de Energía, Estanque de Desulfhidratación, y Espesadores de Concentrado. El tratamiento de los efluentes del proceso del área, sólo incorpora un sistema de abatimiento del sulfhidrato residual (HS^-), remanente del reactivo utilizado en la operación de flotación selectiva descrita más adelante.

Los procesos que se desarrollan en estas últimas dos áreas, están representados en el diagrama de flujo anexado. Y la descripción de cada una de ellas, se encuentra a continuación de éste.

Diagrama de Flujo 1 “Proceso Productivo con Proyecto de Expansión – División Andina”

Diagrama de Flujo N°1 "Proceso Productivo con Proyecto de Expansión - División Andina"



Planta de Chancado

En el **Área Concentrador** se encuentra la Planta de Chancado, donde se realiza la reducción del tamaño del mineral con el objetivo lograr una granulometría apropiada para la molienda.

El mineral extraído de la Mina Sur-Sur/Don Luis en su 100% (20.000 toneladas métricas por día (t/d)) y el 30% de la Mina Subterránea Río Blanco (13.200 (t/d)), es tratado en el **Chancado Primario Don Luis** a una cota de 3.150 msnm. Aquí existe un **chancador giratorio** de 54 pies (') · 74' y un motor de 600 HP, el que recibe el mineral (con un ancho máximo de 40 pulgadas (")), por medio de dos tolvas de traspaso, para pasarlo a dos alimentadores de placa de 120" de ancho y 14 metros (m) de largo cada uno. Este chancador con una capacidad de 300 toneladas (t), entrega el mineral con una granulometría máxima de 8" para ser llevado por un sistema de correas correlativas a la Planta de Molienda Semiautógena (Planta SAG). La correa N°7, es la correa transportadora final del mineral, y es paralela a la tradicional correa N°5 con un largo poco mayor a 5,0 km. y 42" de ancho.

A 600 metros desde donde se encuentra el Chancador Giratorio descrito, se encuentra la convencional **Planta de Chancado Primario - Secundario** y la **Planta de Chancado Terciario - Cuaternario**, en las cuales se trata el 70% del mineral proveniente de la Mina Subterránea (30.800 (t/d)).

El Chancado Primario es realizado en las instalaciones Norte y Sur, y éste logra una reducción del tamaño del mineral desde 17" hasta 8" de diámetro. La **Planta de Chancado Primario Norte** recibe el mineral por medio de cuatro buitras de traspaso, para dirigirlo a dos **harneros vibratorios** de doble malla de 6' · 16' y 8' · 20' donde es clasificado. Desde aquí, el mineral es enviado a un **chancador de mandíbula** de 42" · 48" que reduce su tamaño y

envía el mineral grueso a un proceso de Chancado Secundario. Por otro lado, la **Planta de Chancado Primario Sur** recibe el mineral por medio de tres buítras de traspaso, que consta con un harnero vibratorio de 6' · 16' y un **chancador de mandíbula** de 48" · 60".

La descarga de ambas Plantas de Chancado Primario es llevada al **Chancado Secundario**, donde el mineral alcanza un tamaño de 3" por medio de un **harnero vibratorio** de 8' · 20' y un **Chancador de Cono Standard** de 7 pies de diámetro. El producto de este último equipo y el material fino de los harneros del Chancado Primario Norte, es llevado a la **Planta de Chancado Terciario - Cuaternario**, por medio de una correa transportadora (Correa N° 5) de 5.300 m de longitud.

En la planta de Chancado Terciario - Cuaternario, se logra una reducción del mineral hasta aproximadamente 10.000 micras (μ). El paso del mineral a este nivel, involucra su almacenamiento en tolvas y una clasificación en **harneros vibratorios de doble malla** de 8' · 16'. Desde éstos, el sobretamaño de la primera malla, alimenta al proceso de **Chancado Terciario** formado por **chancadores de cono symonds** de 7 pies de diámetro y el sobretamaño de la segunda malla alimenta a tolvas reguladoras que reparten el mineral a los **chancadores cuaternarios symonds** de 7 pies de diámetro. Mientras tanto, el mineral de bajo tamaño es dirigido a las tolvas de molienda. El producto de los chancadores terciarios es clasificado nuevamente en **harneros vibratorios de doble malla** de 8' · 16', desde donde el de sobretamaño es dirigido al Chancado Cuaternario, y el de bajo tamaño a las tolvas de molienda. Los chancadores cuaternarios, trabajan en circuito cerrado con **harneros vibratorios de doble malla** de 8' · 16', generando un producto que alimenta a las tolvas de molienda y uno de sobretamaño que cierra el circuito llevando el mineral a tolvas reguladoras de entrada del mismo chancado.

Planta de Molienda

La planta de molienda ubicada en cavernas subterráneas a 150 m bajo la superficie, ha incorporado por motivo del proyecto de expansión la **Molienda Unitaria** y la **Molienda SAG** a la **Molienda Convencional**. Esto significó una gran inversión a la División con el objeto de alcanzar el nivel de tratamiento de 64.000 (t/d) de mineral seco.

La **Molienda Convencional** recibe el mineral de la Mina Subterránea, con un nivel de tratamiento promedio de 25.667 (t/d) de mineral seco. Esta operación, es llevada a cabo en medio húmedo para lograr la reducción de tamaño del mineral y aumentar el cobre y el molibdeno disponible para la siguiente operación que es la flotación colectiva. En la molienda convencional, el mineral proveniente de la Planta de Chancado Terciario - Cuaternario logra reducir su tamaño hasta aproximadamente 270 μ , luego de separarse y pasar por tres secciones idénticas. En cada una de las secciones, existe un **molino de barras** de 12' · 16' que hace pasar el mineral por un circuito abierto, y tres **molinos de bolas** de 12,5' · 16' que hacen lo suyo en un circuito cerrado utilizando un sistema de clasificación por hidrociclones. En ésta etapa, el mineral alcanza un contenido de sólidos del 39% y un tamaño aceptable para confluir al **Cajón Centralizado**, entrada al circuito de Flotación Colectiva.

El **Molino Unitario**, que se encuentra en operación desde 1995 e incorpora un **molino de bolas** de 16 pies de diámetro, trata el mineral proveniente de la Mina Subterránea en una cantidad promedio aproximada de 5.133 (t/d) de mineral seco. En esta sección, se trabaja con el molino de bolas en circuito cerrado dado por una batería de ciclones, donde alcanza un contenido de sólidos del 40%. El molino es alimentado por tolvas de fino A y B, y al igual que en la molienda convencional, el material liviano se envía al cajón

alimentador de la flotación.

El **Molino SAG**, trata el 100% del mineral proveniente del rajo abierto Sur-Sur/Don Luis (20.000 (t/d)) y el 30% del mineral extraído de la Mina Subterránea (13.200 (t/d)), alcanzando una cantidad total de tratamiento de 33.200 (t/d) de mineral seco. Este nuevo circuito de **Molienda Semiautógena**, de alta tecnología, comprende desde la tolva de almacenamiento de mineral grueso proveniente del Chancador Don Luis, hasta la descarga de la pulpa producto de la molienda al cajón centralizado (distribuidor de alimentación a la flotación primaria). En esta molienda, se pueden considerar las siguientes operaciones unitarias:

- ◆ **Molienda SAG propiamente tal**
- ◆ **Chancado Pebbles**
- ◆ **Molienda Secundaria**

La **Molienda SAG** propiamente tal, también llamada Molienda Primaria, se realiza en un **molino semiautógeno** de 36' · 15' que consta con un motor de 16.000 HP. Su descarga pasa a dos **harneros de doble malla** de 10' · 20', de los cuales, el de sobretamaño es dirigido a un sistema de correas de alimentación para el Chancado Pebbles, y el de bajo tamaño es impulsado por medio de dos **bombas centrífugas horizontales** de 16" · 24" y motor de 600 HP, hasta el cajón distribuidor a la Molienda Secundaria.

El **Chancado Pebbles** comprende desde una correa de transporte llamada correa A-10 (que recibe el de sobretamaño de la descarga del Molino SAG), hasta las siguientes descargas de su chancado. Aquí el mineral producto de la molienda SAG, es dirigido por medio de otro sistema de correas transportadoras a dos **chancadores de cono de cabeza corta** de 7 pies y motor de 400 HP cada uno, que entrega un producto caracterizado con una

granulometría máxima de ½ pulgada. Este es descargado a un chute repartidor con compuerta reguladora de flujo, desde el cual, el mineral es llevado nuevamente al molino SAG o a los molinos de bolas que forman parte de la Molienda Secundaria.

La **Molienda Secundaria** comprende desde los **molinos de bolas** hasta el cajón centralizado, que traspasa el mineral al proceso de Flotación. Esta molienda está constituida por dos sistemas paralelos de molienda - clasificación, y es alimentada con el mineral producto del Chancado Pebbles y con el de bajo tamaño del harnero del SAG. Los molinos de bolas de 20' · 30' y motor de 7.500 HP cada uno, entregan luego de la clasificación por hidrociclones, una pulpa con un contenido de 40% de sólidos en peso, la cual es dirigida hacia el cajón distribuidor (centralizado) de alimentación de la Flotación Primaria.

En los tres tipos de molienda, la pulpa se caracteriza por poseer un porcentaje de sólidos del 40%, las cuales una vez mezcladas en el cajón centralizado el porcentaje disminuye hasta un 37% aproximadamente, por la aplicación de aguas de dilución para la flotación.

Planta de Flotación Colectiva

La **Planta de Flotación Colectiva** está ubicada en las cavernas de la Mina Subterránea, y recibe el mineral proveniente de las tres Plantas de Molienda en el Cajón Centralizado para comenzar un nuevo proceso. Este proceso, consta de las etapas de Flotación Primaria, Remolienda, Flotación de Limpieza y de Barrido, por las cuales se obtiene un concentrado mixto con una caracterización de sólidos del 30%.

La **Flotación Primaria o Colectiva** se lleva a cabo en cuatro bancos de ocho **celdas cilíndricas** con una capacidad aproximada de 3.800 pie³ y 150 HP cada uno. Las celdas cilíndricas de 6 m de diámetro y 4,5 m de altura tienen una capacidad efectiva de 100 m³ cada una, y ellas generan por una parte colas que constituyen el relave final del proceso, y por otra un concentrado primario de Cu-Mo (concentrado mixto). El relave caracterizado por poseer un porcentaje de sólidos del 39%, es enviado gravitacionalmente hasta un **cajón muestrador** de 20 m³ de capacidad que alimenta al **Sistema de Espesaje de Relaves**, y el concentrado primario con un porcentaje de sólidos del 23%, es enviado a un circuito de Remolienda para su posterior limpieza.

La **Remolienda** está conformada por dos **molinos de bolas** de 12,5' · 16' y un motor de 1.750 HP cada uno, los que operan en circuito cerrado inverso con baterías de ocho y diez **hidrociclones cónicos** de 15" de diámetro. Estos envían la descarga nueva y gravitacionalmente a los molinos de remolienda, y el rebalse más liviano, de igual forma al cajón alimentador de la Flotación de Limpieza donde se trata la pulpa proveniente de la Flotación Primaria y la de la Flotación de Barrido detallada más adelante.

La **Flotación de Limpieza** que se lleva a cabo en celdas de 13 m² de área y 13,4 m de altura cada una, entrega un concentrado colectivo final de Cu-Mo con leyes de 30% y 0,45% de cobre y molibdeno respectivamente, y un 30% de sólidos en peso, para enviarlo a la etapa de **Clasificación y Espesaje de Concentrado**. Las colas de las celdas por otro lado, con un porcentaje de sólidos del 15% son dirigidas por bombeo al cajón alimentador de la Flotación de Barrido.

La **Flotación de Barrido** se lleva a cabo en bancos de nueve celdas de 1.350 pie³ cada uno, para dar un tiempo de residencia al concentrado de 20 minutos. Desde aquí, el concentrado sale del circuito caracterizándose por un

porcentaje de sólidos del 14% para ser enviado a la remolienda descrita anteriormente, y las colas con un porcentaje similar de 15%, a los **Espesadores de Relaves**.

El Concentrado proveniente de la flotación de limpieza, es alimentado desde un cajón muestrador de Cu-Mo a un sistema de clasificación compuesto por una batería de ocho ciclones. Desde éstos, el overflow alimenta al **Espesador de Concentrado Eimco Convencional** de 3 HP y 50 pies de diámetro, desde donde se extrae un concentrado con un porcentaje promedio de sólidos en peso del 50%. El concentrado final, es entonces pasado a un **Sistema de Transporte de Concentrado**, por medio del cual es conducido un trayecto de 21,5 km., hasta la **Planta de Flotación Selectiva** que se encuentra ubicada en la Planta Operaciones Superficie. Por otro lado, el agua extraída es recirculada al proceso de flotación logrando disminuir el consumo total de agua fresca del área.

Los Relaves de la Planta de Flotación Colectiva y de Barrido, son alimentados a uno de los dos **espesadores de relaves** existentes (Espesador de Relaves N°2) de 325 pies de diámetro, ubicado fuera de las cavernas². El Espesador N°2, está repotenciado para alcanzar con un buen manejo de los floculantes agregados un porcentaje de sólidos de 60%, y así lograr una mayor recuperación de agua para el proceso. Sin embargo, este espesador por el momento genera un relave con un porcentaje de sólidos del 52,8%, el que hasta diciembre de 1999, era llevado por una canaleta al **Sistema de Transporte de Relaves del Valle** hasta el **Embalse Los Leones** a 15 km. de distancia y a 1.900 msnm, y en el día de hoy, por una **Canaleta de Relaves** que lo conduce hasta el **Embalse de Relaves Ovejería en Rinconada de Huechún**, a 77 km. de distancia. Por otro lado, el agua recuperada desde el

² El Espesador de Relaves N°1, de iguales dimensiones que el N°2, se utiliza en la actualidad como receptáculo transitorio de agua fresca proveniente de las Bocatomas Barriga y Confluencia.

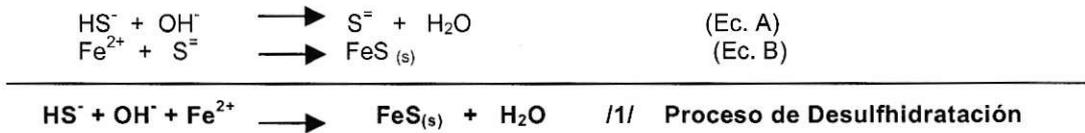
espesador de relaves es recirculada al estanque de agua SAG y/o de Presión Constante por medio de un sistema de bombeo especialmente diseñado.

Planta de Molibdenita

Ubicada aguas abajo de Saladillo, en la terraza norte del valle del Río Blanco, esta planta recibe el concentrado mixto de la planta de flotación colectiva para someterlo a una **Flotación Selectiva Primaria o Rougher**. Aquí se logra la separación diferencial del concentrado de cobre y de molibdeno en una atmósfera inerte, deprimiendo los minerales de cobre por la adición de Sulfhidrato de Sodio (NaHS) y colectándolos con Petróleo Diesel, y flotando los de molibdeno.

El concentrado contiene en su mayor parte molibdenita, y el relave (cola rougher) constituye el concentrado de cobre con una ley de 30%. El concentrado de molibdenita pasa por tres etapas de flotación en columna, donde ayudado de un circuito en contracorriente, entrega un concentrado más puro. La purificación es alta por la existencia de **espesadores** entre las celdas y un **circuito de relimpieza o Flotación Scavenger** con remolienda. El rendimiento de la Flotación Selectiva de Molibdeno se traduce en una recuperación media del 75%, para entregar el concentrado con un 49% de molibdeno y un 3% de cobre. En este estado, el concentrado con un contenido de 20% de sólidos, es dirigido a la Planta de Lixiviación para la recuperación del porcentaje de cobre y la generación de un producto final de alta calidad. Por otro lado, el concentrado de cobre correspondiente al relave de la flotación, con un contenido de sólidos del 44%, es enviado a la etapa de **Desulfhidratación**. Este último proceso es efectuado en un estanque especialmente diseñado, para lograr el abatimiento del sulfhidrato residual (HS^-) contenido en el concentrado

de cobre o cola rougher en un porcentaje aproximado del 90%. El proceso³ descrito químicamente en la ecuación 1, implica el uso de cloruro ferroso generado en el proceso de lixiviación descrito más adelante.



De la desulfhidratación, los relaves son enviados a una batería de **ciclones** de 10 pulg. de diámetro, donde el overflow es llevado hacia dos **espesadores de concentrado** de cobre (**N°1 y N°2**) de 70 pies de diámetro. En estos espesadores, el concentrado alcanza un porcentaje de sólidos del 60% por medio de la adición de un floculante (Floeger 913H - Poliacrilamida aniónica), para ser dirigido hacia la planta de Filtros Larox. El rebalse de los espesadores por su parte, cercano a los 7.000 metros cúbicos al día (m³/d) es enviado a la Planta de Tratamiento de Efluentes.

Planta de Filtros

El concentrado de cobre una vez alcanzado en el espesado un porcentaje de sólidos del 60%, es enviado a un proceso de filtrado donde se produce una alta deshidratación. Aquí con **filtros** de alta eficiencia y **horno de secado rotatorio** se obtiene un producto final con un porcentaje de humedad aproximado del 8,5%. Del espesador N°1 se lleva el concentrado hacia la **Planta de Filtros LAROX** (filtros de alta eficiencia), y del N°2 se pasa a la **Planta de Filtros Convencional**, donde son sometidos a **filtros de cinta** de 37m² de área y a **filtros de tambor** de 10' · 14'. Luego, el concentrado pasa a un horno de secado rotatorio para alcanzar un 8,5% de humedad. La

³ La disminución del HS⁻, se logra precipitando FeS, el cual se mezcla con el concentrado de cobre.

distribución del concentrado de cobre, se realiza luego de su embarcación en tren hacia el Puerto de Ventanas, para su posterior refinación y comercialización.

Los efluentes de esta planta de filtrado son retornados nuevamente a los espesadores N°1 y N°2 descritos anteriormente.

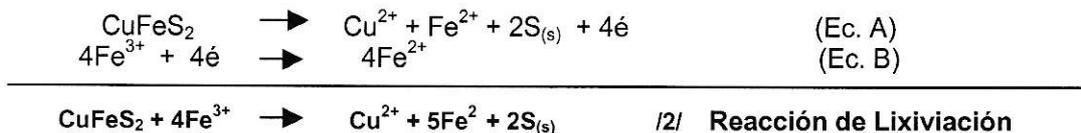
Planta de Lixiviación

Al desarrollar el Proyecto de Expansión, se desarrolló paralelamente el **Proyecto Planta LR (Planta de Lixiviación)** con el objetivo de descubrir los concentrados de molibdenita producidos en la flotación selectiva de las Divisiones Andina y Teniente. El nivel promedio de tratamiento es de 19 (t/d) de sólidos de concentrado proveniente de la División Andina y 20 (t/d) de sólidos proveniente de la División Teniente.

El contenido aproximado del 5% de cobre existente en el concentrado de molibdenita se presenta principalmente como calcopirita, el cual es lixiviado en esta planta con soluciones de cloruro férrico (FeCl_3) en una operación con **reactores batch herméticos** a temperaturas en el rango de (100 a 110)°C, luego de ser filtrado en un **filtro de discos**. El concentrado descubrizado es llevado a operaciones secuenciales de filtrado, repulpeo, y filtrado final, de donde se genera por un lado un descarte (solución efluente), que es tratado por cementación para recuperar cemento de cobre, y por otro un concentrado Moly con un 10% de humedad.

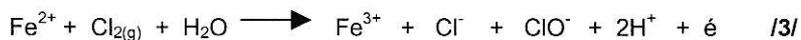
El repulpeo de los concentrados de ambas Divisiones se realiza en forma separada con cloruro férrico, pasando a los reactores de lixiviación a presión y temperatura controlada. La reacción con un 95% de eficiencia, ocurre para

calcopirita como en las siguientes ecuaciones. (ecuación 2)



A la salida de los reactores, el concentrado se encuentra a una temperatura de 110°C, por lo que se realiza un enfriamiento en una **Torre** o **Estación Disipadora de Energía** hasta una temperatura de 55°C aproximadamente. Posteriormente de su enfriamiento existen dos etapas de filtrado, la primera realizada en un filtro **Hoesch** logra la extracción de una salmuera rica en FeCl₂, y la segunda realizada en un filtro **Perrin** entrega una salmuera pobre en el mismo reactivo. La salmuera pobre, es llevada al estanque de desulfhidratación para mezclarla con la cola rougher y abatir así el sulfhidrato residual del relave de la flotación selectiva, y la salmuera rica es trasladada a una **piscina de cementación**, de la cual se obtiene una solución efluente que es deshidratada nuevamente en un filtro **Perrin** para la obtención de cemento de cobre. De aquí, 2/3 del cloruro ferroso producto de la filtración es reoxidado⁴ a cloruro férrico utilizando cloro líquido, lo que permite la recirculación del reactivo a la operación de lixiviación. (ecuación 3)

Reacción de reoxidación de Salmuera Rica



Además, cabe mencionar que existen dos **Clarificadores discontinuos** que recuperan concentrado de molibdenita de las aguas de rechazo de la planta de lixiviación (esta agua de rechazo, involucra el filtrado Moly de Andina y derrames de piso ocasionales de pulpa ácida dentro del proceso LR). Estos

⁴ El proceso de cloración es realizado en un reactor cerrado, en donde se burbujea cloro líquido para la oxidación de la salmuera.

equipos son de base cuadrada y de cono profundo, con un área basal de 2,5 m² y 4,8 m³ de volumen. Su operación es ejecutada en serie, y se basa en el **Principio de Sedimentación Natural y Forzada**, que logra la sedimentación del concentrado de molibdenita por medio de la aceleración de gravedad con el uso de un floculante polimérico, para retornarlo nuevamente al proceso LR. El rebalse de estos clarificadores, es llevado a un **pozo de decantación**, desde donde se obtiene un agua clara que es tratada con una solución diluida al 10% de hidróxido de sodio (NaOH) para el control del pH de estos efluentes ácidos. La dosificación de la solución alcalina es realizada por medio de un sensor de control automático a pH = 9,0.

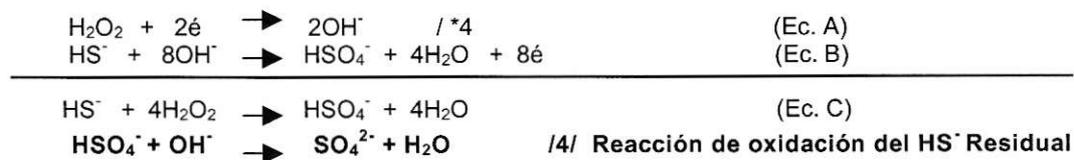
Finalmente es conveniente agregar, que el concentrado de molibdeno al igual que el de cobre es pasado por un proceso de extracción del agua, que involucra su filtrado y secado hasta alcanzar una humedad de aproximada del 10%. En estas condiciones, es envasado en tambores y enviado a refinación o comercialización.

Planta de Tratamiento de Efluentes

El tratamiento de efluentes existente en la División Andina implica dos etapas, la primera consiste en una **sedimentación de los sólidos en suspensión**, y la segunda implica una **oxidación del sulfhidrato residual** con peróxido de hidrógeno (H₂O₂) para la disminución de la generación de olores cuando el efluente descarga al río por su transformación de ácido sulfhídrico (H₂S). Los efluentes tratados por la planta, son los generados en el rebalse de los espesadores de concentrado de cobre y los efluentes de la Planta de Lixiviación ya alcalinizados.

La sedimentación realizada en tres **pozos decantadores** de material fino de 200 m³ de capacidad cada uno, es favorecida por la adición de floculante polimérico (Floeger 913H) para la obtención de mayor eficiencia. Pero el alto caudal de efluente generado en la Planta Operaciones Superficie (100 l/s), hace que el tiempo de residencia total en los pozos (de solo 1,5 horas (h) aproximadamente) sea insuficiente para la eliminación del alto nivel de sólidos que este efluente contiene, y por ello no logra alcanzar un nivel óptimo de abatimiento para el cumplimiento de la normativa vigente. (Norma Provisoria de RILes).

Las aguas claras de los pozos decantadores van a dar a un pozo bomba que es el punto de entrada a la **Planta de Peróxido de Hidrógeno**. En este pozo, se adiciona al efluente peróxido de hidrógeno al 15% (H₂O₂ [15%]) para ser bombeado a cinco **estanques de agitación** en serie de 20 m³ cada uno, donde ocurre el proceso de oxidación del sulfhidrato residual. (ecuación 4)



En esta planta de oxidación, se dispone de instrumentación de control consistente en electrodos que miden el potencial redox específico de S²⁻ en el efluente, electrodos que entregan una señal que está enlazada con la dosificación de peróxido de hidrógeno a adicionar. La eficiencia del proceso, es del orden del (50 a 60)%, lo que sumado a que la adición del peróxido es generalmente realizada en exceso debido a las fluctuaciones de NaHS adicionado, genera una espumación en el punto de la descarga del efluente al Río Blanco, y olores por su transformación a ácido sulfhídrico (H₂S) por

disminución del pH. (ecuación 5)

Generación de ácido sulfhídrico



Finalmente, cabe mencionar que existe en esta planta un último pozo, el **Pozo de Residencia N°1**, el que con una capacidad de 1.875 m³ da un tiempo de residencia de 5 h a los efluentes. Este descarte, antes de descargar al río se mezcla con la proveniente de la **Planta de Aguas Servidas de Saladillo**, formando el segundo RIL oficial de la División Andina, el **Efluente mixto**. El Pozo de Residencia N°1 se limpia una vez al año, recuperándose (200 a 300) t de sólidos, pero su capacidad es insuficiente para entregar un RIL que cumpla las normas en este parámetro y que no genere olores al mezclarse con el Río Blanco.

CAPÍTULO 2 BALANCE GENERAL DE AGUA PARA EL PROCESO PRODUCTIVO

Debido a que a nivel global la disponibilidad del recurso agua ha disminuido y su demanda ha aumentado, se han establecido políticas para su conservación y programas para el logro de un mejor manejo de éste. Es por ello, que es de vital importancia un real conocimiento de las condiciones de la zona donde se encuentran las instalaciones de la División Andina, considerando además de los consumos requeridos por el proceso, la calidad de las aguas para éste y su disponibilidad actual y futura.

Lo mencionado en el párrafo anterior, toma mayor importancia si se consideran antecedentes bibliográficos que indican que en el sector minero por cada millón de dólares en inversión, se aumentan los consumos de agua fresca en un promedio de 1 (l/s). Y la División Andina al haber ejecutado su Proyecto de Expansión con una inversión de 322 millones de dólares, debe tener disponibles datos actualizados que lleven a establecer planes para: la disminución de los consumos involucrados, y la disminución de la generación de residuos e impactos.

A continuación se realiza un análisis de las necesidades de agua para el proceso productivo total de la División y de la disponibilidad del recurso en la cuenca donde se encuentran insertas estas faenas.

Las necesidades de agua para el proceso fueron obtenidas según los consumos por cada área productiva, y la disponibilidad del recurso fue analizada considerando por un lado los derechos de aprovechamiento de agua que la División posee, y por otro los caudales de entrada al proceso desde las bocatomas existentes.

CONSUMOS DE AGUA DIVISIONAL (BALANCE DE AGUA)

El consumo de agua para el proceso productivo de la División Andina está acorde con el flujo de mineral a procesar (64.000 (t/d) de mineral seco), el cual ha alcanzado niveles no despreciables en cada una de las áreas considerando la situación actual de aprecio del recurso. Conociendo datos que indican que los mayores consumos de agua se tienen en el concentrador, seguido muy de lejos de la Planta Operaciones Superficie, se realizó un balance teórico y dinámico de aguas para analizar este punto en estas dos áreas, con la finalidad de conocer el manejo actual del recurso y establecer una base para su mejoría.

Diagrama de Flujo 2 “Balance Teórico de Agua Área Concentrador y Planta Operaciones Superficie – División Andina”

De este balance de aguas teórico, y conociendo los consumos del Área Mina, el consumo Divisional de aguas para el proceso productivo se resume a continuación:

Tabla 1 "Requerimientos de consumos de agua para las distintas áreas productivas - División Andina"

Área Productiva	Consumo Total [l/s]	Consumo Real [l/s]
Área Mina	20	20
Área Concentrador	1650,4	697,9
Planta Operaciones Superficie	120,2	84,1
Consumo Divisional	1790,6	802,0

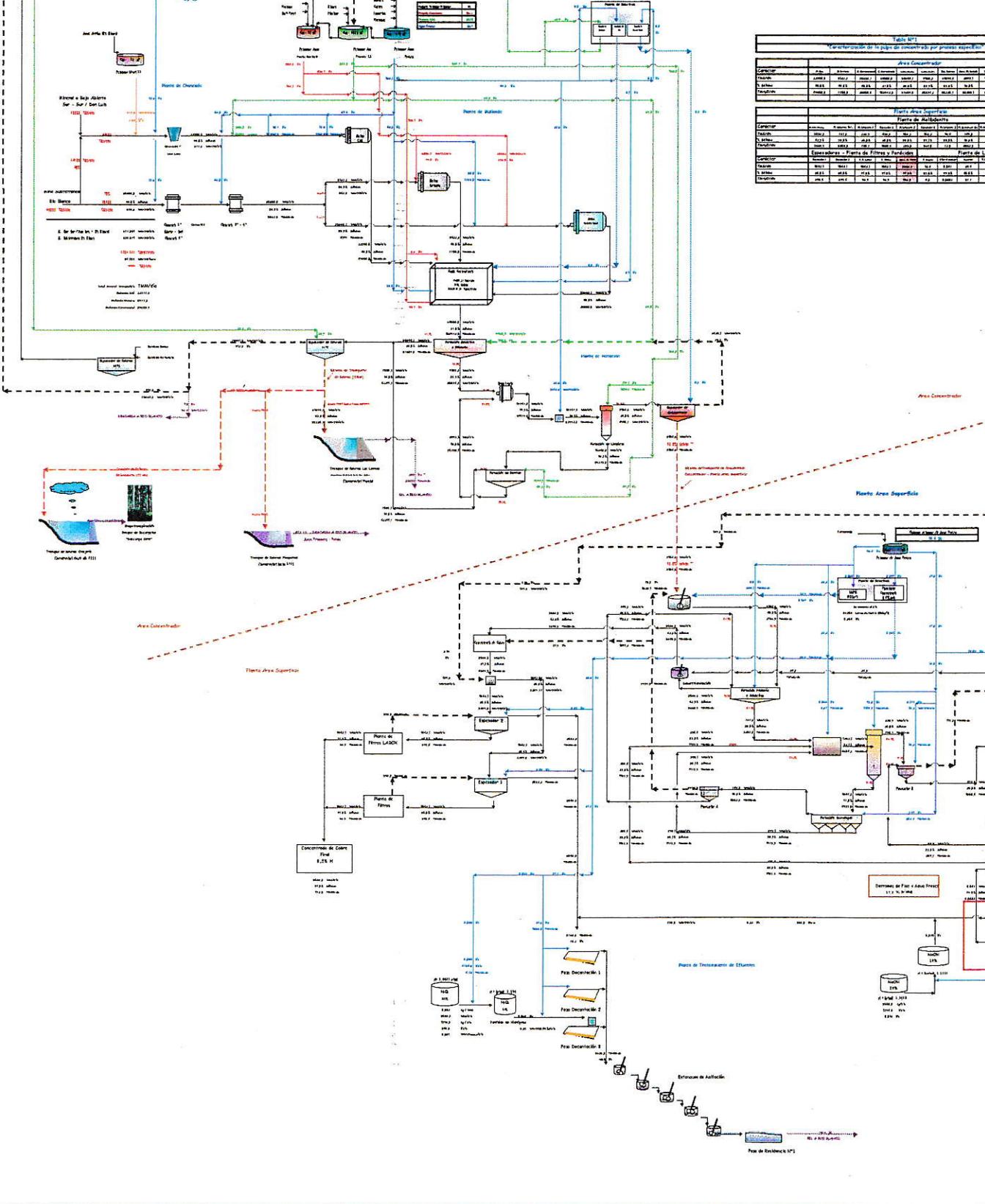


Tabla 001
Características de la planta de tratamiento por proceso específico

Área Colector											
Componente	Flujo	Área	Alto	Diámetro	Material	Operación	Operación	Operación	Operación	Operación	Operación
Colector	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Colector	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Colector	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000

Planta Área Superficie											
Planta de Adecuación											
Componente	Flujo	Área	Alto	Diámetro	Material	Operación	Operación	Operación	Operación	Operación	Operación
Planta	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Planta	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Planta	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000

SEMOLOGIA:

- Estanque de Agua Presa
- Estanque CAS
- Estanque Presión Constante
- Agua Reciclada
- Agua Reciclada + 25-Efluo
- Tratamiento Primario
- Tratamiento de Sólidos e Impurezas
- Tratamiento de Agua Reciclada
- Tratamiento de Agua Reciclada + 25-Efluo

La tabla 1, muestra los consumos totales necesarios para llevar a cabo los procesos productivos, y los consumos que realmente son necesarios en cada una de las áreas considerando el porcentaje de recuperación o recirculación que éstas tienen. Estos consumos confirman la mayor cifra para el Área concentrador, seguido de la Planta Operaciones Superficie en una menor cantidad.

El balance de aguas realizado consideró la siguiente base teórica;

Base teórica (Balance de masa)

Una de las finalidades del Balance de Masa es determinar la magnitud de los materiales que entran, salen o se acumulan en un sistema determinado.

$$m_{\text{entra}} = m_{\text{sale}} + m_{\text{acumulada}} \quad /6/$$

Considerando una condición de estado estacionario, el que implica que no existe acumulación, la ecuación 6 queda como sigue:

“Conservación de la Materia, en Estado Estacionario”

$$m_{\text{entra}} = m_{\text{sale}} \quad (m_{\text{acumulada}} = 0) \quad /7/$$

Un Balance de Masa puede ser útil para analizar la cantidad de agua utilizada en un proceso determinado. Esta aplicación llamada **Balance de Agua**, puede considerar la condición de estado estacionario y determinar directamente estas magnitudes tomando en cuenta la caracterización del porcentaje de sólidos que trae el flujo a procesar, y el producto a la salida. Lo

anterior es efectivo conociendo el flujo total de materia y su porcentaje de humedad.

Para un entendimiento de lo anterior se define:

- ◆ **Porcentaje de humedad (%H):** proporción de agua líquida en un sólido. Esta puede obtenerse dividiendo la masa de agua de un sólido por su masa total. La masa total involucra la masa de sólido seco y el agua que lo acompaña.

“Masa de sólido total”

$$m_{\text{sólido total}} = m_{\text{agua}} + m_{\text{sólido seco}} \quad /8/$$

“Porcentaje de Humedad”

$$\%H = (m_{\text{agua}} / m_{\text{sólido total}}) \cdot 100 \quad /9/$$

- ◆ **Porcentaje de Sólidos (%S):** proporción entre el material seco y la masa total de un sólido.

“Porcentaje de Sólidos”

$$\%S = (m_{\text{sólido seco}} / m_{\text{sólido total}}) \cdot 100 \quad /10/$$

Reemplazando 9 y 10 en 8, se obtiene que la suma de ambos porcentajes involucra el total de materia a analizar.

$$1 = \%_1 S + \%_1 H \quad /11/$$

Finalmente, igualando las masas totales de 9 y 10 y reemplazando el %H con la ecuación 11, se obtiene la masa de agua en el sólido total:

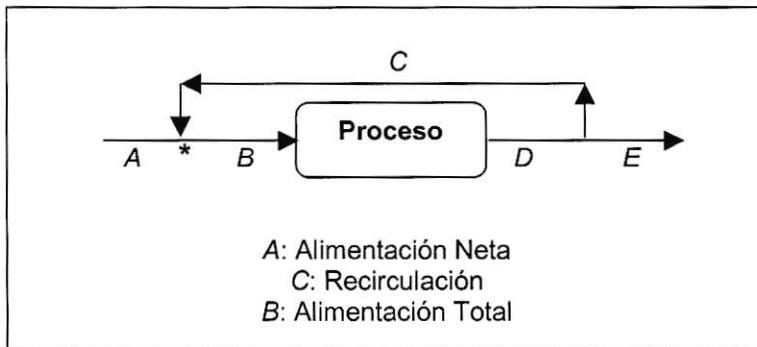
“Obtención de la Masa de Agua”

$$m_{\text{agua}} = m_{\text{sólido seco}} (1-\%S) \%S^{-1} \quad /12/$$

El Balance de Agua, permite conocer los consumos reales de agua dentro de cualquier operación o proceso unitario. Y su desarrollo lo hace una base clave para establecer diversas alternativas de manejo del recurso. Para el estudio de algunas de ellas, en éste caso, es importante definir:

- ◆ **Recirculación:** en este sistema, parte de la corriente de salida se desvía a la corriente de entrada.

Figura 3 “Representación de un sistema de recirculación”



La figura anterior implica que las composiciones en las corrientes descritas en ella, se caracterizan por:

/13/ “Caracterización de las composiciones de las corrientes en el sistema de recirculación”

$$A \neq B \neq C$$

$$C = D = E$$

$$B = C + A \quad (*)$$

Donde:

X = Composición determinada de cada corriente

(El Balance de Masa resuelve el problema a analizar, en el punto clave del sistema señalado con el asterisco (*))

Las razones posibles de obtener de este sistema, y que servirán para su caracterización son:

- ◆ **Porcentaje de Recirculación (%R):** se refiere la razón entre la cantidad de agua recirculada y el consumo total del proceso.

“Porcentaje de Recirculación”

$$\%R = C \cdot B^{-1} \cdot 100 \quad /14/$$

- ◆ **Razón de Recirculación (R.R.):** relación entre la recirculación de agua del sistema y su alimentación neta.

“Razón de Recirculación”

$$R.R. = C \cdot A^{-1} \quad /15/$$

- ◆ **Razón de Alimentación Total (R.A.T):** relación entre la alimentación total del sistema y su alimentación neta.

“Razón de Alimentación Total”

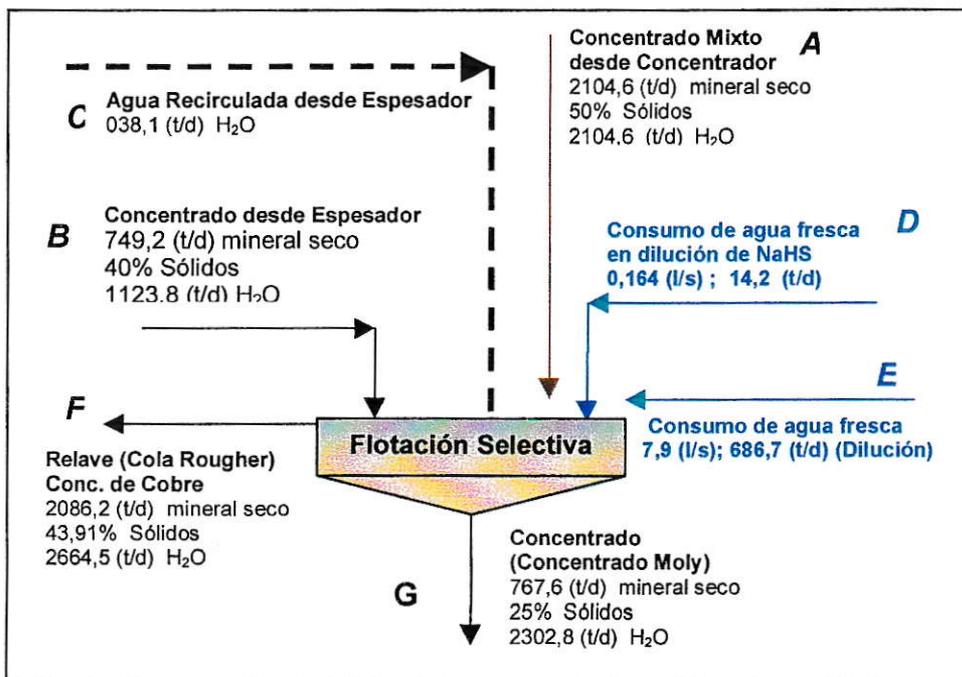
$$R.A.T. = B \cdot A^{-1} \quad /16/$$

El balance de aguas se realizó por medio de una planilla de cálculo que considera como variables el tonelaje de mineral a tratar en la División (64.500 (t/d) de mineral seco), y los porcentajes de sólidos (%S) entregados en el producto de los Espesadores de Concentrado y de Relaves (50% y 52,8% respectivamente). El diagrama de flujo contiene una tabla que permite el ingreso de estos tres caracteres claves, ya que de ellos depende, a modo general, el agua a consumir por el proceso productivo. Los %S en el producto de los espesadores entregan mayor o menor porcentaje de agua a recircular y

por ende un menor o mayor consumo de agua. La planilla permite con el ingreso de estos datos, obtener instantáneamente los consumos de agua totales por proceso específico en cada área, los consumos por estanques de agua en el Área Concentrador, la cantidad de agua recirculada en cada proceso y en cada área, y el agua real consumida por área y a nivel Divisional. También es posible obtener la caracterización de la pulpa tratada en cada operación; como el tonelaje de mineral seco, su porcentaje de sólidos y agua asociada, además del caudal de los RILes del proceso. Es por ello, que la planilla presenta mucha utilidad, ya que con ella se puede predecir con bastante precisión y en cualquier instante estos diversos consumos, pudiendo así lograr un mejor manejo del recurso, y tener antecedentes actualizados frente a cualquier escenario que la División enfrente.

Como ejemplo de cálculo, se muestra a continuación el balance de agua en la Flotación Selectiva perteneciente a la Planta de Molibdenita.

Figura 4 “Balance de Agua Flotación Selectiva - Planta Operaciones Superficie”



Para calcular el consumo de agua de esta etapa del proceso (E'), considerando los siguientes parámetros, se prosiguió a continuación de ellos:

- ◆ A = 2104,6 (t/d) de mineral seco (%S = 50)
- ◆ B = 749,2 (t/d) de mineral seco (%S = 40)
- ◆ C = 1038,1 (t/d) de agua recirculada (%S → 0)
- ◆ D = 2104,6 (t/d) de agua fresca en NaSH (%S → 0)
- ◆ F = 2086,2 (t/d) de mineral seco (%S = 43,91)
- ◆ G = x (t/d) de mineral seco (%S = 25,0)

Se calculó la magnitud de la corriente G, para lo cual se realizó un balance total con las corrientes en base húmeda (X'), las que se obtuvieron considerando su sólido seco más la humedad que lo acompaña. Para obtención de la masa de agua por unidad de tiempo en cada una de las corrientes, se consideró la ecuación 12, como lo indica el siguiente ejemplo:

Flujo másico de agua de la corriente A:

$$(t/d \text{ mineral seco})_A = 2104,6$$

$$(t/d \text{ agua})_A = (t/d \text{ mineral seco})_A \cdot (1 - \%S) \%S^{-1}$$

$$(t/d \text{ agua})_A = 2104,6 \cdot (1 - 0,5) \cdot (0,5)^{-1}$$

$$(t/d \text{ agua})_A = 2104,6$$

Con lo anterior y considerando la ecuación 8, se obtuvo la magnitud de cada corriente en base húmeda:

A = Masa total de sólidos (Base Seca)

A' = Magnitud o masa total de la corriente (Base Húmeda)

$$A' = (m_{\text{agua}} + m_{\text{sólido seco}})$$

$$\therefore A' = (2104,6 + 2104,6) (t/d) = 4209,2 (t/d)$$

Los resultados de tales cálculos se presentan a continuación:

Tabla 2 “Agua asociada a las corrientes – Flotación Selectiva”

Corriente	Sólido Seco t/d	Porcentaje de sólidos (%S)	Agua [t/d]	Masa Total X' (t/d)
A	2104,6	50	2104,6	4209,2
B	749,2	40	1123,8	1873,0
C	≈ 0,00	≈ 0,00	1038,1	1038,1
D	≈ 0,00	≈ 0,00	14,2	14,2
E	≈ 0,00	≈ 0,00	X	X
F	2086,2	43,91	2664,5	4750,7
G	X	25,0	X	X

Con estos resultados, se obtuvo la corriente G de la siguiente manera:

Balance de sólido seco

$$A + B = F + G$$

$$G = (2104,6 + 749,2 - 2086,2) \text{ t/d}$$

$$G = 767,6 \text{ (t/d) [25\%S]}$$

Balance de la masa total (Base Húmeda)

$$\therefore G' = 767,6 + 767,6 \cdot (1-0.25) / 0.25$$

$$\therefore G' = 3070,4 \text{ (t/d)}$$

Por medio de las siguientes ecuaciones que implican el balance de agua de la etapa, se obtuvo el agua consumida en ella:

$$A' + B' + C' + D' + E' = F' + G'$$

$$E' = 686,7 \text{ (t/d) agua consumida.}$$

De esta forma el balance de agua de esta etapa, queda como a continuación:

Tabla 3 “Balance de aguas Flotación Selectiva”

	Corriente	Sólido Seco (t/d)	Porcentaje de sólidos (%S)	Agua [t/d]	Masa Total X' (t/d)
Entradas	Concentrado Mixto	2104,6	50	2104,6	4209,2
	Conc. Desde espesador	749,2	40	1123,8	1873,0
	Agua en NaSH	≈ 0,00	≈ 0,00	14,2	14,2
	Agua Recirculada	≈ 0,00	≈ 0,00	1038,1	1038,1
	Total	2853,8		4280,7	7134,5
Salidas	Cola Rougher	2086,2	≈ 0,00	2664,5	4750,7
	Concentrado Moly	767,6	43,9	2302,8	3070,4
	Total	2853,8		4967,3	7821,1
Consumo de agua Total				686,7	

De la manera ejemplificada, se obtuvo resultados de los consumos de agua del Área Concentrador y de la Planta Operaciones Superficie por proceso específico.

En el Área Concentrador, se calculó los consumos teóricos tanto totales de esta área, como particulares de los distintos estanques que suministran de agua al proceso. Estos estanques son tres (el SAG, el de Presión Constante y el de Agua Fresca), y almacenan el agua captada desde las bocatomas existentes⁵. La calidad del agua en cada uno de ellos, está dada por la dilución que se logra debido a sus distintos aportes, y éstas pueden definirse como a continuación se indica:

⁵ Las bocatomas existentes, serán descritas en el siguiente punto del presente capítulo.

- ◆ **Agua Fresca:** agua de buena calidad con características de potable, su origen es de las bocatomas Lagunitas, Castro, Barriga, Confluencia, Embalse Ventanas, y Morado.
- ◆ **Agua Recirculada:** agua de retorno de los procesos de concentración que es vuelta a ingresar al circuito. Estos procesos son el espesamiento de relaves y de concentrado. El agua recirculada retorna a los estanques de agua SAG y de Presión Constante.
- ◆ **Agua Industrial:** agua de menor calidad, no potable, que es obtenida de las bocatomas Rock Point, Nueva Blanco y Nueva Haulage.
- ◆ **Agua de Proceso:** excedentes de aguas frescas, recirculadas e industriales que son depositadas en un estanque para su posterior uso. Este estanque corresponde al estanque SAG.

El **Estanque SAG**, tiene una capacidad de 3000 m³ y suministra agua de proceso al Chancado de Pebbles, al Molino de Bolas de la Molienda Secundaria del SAG, a la Flotación Colectiva, y a la preparación del floculante de relaves. La calidad de su agua está dada por las correspondientes de las bocatomas Nueva Blanco y Haulage, la recirculada desde el Espesador de Relaves N°2, y por una porción de agua que es transferida desde el **Estanque de Agua Fresca**. Este último estanque, con una capacidad total de 470 m³ es abastecido desde las bocatomas del Embalse Ventana, Lagunitas y Castro, para llevar el recurso a los procesos de Chancado 3° - 4°, Molienda SAG, Unitaria y Convencional, Flotación Colectiva, y preparación de reactivos (Cal y Floculante de Concentrado). Finalmente, el **Estanque de Presión Constante**, con una capacidad de 80 m³ recibe aportes de agua industrial desde la bocatoma Rock Point, agua de proceso del estanque SAG, y agua fresca desde la bocatoma Ventanas y desde el Espesador de Relaves N°1 que actualmente es contenedor transitorio del agua captada desde las bocatomas Confluencia y Barriga.

Para la Planta Operaciones Superficie, el abastecimiento del recurso es realizado luego de su almacenamiento en un estanque ubicado cercano a esta planta, en la ladera Este de Río Blanco, el cual recibe en forma gravitacional el agua fresca de alta calidad desde la bocatoma Polvareda, ubicada en el río del mismo nombre.

El **Balance de Aguas Teórico**, entregó los siguientes resultados:

Tabla 4 "Consumo teórico total de agua por proceso y estanque específico" (l/s)

Planta Área Concentrador							
	Bocatoma	Estanque Sag	Est. P. Constante	E. Agua Fresca	Recirculada	Consumo Total	Cons. Total Real
Concentrador							por proceso
Chancado I –II	12,6	-----	-----	-----	-----		12,6
Chancado III – IV	-----	-----	-----	46,0	-----	46,0	46,0
Chancado Don Luis	7,8	-----	-----	-----	-----	7,8	7,8
Molienda SAG	-----	545,0	-----	23,5	-----	568,5	568,5
Molienda Unitaria	-----	-----	79,4	-----	-----	79,4	79,4
Mol. Convencional	-----	-----	376,8	20,0	-----	396,8	396,8
Planta de Reactivos	-----	38,9	-----	8,5	-----	47,4	47,4
Flotación Colectiva	-----	69,8	106,1	36,1	39,7	251,6	211,9
Flotación de Barrido	-----	49,7	-----	-----	-----	49,7	49,7
Flotación Limpieza	-----	119,1	-----	32,6	-----	151,7	151,7
Consumo Total	20,4	822,5	562,2	166,7	39,7	1611,5	1571,8
*1,05 (Factor Agua Adicional)	21,5	863,7	590,3	175,0	0,00	1650,4	1650,4
Recirculación	0,00	912,8		0,00	39,7	952,5	952,5
Consumo Real Total	21,5	541,2		175,0	-39,7	697,9	697,9

* Bocatoma Morado ** Bocatoma Aguas Arriba (Estanque Nivel 11)

Continuación Tabla 4

Planta Operaciones Superficie						
Planta de Molibdenita						
Consumo de Agua	Fl. Selectiva	Planta Reactivos	F. Limpieza 1, 2, 3	Fl. Scavenger	Espesador A, B, C	Consumo Total
Estanque Agua Fresca	7,95	0,41	19,47	3,51	0,33	31,7
Recirculación	12,0	0,00	0,00	0,00	0,00	12,0
Consumo Total	19,96	0,41	19,47	3,51	0,33	43,7
*1,05 (Factor Agua Adicional)	20,96	0,43	20,44	3,69	0,35	45,9
Consumo Real Total	8,95	0,43	20,44	3,69	0,35	33,8
Espesadores – Decantadores - Pta. Peróxidos						
Consumo de Agua	Espesador 1, 2	Pozo Dec. 1, 2, 3	Pta. Peróxidos	Consumo Total		
Estanque Agua Fresca	16,7	21,6	0,055	38,3		
Recirculación	24,08	0,00	0,00	24,1		
Consumo Total	40,75	21,62	0,055	62,4		
*1,05 (Factor Agua Adicional)	42,79	22,70	0,058	65,5		
Consumo Real Total	18,70	22,70	0,058	41,5		
Planta de Lixiviación						
Consumo de Agua	Repulpeo	Clarificador	Pozo Dec. 1, 2	NaOH [50%]	Consumo Total	
Agua Fresca	0,35	7,25	0,67	0,06	8,3	
Recirculación	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	
Consumo Total	0,35	7,25	0,67	0,06	8,3	
*1,05 (Factor Agua Adicional)	0,37	7,61	0,71	0,06	8,8	
Consumo Real Total	0,37	7,61	0,71	0,06	8,8	
Consumo Total Area						114,5
*1,05 (Factor Agua Adicional)						120,2
Recirculación Total Area						36,1
Consumo Total Agua Fresca Planta Operaciones Superficie (+5%)						84,1

De los resultados anteriores, es posible obtener el porcentaje de recirculación (%R), la razón de recirculación (R.R) y la razón de alimentación total (R.A.T) en ambas áreas. Según las ecuaciones 14, 15 y 16, estas razones alcanzan valores como los indicados en la tabla 5;

Tabla 5 “Porcentaje de Recirculación (%R), Razones de Recirculación (R.R) y razón de Alimentación Total (R.A.T)”

Area	A Consumo Real (Agua Fresca)	B Consumo Total Agua	C Recirculación	% R (C/B)	R.R (C/A)	R.A.T (B/A)
Area Concentrador	697,9	1650,4	952,5	57,7	1,36	2,36
Area Planta Superficie	84,1	120,2	36,1	30,0	0,42	1,42
Total Divisional	782,0	1770,6	988,6	55,8	1,26	2,26

Los resultados de la tabla 5, muestran el no despreciable porcentaje de recirculación en el Área Concentrador (58%), el cual no sólo trae un beneficio económico para la División Andina debido a que disminuye los esfuerzos necesarios para la ejecución de obras para la toma del recurso y/o de construcción de nuevas bocatomas, sino que además trae un beneficio al medio circundante por la disminución de esta intervención antrópica en los cauces de la cuenca del Río Blanco. En la Planta Operaciones Superficie, el porcentaje se eleva sólo hasta un 30%, esto se debe a que en esta planta planificar un circuito de recirculación involucra más esfuerzos, debido a que ello trae problemas metalúrgicos en las operaciones de flotación selectiva por la acumulación de impurezas y por las diferencias óptimas de pH que existen entre esta operación y las correspondientes de la lixiviación, (pH 9 y 2 respectivamente). De este modo, es importante establecer en este último caso, que los esfuerzos por implementar tales sistemas, deben incorporar un programa que incluya un tratamiento previo de las aguas a recircular.

Las Razones de Recirculación (R.R) y de Alimentación Total (R.A.T), confirman los resultados anteriores indicando que en Area Concentrador las necesidades de agua son abastecidas en mayor porcentaje por los aportes de agua recuperadas desde los espesadores de relaves y de concentrado, y recirculados a los estanques SAG y de Presión Constante, y al proceso de flotación colectiva.

Finalmente, es posible obtener la razón de agua fresca consumida por tonelaje de mineral tratado a nivel Divisional, la cual alcanza a **0,94 metro cúbicos por tonelada de mineral seco (m^3/t)**. Este dato, nos da una idea comparativa de la eficiencia del uso del recurso en los procesos, frente a las demás Divisiones de la corporación. De esta comparación, es posible establecer que la División Andina se encuentra en buen pie frente a las otras cuatro Divisiones pertenecientes a Codelco, ya que además de lo que indican estudios anteriores, en relación a que *“esta razón está condicionada por la disponibilidad del recurso en la zona donde se encuentran emplazadas las faenas”* (“Recurso Hídrico en División Andina” J. Muñoz N., R. Vargas R. 1999), es importante el compromiso que cada División tiene frente al tema. El consumo correspondiente a la División Andina, esta aventajada en relación a la División Salvador y en similar condición con la División Teniente. Lo anterior esta supuesto bajo antecedentes extraídos desde la literatura;

- ◆ División Chuquicamata: **0,55 (m^3/t)** (160.000 (t/d) mineral seco, 3804 (l/s) de agua total de la concentradora, de la cual 2772 (l/s) es agua recirculada). Fuente: “Recurso Hídrico en División Andina” J. Muñoz N., R. Vargas R. 1999

- ◆ División Salvador: **1,70 (m^3/t)** (33.000 (t/d) mineral seco, con un consumo total en el concentrador de 932 (l/s), de las cuales 649 (l/s) corresponde a

agua fresca). Fuente: "Recurso Hídrico en División Andina" J. Muñoz N., R. Vargas R. 1999

- ◆ División Teniente: **0,93** (m³/t) (95.000 (t/d) mineral seco, la concentradora consume 2525 (l/s), de los cuales 1025 (l/s) es agua fresca). Fuente: "Recurso Hídrico en División Andina" J. Muñoz N., R. Vargas R. 1999

Lo anterior indica que la escasez de agua ha llevado a la optimización del uso del recurso en la División Chuquicamata, pero en el caso de la División Salvador se debe realizar un estudio más profundo de análisis, para entender y mejorar sus actuales razones de consumo de agua fresca en función del tonelaje de mineral tratado. Estos estudios en cada una de las Divisiones deben incluir, además de los consumos de las operaciones, su disponibilidad en la cuenca, en función de los caudales de los ríos que sirven de extracción y de los derechos designados para esta actividad.

DISPONIBILIDAD DEL RECURSO

La disponibilidad del recurso para la División Andina es un tema de vital trascendencia en la mantención de las faenas en forma segura, y ella como se ha mencionado anteriormente, está en función de los caudales de los cauces existentes en la cuenca y de los derechos de aguas consuntivos y no consuntivos que posee.

Bocatomas y derechos de agua existentes.

Para la satisfacción de los consumos de agua descritos en la sección inmediatamente anterior, se realiza una distribución del agua desde distintas

bocatomas hacia las instalaciones por medio de sistemas especialmente diseñados. Las bocatomas se sustentan desde fuentes de agua superficiales y de infiltración producida por el drenaje de las cavernas existentes producto de la explotación subterránea.

Los cuerpos superficiales corresponden a las cuencas de los Esteros Castro, Barriga y Morado, al Río Blanco y a las reservas de agua existentes en Laguna Turquesa, Embalse Ventana y Laguna Barroso. Las correspondientes a las aguas de infiltración, responden a las bocatomas existentes en los túneles Haulage y Sur-Sur. (Figura 5)

La cuenca del Río Castro cuenta con captaciones desde el embalse La Ventana, con las bocatomas **Nueva Castro** y **Confluencia**, que aportan el recurso al estanque de agua fresca y al espesador de relaves N°1 respectivamente. El Río Barriga ubicado, al otro lado del Río Blanco, cuenta con las bocatomas **Lagunitas** y **Barriga**, que llevan el recurso al estanque de agua fresca y al espesador N°1 respectivamente. El Río Blanco por su parte, entrega aguas de menor calidad, teniendo una caracterización de bajo pH (entre 2,5 y 3,5), y una alta concentración de sulfatos que la hace muy corrosiva y de alta peligrosidad. Estas aguas son recogidas por las bocatomas **Blanco** y **Rock Point**, y su construcción fue justificada por las necesidades que se presentan en los tiempos de escasez y por el proyecto de expansión. La primera de ellas lleva el agua hasta el estanque SAG, y la segunda por su parte, aporta el recurso al estanque de presión constante. Finalmente en el **Morado**, existe una bocatoma del mismo nombre que alimenta al chancado terciario-cuaternario y al estanque de agua fresca. Esta última bocatoma, al caracterizarse por entregar agua de alta calidad, abastece de agua potable a la Mina Subterránea, al Haulage y al edificio Rock Point. Pero estos puntos de extracción, no son suficientes para la satisfacción de los requerimientos del proceso productivo, sobre todo en las épocas de escasez. Por ello, son utilizadas otras fuentes de

extracción como la **Laguna Turquesa**, el **Embalse Ventana**, y la **Laguna Barroso**. La primera se ubica en el estero de Río Castro, y presenta una capacidad de acumulación en $2,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, permitiendo aportar al Río Castro $4,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ en total. El segundo se encuentra en la misma cuenca que Turquesa y tiene un volumen útil de $0,85 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Y finalmente la natural laguna Barroso que aporta un volumen útil de $4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ directamente al Río Morado, alimenta la bocatoma aquí existente.

Se debe incluir en la descripción anterior, que los procesos de la Planta Operaciones Superficie satisfacen sus consumos desde la bocatoma **Polvareda**, por medio de una captación superficial y gravitacional, hasta un estanque de agua ubicado en la ladera Este del Río Blanco y cercano a esta planta.

Finalmente, cabe mencionar que las necesidades de agua potable para Saladillo, es abastecida por las bocatomas **San Carlos**, **Principal**, **Las Vegas** y **Dren Torre 1**, ubicadas cercana a los tranques de relaves Los Leones y Piuquenes.

Las bocatomas descritas, en general están construidas en función de los derechos de aguas con que la División cuenta. De este modo, si se desea ver la disponibilidad de agua, se debe considerar en su análisis, en primer lugar el tipo de derecho designado para las faenas, y en segundo lugar los caudales disponibles en la cuenca para observar la oferta real del recurso.

La figura 6 indica los derechos de tipo consuntivos designados para el Área Concentrador y los de tipo no consuntivos de la Planta Operaciones Superficie. La tabla 6, por su parte incluye un resumen de las bocatomas existentes, y la tabla 7 por otra, los derechos de agua identificados.

Figura 5 “Representación de bocatomas existentes – División Andina”

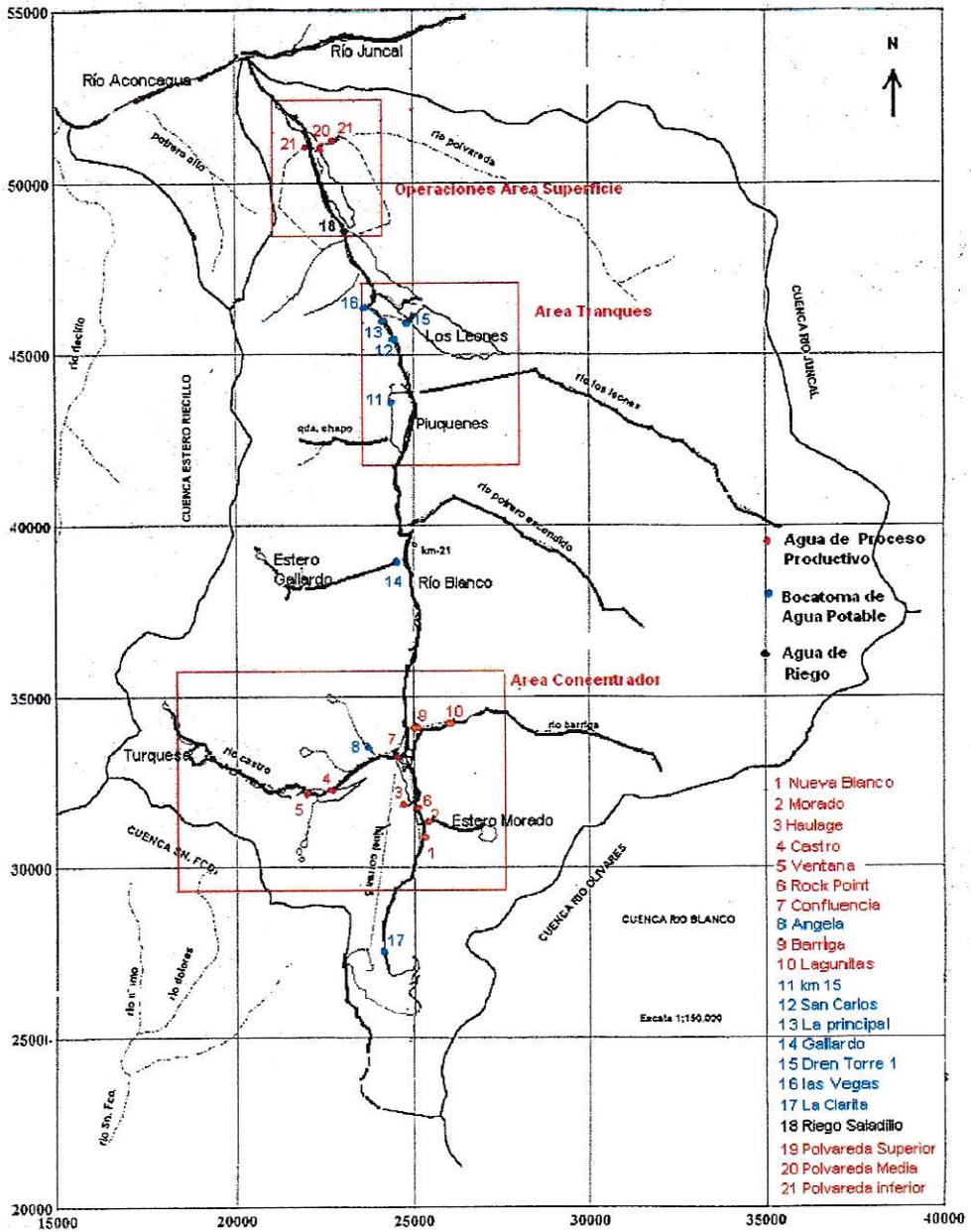


Figura 6 “Derechos de Aprovechamiento de Aguas en la División Andina”

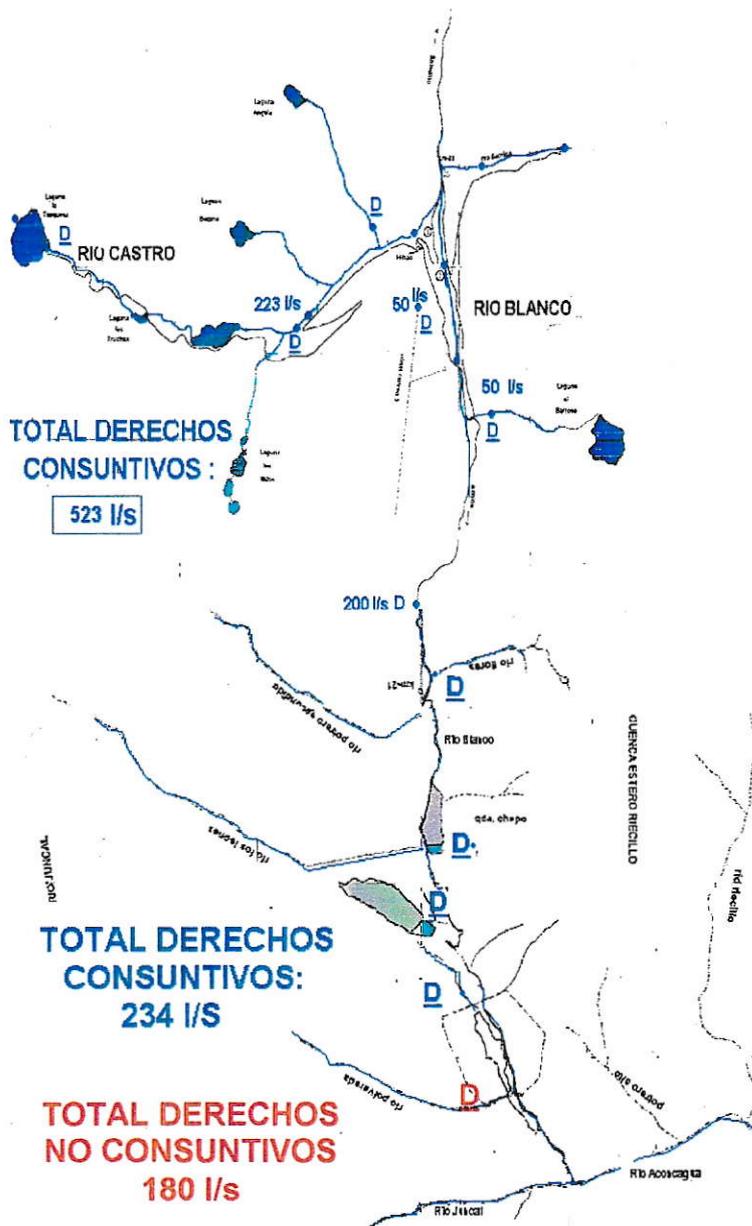


Tabla 6 "Bocatomas de agua Área Concentrador y Planta Operaciones Superficie"

Bocatoma	Sector que abastece
Área Concentrador	
Morado (Río Morado; 3080 msnm)	Agua Potable para la mina subterránea
Nueva Blanco (Río Blanco; 3.200 msnm)	Uso industrial para el concentrador
Rock Point (Río Blanco; 3.000 msnm)	Uso Industrial para el concentrador
Barriga y Lagunitas (Río Barriga; 2.800 y 3.100 msnm)	Agua fresca para el espesador N°1 y concentrador
Confluencia (Río Castro; 2.800 msnm)	Agua fresca para el espesador N°1 y concentrador
Castro (Río Castro; 3.100 msnm)	Agua fresca para el concentrador
Embalse Ventanas (Río Castro; 3.250 msnm)	Agua fresca para el concentrador
Nueva Haulage	Capta agua de infiltración para uso industrial en el concentrador
Planta Operaciones Superficie	
Polvadera 1 (Río Polvadera; 1700 msnm)	Agua fresca para la Planta Area Superficie y Red de Incendios de Piscicultura
Agua Potable Saladillo Concentrador	
Angela (Estero Angela; 3.000 msnm)	Agua Potable para el concentrador
San Carlos (2.050 msnm)	Agua potable para Saladillo
Principal (2.000 msnm)	Agua potable para Saladillo
Kilómetro 15	Agua potable para Saladillo
Dren Torre 1	Agua potable para Saladillo
Gallardo	Agua potable para Saladillo
Otras Bocatomas	
Polvadera 2 (Río Polvadera; 1500 msnm)	Abastecimiento de agua para la Piscicultura y Escuela de Montaña
Polvadera 3 (Río Polvadera; 1450 msnm)	Agua para piscinas de Piscicultura

Tabla 7 “Derechos Consuntivos División Andina”

Ubicación	[l/s] Derecho Consuntivo
Río Blanco Superior	300
Cuenca Río Barriga	----
Cuenca Río Castro	223
Río Blanco Inferior	234
Total	757

Los derechos indicados en la figura 6 y tabla 7, corresponden para el Área Concentrador, a aquellos designados de manera consuntiva y que sumando 757 (l/s) pueden satisfacer gran parte de las necesidades que aquí se generan. Cabe mencionar que los derechos designados en el Río Castro, corresponden a los provenientes de la Laguna Turquesa que tienen limitaciones de asignación, de sólo 4 meses al año (noviembre, diciembre, enero, y febrero), el resto de los meses el agua se obtiene desde derechos no consuntivos. En la Planta Operaciones Superficie, el agua usada corresponde totalmente a derechos de aprovechamiento de agua de tipo no consuntivos, provenientes desde la bocatoma Polvareda, con un caudal de 180 (l/s). Ante este último tipo de derecho, existe entonces la obligación de restituir las aguas extraídas en la forma que lo determine el acto de adquisición o constitución del derecho. Esta restitución efectivamente existe, con la evacuación del efluente mixto, que se caracteriza por tener un caudal aproximado de 100 (l/s).

Para completar el balance general de aguas del proceso, es necesario contar con datos de caudales de los ríos que aportan el recurso, los que tienen una dependencia bastante significativa de las variables climáticas y estacionales. Es por ello que a continuación se realizan algunas observaciones de estos factores, para poder dar una visión global de la importancia y la escasez del recurso.

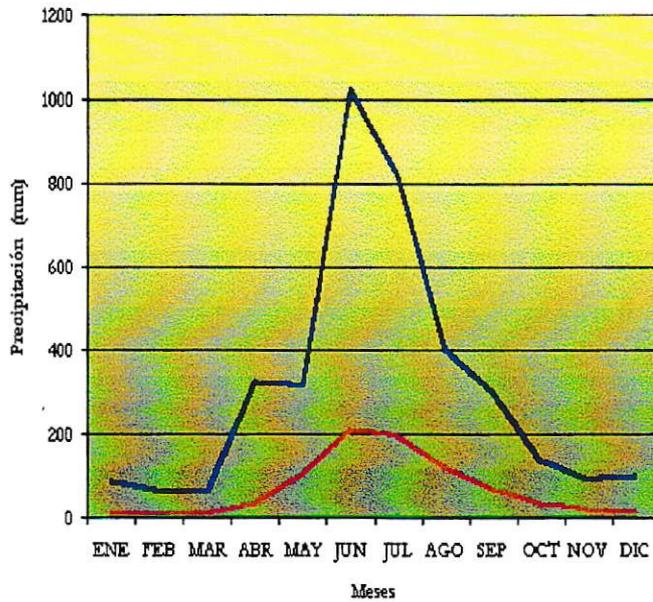
Caudales disponibles en la cuenca

La disponibilidad de este recurso estratégico en esta zona cordillerana, depende fuertemente de la **variable climática**, la que demarca una clara estacionalidad caracterizada por inviernos fríos y moderadamente lluviosos, con precipitaciones en su mayoría de tipo nival. (gráficos 1 y 2) Con ello, los caudales de agua en las cuencas son muy bajos en invierno, aumentando en los meses de primavera-verano por los deshielos, lo que crea la necesidad de manejos más exigentes durante el primer periodo.

Es importante destacar, que en los últimos años debido a la presencia del fenómeno de la niña, se han presentado años muy secos con su máxima expresión en 1996 donde las precipitaciones fueron extremadamente bajas (año de sequía crítica; gráficos 3 y 4). Por ello, fue necesario invertir fondos extras para ejecutar diversos proyectos de emergencia.

Estas acciones hasta hace poco tiempo estaban enfocadas para suplir los déficit por medio de otras alternativas, como por ejemplo la extracción desde otros cuerpos de agua (lagunas existentes en la zona alta, cercana al concentrador). Pero si se considera resolver el problema desde un sistema más globalizado, un beneficio real para el medio ambiente circundante, sólo es directo realizando acciones que lleven a una disminución del consumo de este recurso.

**Gráfico 1 “Ciclo anual de precipitaciones, mm” (últimos 25 años)
Máximo (azul); Media (rojo), Mínimo (verde).**



**Gráfico 2 “Ciclo anual de nieve caída, cm” (últimos 25 años)
Máxima (azul), Media (rojo), Mínima (verde)**

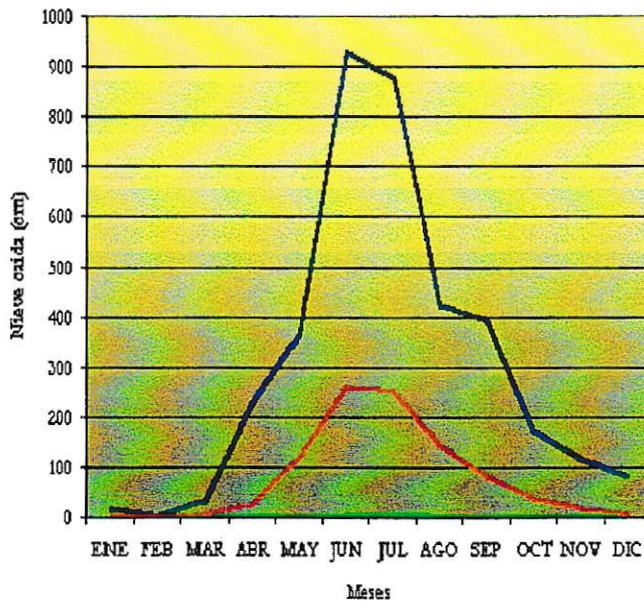


Gráfico 3 “Precipitación acumulada anual, mm” (últimos 25 años)

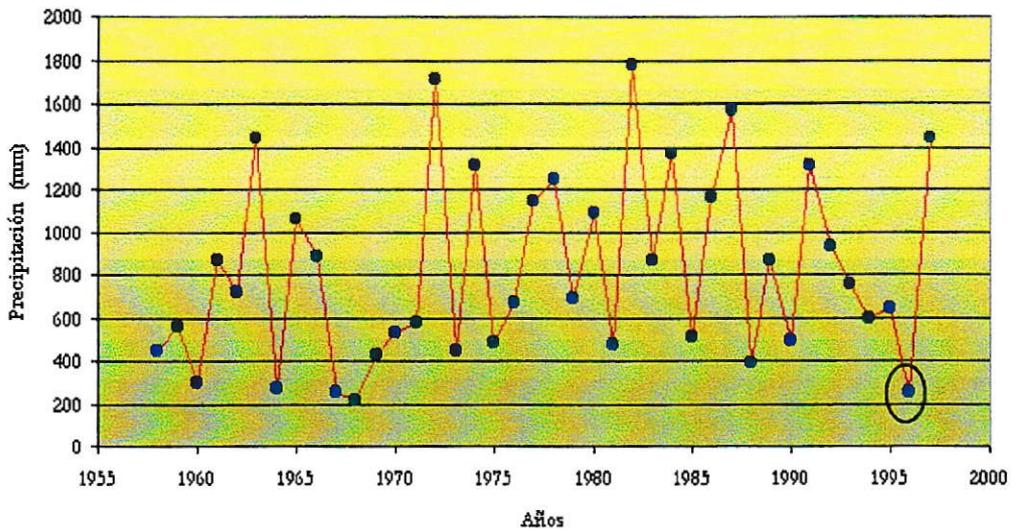
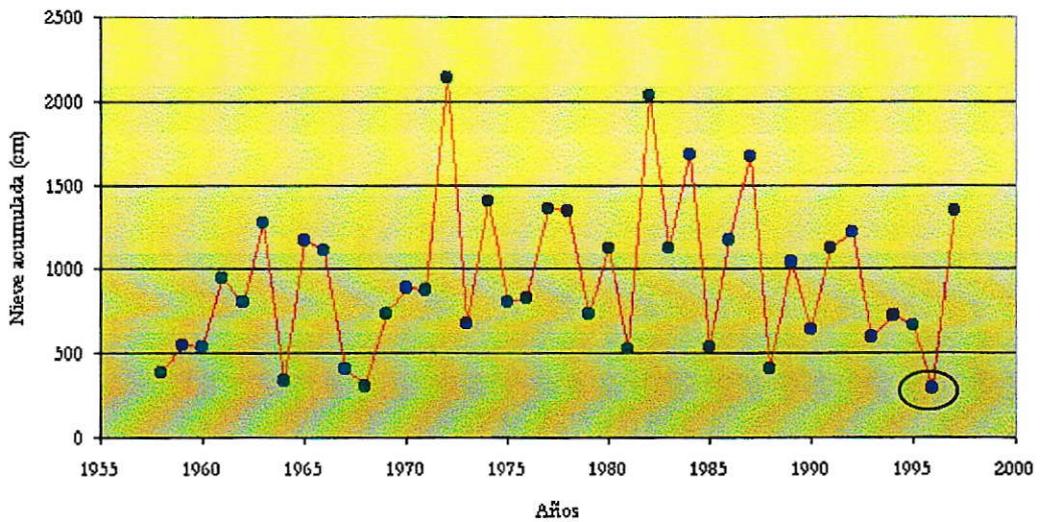


Gráfico 4 “Nieve acumulada anual, cm” (últimos 25 años)



Para una buena administración del recurso hídrico, la División Andina mantiene información renovada sobre la oferta de agua desde las fuentes disponibles. El **“Programa de Observación Estadístico”**, POE, es el encargado de este monitoreo, que incluye tanto la medición de caudales como la caracterización fisicoquímica de estas aguas. Esta estadística del POE, que presenta datos instantáneos de la situación, es la una de las dos fuentes de información directa existente. Pero desde ésta, se pueden rescatar los caudales promedio de entrada a las bocatomas durante los últimos 10 años, lo que no es suficiente para la obtención de un caudal promedio característico, por lo que es importante reafirmar estos datos a través de la otra fuente de información que es la modelación. Esta última corresponde a la llamada **“Generación Sintética de Caudales”**, la cual al entregar resultados más pesimistas que los medidos por el POE, se consideró para establecer el balance general del proceso en la condición más extrema. Este modelo computacional, a modo general, estima la disponibilidad del recurso en las fuentes conjugando las ofertas con las demandas. En el modelo, los volúmenes disponibles en los cursos naturales u ofertas de agua, se calculan para un amplio espectro de condiciones hidrológicas, desde probabilidades de excedencia de 50% para años normales, y pasando por probabilidades de excedencia del 85%, 95%, 98%, hasta condiciones de extrema sequía como el año 1996. Una de las últimas estimaciones del modelo realizada por la Superintendencia de Recursos Hidráulicos, entregó los resultados indicados en la tabla 8. En esta oportunidad, la oferta de agua en las bocatomas fueron calculadas para un 95% de probabilidad de excedencia. Si se consideran estos datos, como representativos de una situación extrema que considera la expansión, es posible establecer el **balance global de agua del proceso** del concentrador, como el presentado en la Tabla 9. En estos resultados se incluye además, el balance global de agua del proceso de la Planta Operaciones Superficie.

Para establecer el balance global del proceso se consideraron, los derechos de aprovechamiento de agua existentes, los caudales disponibles entregados por la Modelación Sintética de Caudales, y los consumos de agua por área generados en el Balance de Aguas Teórico. (Gráficos 5 y 6)

Tabla 8 “Caudales disponibles de bocatomas existentes para el proceso productivo”

Bocatoma	Caudales (Q: (l/s))											
Área Concentrador	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Enero	Feb.	Marzo	Abril
Total Bocatomas*	288	313	294	353	735	952	742	1530	1533	790	276	205
Reserva	Volúmenes de Reservas (/ 10⁶ m³)											
Otras Reservas **	6,7	5,9	5,1	4,4	4,9	5,5	6,0	7,1	7,8	8,0	7,0	5,9

Bocatoma	Caudales (Q: (l/s))											
Planta Operaciones Superficie	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Total bocatoma Polvareda ***	110,2	115,9	108,3	113,5	109,5	95,4	101,3	159,9	177,4	355,9	570,4	921,7

* Datos obtenidos por la Superintendencia de Recursos Hidráulicos, por la aplicación del modelo “Generación Sintética de Caudales”. (Probabilidad de Excedencia del 95%)

** Sumatoria de volúmenes de reserva embalsados en Laguna Turquesa, Embalse Ventana, y Laguna Barroso.

*** Los caudales de la bocatoma Polvareda, fueron obtenidos de la estadística POE.

Tabla 9 “Balance General de Aguas del Proceso – Área Concentrador y Planta Operaciones Superficie”

Bocatoma	Caudales (Q: (l/s))											
Área Concentrador	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	OCT.	Nov.	Dic.	Enero	Feb.	Marzo	Abril
Necesidad	697,9	697,9	697,9	697,9	697,9	697,9	697,9	697,9	697,9	697,9	697,9	697,9
Disponibilidad en Bocatomas*	288	313	294	353	735	952	742	1530	1533	790	276	205
Extracción desde reservas	+409,9	+384,9	+403,9	+344,9	-37,1	-254,1	-44,1	-832,1	-835,1	-92,1	+421,9	+492,9
Reserva	Volúmenes de Reservas (/ 10⁶ m³)											
Reservas **	6,7	5,9	5,1	4,4	4,9	5,5	6,0	7,1	7,8	8,0	7,0	5,9
Saldo Disponible	+5,64	+4,90	+4,05	+3,51	+5,00	+6,16	+6,11	+9,26	+9,96	+8,24	+5,91	+4,62
Derechos Consuntivos	Caudales (Q: (l/s))											
Totales	534***	534***	534***	534***	534***	534***	757	757	757	757	534***	534***

* Datos obtenidos por la Superintendencia de Recursos Hidráulicos, por la aplicación del modelo “Generación Sintética de Caudales”. (Probabilidad de Excedencia del 95%)

** Sumatoria de volúmenes de reserva embalsados en Laguna Turquesa, Embalse Ventana, y Laguna Barroso.

*** Derechos de aprovechamiento de agua sin considerar los del Embalse Turquesa, por estar concedidos sólo por 4 meses al año.

Continuación Tabla 9

Bocatoma	Caudales (Q: (l/s))											
Planta Operaciones Superficie	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	OCT.	Nov.	Dic.
Total bocatoma Polvareda ****	110,2	115,9	108,3	113,5	109,5	95,4	101,3	159,9	177,4	355,9	570,4	921,7
Necesidad	84,1	84,1	84,1	84,1	84,1	84,1	84,1	84,1	84,1	84,1	84,1	84,1
Saldo Disponible	+26,1	+24,2	+29,4	+25,4	+11,3	+17,2	+75,8	+93,3	+271,8	+486,3	+837,6	+31,8
Derechos No Consuntivos												
Total Polvareda 1	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180

**** Los caudales de la bocatoma Polvareda, fueron obtenidos de la estadística POE.

Gráfico 5 “Balance global de agua del proceso productivo – Área Concentrador”

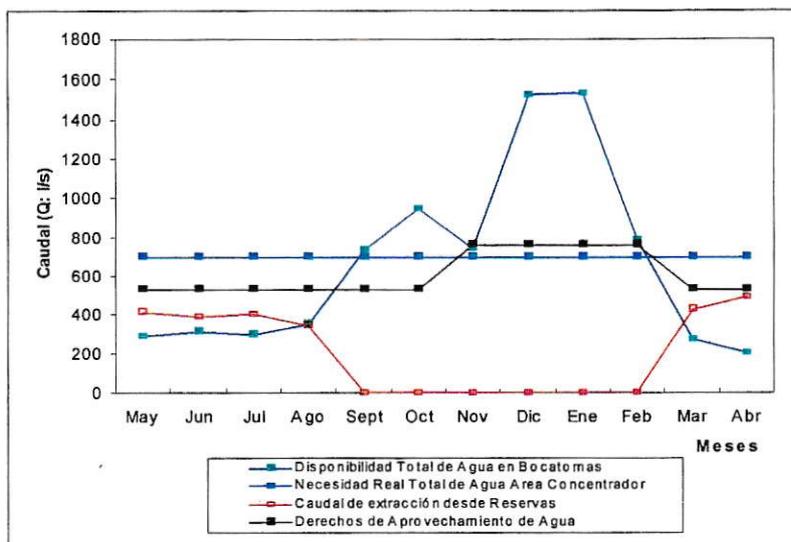
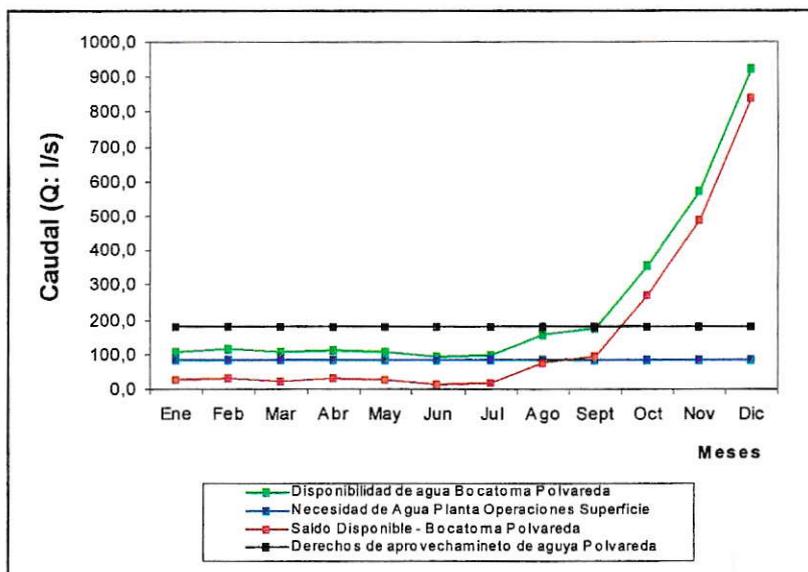


Gráfico 6 “Balance global de agua del proceso productivo – Planta Operaciones Superficie”



Con los antecedentes obtenidos y recopilados anteriormente, se tiene una perspectiva de la situación actual y real en que se encuentra la administración del recurso, pudiendo establecer y proponer con ello, alternativas que lleven a una mejoría de ésta.

Las opciones de manejo del recurso hídrico, apuntan a una disminución de sus consumos y a una reducción de los impactos, por lo que para completar una panorámica acorde con estos objetivos, es fundamental incluir en el estudio la descripción de las descargas y los efluentes (RILes) existentes en la División, para conocer su caracterización, el grado de cumplimiento de la normativa vigente y necesidad de tratamiento depurativo de éstos.

De esta forma, se presenta a continuación el siguiente capítulo que analiza esta situación faltante, para proseguir en la parte más pragmática del tema.

CAPÍTULO 3 CARACTERIZACIÓN DE DOS DESCARGAS PRODUCIDAS EN EL PROCESO

La División Andina al estar ubicada en la Cuenca del Río Blanco, descarga los RILes de los procesos a este cauce superficial, siendo éste así, su dilutor más próximo. Lo anterior y considerando que este río es aguas abajo tributario del Río Aconcagua, hace notar la importancia del conocimiento de la calidad de las descargas más significativas de este establecimiento emisor, más aún, sabiendo que este río es fuente del recurso para la mayoría de las actividades desarrolladas en la región. Con estos antecedentes, es posible establecer planes de manejo de estos RILes para disminuir los riesgos ambientales, y asegurar la existencia de un medio ambiente libre de contaminación.

En el presente capítulo, se presentan cuatro de las 22 descargas existentes en la División Andina, éstas son las **Aguas Claras del Tranque de Relaves Los Leones**, y la correspondiente al **Efluente Mixto** que está compuesta por la unión de las descargas de la **Planta Operaciones Superficie** y de la **Planta de Tratamiento de Aguas Servidas** de Saladillo. Ambas descargas son oficiales, presentan el mayor caudal del total de descargas Divisionales, y son generadas en el proceso productivo mencionado en los capítulos anteriores. La figura 7 (A y B) indica sus ubicaciones, y la tabla 10 por su parte, resume datos relacionados con sus unidades generadoras, clasificación, caudales promedios característicos y cumplimiento de la normativa vigente. El caudal promedio característico de cada una de ellas, fue obtenido de los datos del Programa de Observación Estadístico (POE), y los resultados del monitoreo hidroquímico para el análisis de la normativa vigente fueron tomados desde estudios de la Superintendencia de Recursos

Hidráulicos. El estudio de calidad contempló un análisis histórico del cumplimiento de los parámetros fisicoquímicos en estas descargas según la “Norma Técnica Relativa a Descargas de Residuos Industriales Líquidos Directamente a Cursos y Masas de Aguas Superficiales y Subterráneas (1992)”, la NCh 1.333 “Requisitos de calidad de agua para diferentes usos”, y el “Proyecto de Norma de Emisiones para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Superficiales”.

Figura 7 “Descargas principales del proceso - División Andina”

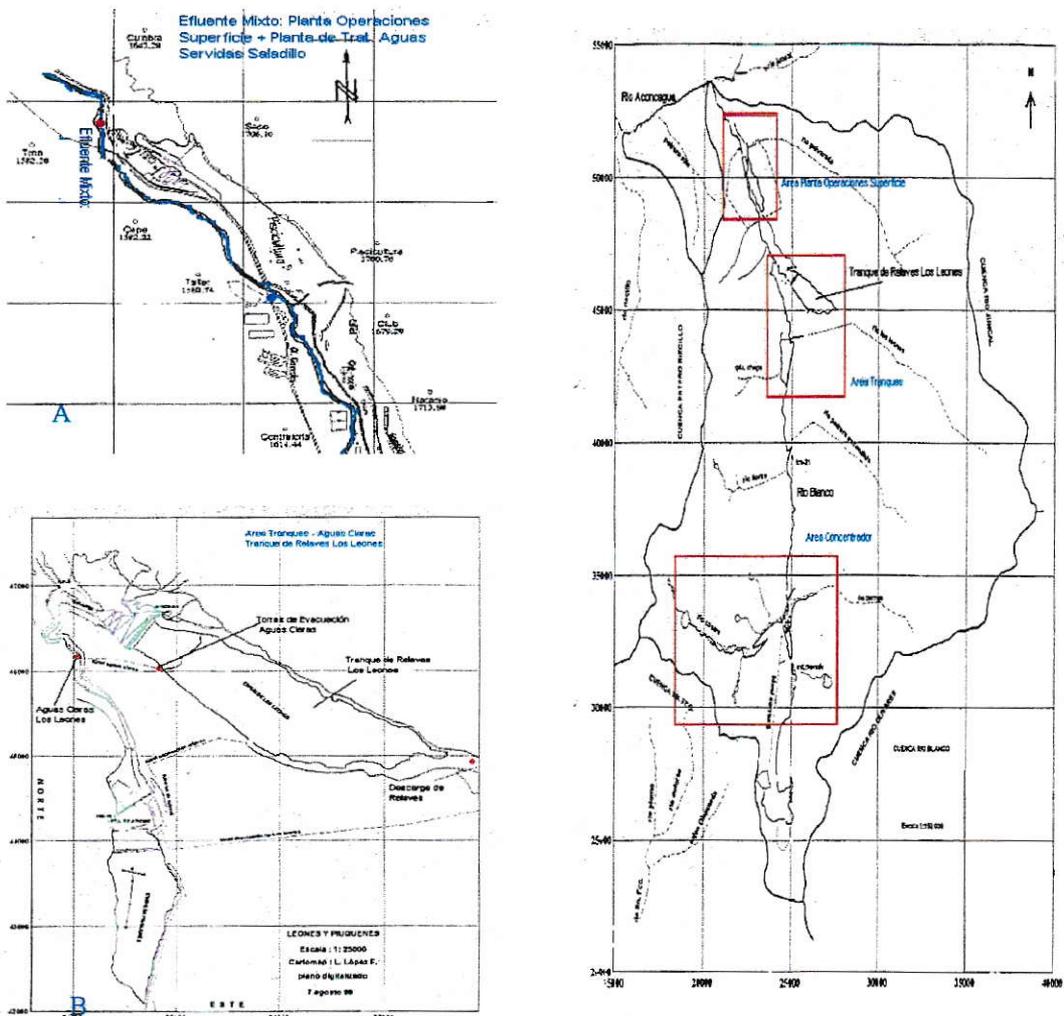


Tabla 10 "Descargas principales de las Unidades de Producción de División Andina"

Nombre del Efluente	Origen del Efluente	Calificación	Caudal (l/s)	Elementos sobrepasa norma
Unidad Generadora; Concentrador				
Aguas Claras Tranque Los Leones	Aguas contenidas en cubetas de Tranque Los Leones	Residuo Industrial Líquido	493 a 1000	Est. 15: sulfato, Mo(t), Mo(d) (Excesos puntuales)
Unidad Generadora; Concentrador y Servicios				
Efluente Mixto	Aguas Servidas Saladillo, más Efluente Planta de Filtros	Residuo Industrial Líquido	100	Est. 20: S. Susp., pH, Cu(t), Fe(t), Mo (t), S=, Colif. (t) y (f)

Luego de su depósito en el **Tranque Los Leones**, los relaves generados en el **Área Concentrador** dan lugar a las **Aguas Claras**, las cuales son llevadas por medio de un túnel especialmente diseñado, desde el tranque hasta ser descargadas en el Río Blanco. Esta descarga, es el primer RIL oficial de la División Andina, y como tal, es controlado por la autoridad competente por medio de un monitoreo regular cada 15 días. Los resultados de los análisis hidroquímicos muestran que esta descarga cumple regularmente con la Norma de RILes, con excepciones puntuales de excedencia en las concentraciones de sulfatos en tres oportunidades en los tres últimos años, y de Molibdeno total y disuelto en una ocasión durante el mismo período. (Tabla 11) Como puede observarse, estas desviaciones a la norma son pequeñas en regularidad, de hecho, ellas en los últimos tres años llegan a un porcentaje total de 5,6% en sulfato, a un 3,1% en molibdeno total, y a un 2,8% en cuanto a molibdeno disuelto.

Tabla 11 “Análisis del Cumplimiento de la Norma de RILes – Aguas Claras Tranque Los Leones”

Elemento	Norma Prov. RIL	Unidad	Episodios Sobre Norma			Porcentaje (%)			Rango que excede la norma		
			1997	1998	1999	1997	1998	1999	1997	1998	1999
Sulfato	1000	mg/l	2/17	0/12	1/7	11,8	0,00	14,3	1060-1070	-----	1257
Molibdeno (t)	0,5	mg/l	0/13	0/12	1/7	0,00	0,00	14,3	-----	-----	0,90
Molibdeno (d)	-	mg/l	0/17	0/12	1/7	0,00	0,00	14,3	-----	-----	0,90

----- No excede la norma

Desde mediados del mes de diciembre de 1999, los relaves producidos en el Área Concentrador, son enviados al Tranque de Relaves Ovejera, donde el manejo de las aguas claras contempla el concepto de “Descarga Cero” para años secos, normales, y lluviosos. Lo anterior implica, que el volumen de agua embalsado será consumido sin generar efluentes, por medio de distintos manejos. El principal de ellos, es el riego de un sistema de forestación

artificial en base de bosques de eucaliptus. Este bosque estará ubicado en la periferia del embalse, logrando la evapotranspiración de la mayor parte de las aguas embalsadas. Para el resto de las aguas, se contempla su eliminación por medio de evaporación dentro del mismo tranque de relaves.

La segunda descarga que corresponde al segundo RIL Oficial de la División Andina, es el **Efluente Mixto**. Éste se compone con involucra las descargas de la **Planta Operaciones Superficie** y de la **Planta de Tratamiento de Aguas Servidas** de Saladillo. Esta descarga, comienza a generarse por el lado de la Planta de Operaciones Superficie en el Área Concentrador, ya que el concentrado mixto que llega desde ella, viene con un alto porcentaje de humedad (aproximadamente del 50%). Esta humedad, es disminuida a un promedio de 8% en ambos concentrados por medio de un proceso de filtrado, luego de su separación en la Planta de Molibdenita. Es en el proceso de filtrado donde se genera parte de la descarga por el lado de concentrado de cobre, la cual es llevada a los Espesadores de Relaves, y desde ellos hacia la Planta de Tratamiento de Efluentes. Por el lado del concentrado de molibdenita en cambio, el efluente descartado de la Planta de Lixiviación (LR) es tratado en los clarificadores y en piscinas decantadoras, para luego unirse a los anteriores, y entrar a la Planta de Tratamiento de Efluentes.

El RIL de la Planta Operaciones Superficie, es descargado al Río Blanco luego de juntarse con las aguas que vienen de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas de Saladillo (alrededor de 15 (l/s)). El RIL de la Planta Operaciones Superficie por su parte, tiene involucrado en la Planta de Tratamiento de Efluentes una operación de sedimentación de los sólidos del descarte en piscinas decantadoras, y un abatimiento del sulfhidrato residual que viene desde la Flotación Selectiva en reactores de agitación. El abatimiento mencionado anteriormente, como ya fue explicado en el Capítulo 1, disminuye los olores y el color cuando se descarga el efluente al río, por formación de

Acido Sulfhídrico (H₂S). Pero como podrá suponerse, éste efluente final del proceso, contiene además de lo no abatido en la planta de tratamiento de efluentes, todos los componentes lixiviados del mineral en los procesos de concentración, y que no forman parte de los concentrados de cobre y de molibdenita. Por ende, un tratamiento que solamente involucre una disminución en los niveles de sulfhidrato y de los sólidos suspendidos, no es suficiente para lograr descargar al cauce un RIL que cumpla con la normativa vigente, y que no altere los parámetros normales del Río Blanco. Además es importante mencionar, que el diseño de la Planta de Tratamiento de Efluentes actual, es incapaz de dar a los RILes un tiempo de residencia adecuado, por el nuevo flujo volumétrico de la descarga, generado con el Proyecto de Expansión, situación que ocurre tanto en los pozos de decantación como en los estanques de agitación para la oxidación del sulfhidrato. Lo anterior, se basa en datos recopilados que indican que el nivel de eficiencia del abatimiento en ésta planta alcanza sólo porcentajes entre (51 y 52)%. (Tabla 12)

Tabla 12 “Eficiencia de Abatimiento en Planta de Tratamiento de Efluentes” Fuente: “Estudio de acciones en caso de vertido accidental de insumos, productos y mezclas”, Centro de Investigación Minero Metalúrgico (CIMM), 1998

Parámetros	Entrada (Kg/d)		Salida (Kg/d)		(%) Eficiencia	
Cobre	771,9	295,4	257,3	71,5	67	76
Molibdeno	48,6	19,1	41,9	12,4	14	35
S²⁻	619,4	257,3	305,0	123,9	51	52
Fe (t)	409,8	1.382	209,7	142,9	49	90
HS⁻	638,5	257,3	314,5	123,9	51	52

La descarga de la Planta Operaciones Superficie, es monitoreada periódicamente, y el estudio de los resultados muestran que existen excesos a la Norma de RILes y al Proyecto de Norma de RILes, en cuanto a sólidos en suspensión, pH, cobre, hierro, molibdeno total, y sulfuros. (Tabla 13) Estos excesos, durante los tres últimos años han tenido una frecuencia de excedencia

como la representada a continuación:

Tabla 13 “Análisis del Cumplimiento de la Norma de RILes – Descarga Planta Operaciones Superficie”

Elemento	Norma Prov. RIL	Unidad	Episodios Sobre Norma			Porcentaje (%)			Rango que excede la norma		
			1997	1998	1999	1997	1998	1999	1997	1998	1999
S. Suspensión	100	mg/l	6/11	3/12	0/5	54,5	25,0	0,00	108-1270	102-189	****
PH	5,5-9	mg/l	11/11	10/12	5/5	100	83,3	100	9,9-11,4	9,5-13,02	10,3-11,9
Cobre total	3	mg/l	2/4	0/0	3/4	50,0	----	75,0	3,5-8,3	----	3,1-13,8
Molibdeno (t)	0,5	mg/l	1/1	0/0	7/7	100	----	100	0,52	----	0,79-1,7
Hierro total	10	mg/l	0/0	0/0	1/4	----	----	25,0	----	----	13,2

---- no existió medición, **** no sobrepasó la norma; según corresponda.

Con lo anterior, es posible observar que es en la descarga de la Planta de Operaciones Superficie en donde se debe enfocar toda la atención, ya que buenos planes de manejo de ella apuntan clara y directamente la disminución de impactos al medioambiente circundante. Una de las maneras de buscar la solución, es realizando entonces, estudios que lleven a una mejoría en la calidad de estos RILes. Buscando lo anterior, es que la Superintendencia de Ingeniería desarrolla la “**Ingeniería Básica de la Planta de Tratamiento de Efluentes**”, con el objetivo de realizar pruebas y estudios tendientes a generar la técnica necesaria para licitar y construir una planta de tratamiento, que permita al efluente mixto cumplir las normas de RILes. Sin embargo se debe recordar, que este efluente incluye a la descarga de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas de Saladillo, la cual en la actualidad cumple con la normativa, a pesar de que el análisis histórico de los resultados del monitoreo hidroquímico, indicó que hasta fines de 1998, esta no presentó la misma caracterización.

La **Planta de Tratamiento de Aguas Servidas** de Saladillo, trata la totalidad de la descarga de Saladillo, y corresponde a un tipo convencional de

espesamiento y aireación. Los componentes de esta planta son: un triturador que se encarga de reducir la carga de sólidos, un estanque de aireación encargado de inyectar aire, dos estanques digestores, un estanque clarificador, un sistema automático de cloración y dos canchas de secado de lodos. Las aguas tratadas, se unen con el efluente de la Planta Operaciones Superficie para formar el efluente mixto y posteriormente ser vertidas al Río Blanco. El control hidroquímico de esta descarga es realizado periódicamente, y los resultados muestran que hasta diciembre de 1998 se excedía la Norma de RILes en los coliformes fecales, por sobre los 16.000 NMP/100ml. En 1999, la planta entró en mantención, con lo cual el parámetro fuera de norma llegó a límites más que aceptables. (menor a 2 NMP/100ml y máximos de 49 NMP/100ml)

En resumen, en Efluente Mixto excede los límites permitidos en la Norma de RILes, de los parámetros sólidos en suspensión, pH, cobre, hierro, molibdeno total, sulfuro, y coliformes fecales y totales hasta fines de 1999. Además existen excesos puntuales en cuanto a los parámetros de aceites y grasas, y en nitrógeno. Con respecto al Proyecto Norma RILes, se mantienen los excesos en los parámetros antes indicados, y se sumaría puntualmente el manganeso. (Tabla 14)

Tabla 14 “Análisis del Cumplimiento de la Normativa de RILes – Efluente Mixto”

Elemento	Norma Prov. RIL	Unidad	Episodios sobre norma			Porcentaje (%)			Rango que excede la Norma		
			1997	1998	1999	1997	1998	1999	1997	1998	1999
Sólidos en suspensión	100	mg/l	2/17	3/12	1/6	11,8	25,0	16,7	104 –114	120-618	136
pH	5.5 - 9	mg/l	15/17	8/12	7/7	88,2	66,7	100	9,29-11,63	9,28-12,29	9,43-11,6
Cobre total	3	mg/l	13/13	11/12	6/7	100	91,7	85,7	3,2-21	3,7-58	3,6-12
Hierro total	10	mg/l	5/13	6/12	0/6	38,5	50,0	0,00	14,2-20	11,3-50	****
Molibdeno total	0,5	mg/l	6/13	10/12	7/7	46,2	83,3	100	0,52-0,94	0,52-2,8	0,79-1,7
Nitrógeno	10	mg/l	0/17	2/12	0/1	0,00	16,7	0,00	****	14-28	****
Sulfuros	3	mg/l	7/7	9/12	5/7	100	75,0	71,4	13-19	4-81	4-29
Coliformes Fecales	1000	NMP/100ml	4/17	3/12	0/7	23,5	25,0	0,00	>1600-16000	1100->16000	****
DBO5	100	mg/l	0/17	2/12	2/6	0,00	16,7	33,3	****	125-245	314-473
Aceites y grasas	50	mg/l	0/17	1/12	0/2	0,00	8,3	0,00	****	470	****

---- no existió medición, **** no sobrepasó la norma; según corresponda.

(Las Tablas 15, 16, 17, y 18 muestran el monitoreo hidroquímico en las descargas mencionadas en el presente capítulo, las que fueron tomadas del “Diagnóstico de los Residuos Industriales Líquidos y otras descargas de las áreas operativas” – Superintendencia de Recursos Hidráulicos, División Andina - Codelco Chile, 1999)

Tabla 15 "Monitoreo hidroquímico Salida evacuación Aguas Claras Tranque Los Leones"

Elemento	Unidad	FECHA										Norma Prov. RIL	Proyecto Norma RILes		
		07.01.97	28.01.97	11.02.97	25.02.97	05.03.97	19.03.97	08.04.97	22.04.97	07.05.97	22.05.97		sin dilución	con dilución	
Cloruros	Mg/l	67	-	61	57	76	71	78	52	60	49	-	400	2000	
Sólidos disueltos	Mg/l	976	1450	884	1670	928	896	884	1740	1360	1680	-	-	-	
Sólidos en suspensión	Mg/l	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	100	80	300	
Sulfatos	Mg/l	581	835	418	988	462	387	481	1070	883	1060	1000	1	2000	
pH		7,88	7,92	7,86	7,42	7,49	7,26	8,0	8,43	7,9	8,0	5,5 - 9	6,0 - 8,5	6,0 - 8,5	
Sodio	Mg/l	36	-	36	33	33	34	37	35	32	30	-	-	-	
Calcio	Mg/l	265	-	165	335	175	145	190	385	290	388	-	-	-	
Cobre total	Mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	3	1	3	
Cobre disuelto	Mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	-	-	-	
Hierro total	Mg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0,1	<0.1	<0.1	0,1	10	-	-	
Hierro disuelto	Mg/l	<0.1	-	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	-	5	10	
Manganeso total	Mg/l	<0.05	-	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	-	0,3	3	
Manganeso disuelto	Mg/l	<0.05	-	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	-	-	-	
Molibdeno total	Mg/l	0,09	0,19	0,05	0,24	0,05	0,04	0,06	0,21	0,16	0,21	0,5	1	2,5	
Molibdeno disuelto	Mg/l	0,09	0,19	0,04	0,21	0,05	0,03	0,05	0,21	0,16	0,19	-	-	-	
Aluminio total	Mg/l	1	-	<1	<1	<1	<1	1	<1	<1	<1	-	5	-	
Arsénico total	Mg/l	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0,5	0,5	1	
Arsénico disuelto	Mg/l	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	-	-	-	
Conductividad	µmho / cm	1313	1678	1100	2042	1207	1152	1219	2263	1863	1974	-	-	-	
Acido sulfhídrico	Mg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	-	-	-	
Cadmio	Mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0,3	0,01	0,3	
Cromo	Mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0,5	0,05	0,2*	
Cianuro libre	Mg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1	0,2	1	
Nitrógeno	Mg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	10	50	75***	
Níquel	Mg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	3	0,2	3	
Fósforo	Mg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	-	10	15	
Potasio	Mg/l	-	49	13,7	50	13,7	10	16,2	63	45	64	-	-	-	
Boro	Mg/l	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	-	0,75	3	
Mercurio	Mg/l	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0,02	0,001	0,01	
Plomo	Mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	1	0,05	0,5	
Zinc	Mg/l	<0.02	<0.05	0,02	<0.02	0,07	<0.02	0,04	<0.02	<0.02	<0.02	5	3	20	
Coliformes fecales	NMP/100ml	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	1000	1000	1000	
DBO5	Mg/l	<0.5	1,2	1,1	0,7	1	1,2	0,9	0,9	1,7	5,5	100*	35	300	
Detergentes	Mg/l	<0.5	<0.2	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	2	-	-	
Aceites y grasas	Mg/l	<5	<5	11	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	50	20	50	
Hidrocarburos	Mg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	50	10	50**	
Triclorometano	mg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0,5	0,2	0,5	

Continuación Tabla 15

	Unidad	FECHA									Norma Prov. RIL	Proyecto Norma RILes	
		11.06.97	25.06.97	08.07.97	22.07.97	12.08.97	08.09.97	07.10.97	04.11.97	16.12.97		sin dilución	con dilución
Cloruros	mg/l	-	-	43	63	62	44	46	13	23	-	400	2000
Sólidos disueltos	mg/l	-	-	988	1040	1200	1020	1120	448	656	-	-	-
Sólidos en suspensión	mg/l	-	-	<10	<10	56	<10	14	<10	<10	100	80	300
Sulfatos	mg/l	-	-	618	570	678	552	715	245	383	1000	1000	2000
pH		-	-	7,56	7,89	7,73	8,70	7,94	7,9	8,14	5.5 - 9	6,0 - 8.5	6,0 - 8.5
Sodio	mg/l	-	-	25	33	33	23	30	10,1	14,3	-	-	-
Cobre total	mg/l	-	-	-	-	-	-	0,12	<0,05	<0,05	3	1	3
Cobre disuelto	mg/l	-	-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-
Hierro total	mg/l	-	-	-	-	-	-	<0,1	0,1	0,2	10	-	-
Hierro disuelto	mg/l	-	-	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	-	5	10
Manganeso total	mg/l	-	-	-	-	-	-	<0,05	<0,05	<0,05	-	0,3	3
Manganeso disuelto	mg/l	-	-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-
Molibdeno total	mg/l	-	-	-	-	-	-	0,11	0,04	0,05	0,5	1	2,5
Molibdeno disuelto	mg/l	-	-	0,16	0,07	0,13	0,10	0,11	0,03	0,05	-	-	-
Aluminio total	mg/l	-	-	-	-	-	-	<1	1	1	-	5	-
Arsénico total	mg/l	-	-	-	-	-	-	<0,03	<0,03	<0,03	0,5	0,5	1
Arsénico disuelto	mg/l	-	-	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	-	-	-
Conductividad	µmho / cm	-	-	1352	1279	1429	1189	1512	596	879	-	-	-
Acido sulfhídrico	mg/l	-	-	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	-	-	-
Cadmio	mg/l	-	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,3	0,01	0,3
Cromo	mg/l	-	-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,5	0,05	0,2*
Cianuro libre	mg/l	-	-	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	1	0,2	1
Nitrógeno	mg/l	-	-	<1	1	<1	<1	<1	<1	1	10	50	75***
Niquel	mg/l	-	-	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	3	0,2	3
Fósforo	mg/l	-	-	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	-	10	15
Potasio	mg/l	-	-	45	-	37	37	1,9	15,4	19,9	-	-	-
Boro	mg/l	-	-	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	-	0,75	3
Mercurio	mg/l	-	-	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,02	0,001	0,01
Plomo	mg/l	-	-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	1	0,05	0,5
Sulfuros	mg/l	-	-	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	3	1	10
Zinc	mg/l	-	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,03	<0,02	<0,02	5	3	20
Coliformes totales	NMP/100ml	-	-	<2,0	<2,0	23	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	-	-	-
Coliformes fecales	NMP/100ml	-	-	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	1000	1000	1000
DBO5	mg/l	-	-	12	5,6	4,0	4,10	3,9	<0,5	0,8	100*	35	300
Aceites y grasas	mg/l	-	-	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	50	20	50

Continuación Tabla 15

Elemento	Unidad	FECHA												Norma Prov. RIL	Proyecto Norma RILes	
		07.01.98	11.02.98	10.03.98	14.04.98	12.05.98	10.06.98	15.07.98	12.08.98	09.09.98	13.10.98	11.11.98	17.12.98		Sin dilución	con dilución
Cloruros	mg/l	27	46	57	48	57	57	58	62	58	65	65	23	-	400	2000
Sólidos disueltos	mg/l	776	752	892	1160	1380	1470	1390	1400	1450	792	780	740	-	-	-
Sólidos en suspensión	mg/l	<10	<10	<10	14	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	100	80	300
Sulfatos	mg/l	473	453	509	685	810	862	820	824	856	421	365	455	1000	1000	2000
PH		7,95	7,71	7,96	8,01	7,89	7,63	7,79	7,96	7,7	7,76	7,97	7,65	5.5 - 9	6,0 - 8.5	6,0 - 8.5
Sodio	mg/l	18,1	23	30	31	32	35	33	38	34	42	39	16	-	-	-
Calcio	mg/l	140	150	190	49	305	290	253	284	296	180	145	140	-	-	-
Cobre total	mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0,09	<0.05	<0.05	<0.05	3	1	3
Cobre disuelto	mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	-	-	-
Hierro total	mg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0,1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	10	-	-
Hierro disuelto	mg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	-	5	10
Manganeso total	mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	-	0,3	3
Manganeso disuelto	mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	-	-	-
Molibdeno total	mg/l	0,07	0,06	0,07	0,1	0,14	0,13	0,18	0,16	0,21	0,04	0,02	0,18	0,5	1	2,5
Molibdeno disuelto	mg/l	0,05	0,05	0,06	0,1	0,12	0,13	0,18	0,16	0,16	0,04	<0.01	0,17	-	-	-
Aluminio total	mg/l	1	<1	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1	-	5	-
Arsénico total	mg/l	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0,5	0,5	1
Arsénico disuelto	mg/l	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	-	-	-
Conductividad	µmho / cm	1039	1033	1247	1412	1726	1722	1694	1706	1798	1135	1056	1028	-	-	-
Acido sulfhídrico	mg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	-	-	-
Cadmio	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0,3	0,01	0,3
Cromo	mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.01	0,5	0,05	0,2
Cianuro libre	mg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1	0,2	1
Níquel	mg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	3	0,2	3
Fósforo	mg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	-	10	15
Boro	mg/l	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	-	0,75	3
Mercurio	mg/l	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0,02	0,001	0,01
Plomo	mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	1	0,05	0,5
Sulfuros	mg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	3	1000	10
Coliformes totales	NMP/100ml	<2.0	2	7,8	2	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	2	<2.0	61	2	-	-	-
Coliformes fecales	NMP/100ml	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	1000	1000	1000
DBO5	mg/l	0,5	0,8	<0.5	1,7	4	4,4	8,1	5,9	11	0,9	1,5	1	100	35	300

Continuación Tabla 15

Elemento	Unidad	FECHA							Norma Prov. RIL	Proyecto Normas RILEs	
		06.01.99	09.02.99	10.03.99	24.03.99*	07.04.99	12.05.99	09.06.99		sin dilución	con dilución
Cloruros	mg/l	9	26	36	-	45	60	49	-	400	2000
Sólidos disueltos	mg/l	262	828	1350	1390	1480	815	2135	-	-	-
Sólidos en suspensión	mg/l	<10	<10	<10	-	<10	<10	<10	100	80	300
Sulfatos	mg/l	139	520	794	284	912	400	1257	1000	1000	2000
pH		7,67	7,89	7,94	7,66	7,73	7,9	7,3	5.5 - 9	6,0 - 8.5	6,0 - 8.5
Sodio	mg/l	2,7	-	-	36	-	-	-	-	-	-
Calcio	mg/l	59	165	235	282	315	148	483	-	-	-
Cobre total	mg/l	<0.05	<0,05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0,05	3	1	3
Cobre disuelto	mg/l	<0.05	<0,05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0,05	-	-	-
Hierro total	mg/l	0,8	1	0,3	-	<0.1	<0.05	0,06	10	-	-
Hierro disuelto	mg/l	<0.1	<0,1	<0.1	-	<0.1	<0.05	<0,05	-	5	10
Manganeso total	mg/l	0,08	<0,05	<0.05	12,5	<0.05	0,01	0,02	-	0,3	3
Manganeso disuelto	mg/l	0,05	<0,05	<0.05	12,3	<0.05	<0.01	0,02	-	-	-
Molibdeno total	mg/l	0,06	0,14	0,38	0,33	0,5	0,01	0,9	0,5	1	2,5
Molibdeno disuelto	mg/l	0,06	0,14	0,38	0,3	0,46	0,01	0,9	-	-	-
Arsénico total	mg/l	<0.03	<0,03	<0.03	-	<0.03	<0.05	<0,05	0,5	0,5	1
Arsénico disuelto	mg/l	<0.03	<0,03	<0.03	-	<0.03	<0.05	<0,05	-	-	-
Conductividad	µmho / cm	422	1182	1578	1640	1786	912	2200	-	-	-
Acido sulfhídrico	mg/l	<1	<1	<1	-	<1	< 0.5	<1	-	-	-
Cadmio	mg/l	<0.01	-	-	-	-	-	-	0,3	0,01	0,3
Cromo	mg/l	<0.05	-	-	-	-	-	-	0,5	0,05	0,2
Cianuro libre	mg/l	<0.1	<0,1	<0.1	-	<0.1	<0.1	<0,1	1	0,2	1
Níquel	mg/l	<0.1	-	-	-	-	-	-	3	0,2	3
Fósforo	mg/l	<1	<1	<1	-	<1	<0.5	<0,5	-	10	15
Potasio	mg/l	6,6	27	45	47	56	8,1	88	-	-	-
Mercurio	mg/l	<0.001	-	-	<0.001	-	-	-	0,02	0,001	0,01
Plomo	mg/l	<0.05	<0,05	<0.05	-	<0.05	<0.05	<0,05	1	0,05	0,5
Sulfuros	mg/l	<1	<1	<1	-	<1	<0.5	<0,5	3	1	10
coliformes totales	NMP/100ml	4	-	-	2	-	-	-	-	-	-
coliformes fecales	NMP/100ml	<2.0	-	-	<2.0	-	-	-	1000	1000	1000
DBO5	mg/l	3,8	-	-	-	-	-	-	100	35	300
Aceites y grasas	mg/l	<5	<5	<5	-	<5	<10	<10	50	20	50
Hidrocarburos	mg/l	<5	<5	<5	-	<5	<10	<10	50	10	50

Tabla 16 "Monitoreo hidroquímico Descarga Planta Operaciones Superficie"

Elemento	Unidad	07.01.97	28.01.97	08.04.97	07.05.97	25.06.97	22.07.97	26.08.97	23.09.97	21.10.97	18.11.97	16.12.97	21.01.98	26.02.98	24.03.98	Norma Prov. RIL	sin dilución	con dilución
Cloruros	mg/l	-	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	400	2000
Sólidos disueltos	mg/l	888	852	1020	480	1130	1180	964	972	1080	748	1390	740	1020	1090	-	-	-
Sólidos suspensión	mg/l	94	108	90	117	86	146	38	740	1270	117	198	51	86	30	100	80	300
Sulfatos	mg/l	244	215	262	167	244	144	243	421	391	255	448	147	319	379	1000	1000	2000
pH		11,31	11,3	11,35	10,57	11,25	11,4	11,25	10,56	10,62	10,62	9,91	10,66	6,89	6,54	5,5 - 9	6,0 - 8,5	6,0 - 8,5
Sodio	mg/l	-	252	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cobre total	mg/l	8,3	0,97	3,5	2,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1	3
Cobre disuelto	mg/l	0,15	0,13	0,55	0,05	0,15	0,10	0,17	0,14	1,2	0,21	0,31	0,15	0,18	0,05	-	-	-
Hierro disuelto	mg/l	-	0,1	-	-	0,7	0,1	0,6	0,8	1,1	0,5	1,1	0,2	0,4	0,6	-	5	10
Manganeso total	mg/l	-	<0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3	3
Manganeso disuelto	mg/l	-	<0.05	-	-	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	-	-	-
Molibdeno total	mg/l	-	0,52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	1	2,5
Molibdeno disuelto	mg/l	0,28	0,52	-	0,38	0,52	0,38	0,36	0,26	0,21	0,17	0,71	0,14	0,19	0,22	-	-	-
Conductividad	µmho / cm	1803	1856	2034	951	1988	1861	1574	1535	1483	1135	1777	1247	1434	1720	-	-	-
Acido sulfhídrico	mg/l	13	7	12	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Elemento	Unidad	28.04.98	27.05.98	24.06.98	29.07.98	26.08.98	23.09.98	27.10.98	25.11.98	17.12.98	19.01.99	09.02.99	10.03.99	07.04.99	12.05.99		sin dilución	con dilución
Cloruros	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	394	27	80	269	-	400	2000
Sólidos disueltos	mg/l	1330	1960	904	1320	1080	1360	1790	2180	1490	2050	2170	273000	950	2300	-	-	-
Sólidos suspensión	mg/l	34	102	39	73	108	189	28	44	49	55	37	53	36	98	100	80	300
Sulfatos	mg/l	377	510	305	385	410	444	560	614	543	313	680	337	324	490	1000	1000	2000
pH		9,6	10,96	10,7	9,72	9,5	10,23	13,02	11,79	11,17	11,9	11,32	11,3	10,47	10,3	5,5 - 9	6,0 - 8,5	6,0 - 8,5
Cobre total	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,6	8,5	3,1	13,8	3	1	3
Cobre disuelto	mg/l	0,58	0,28	0,05	0,37	0,15	0,49	0,43	0,09	0,06	<0.05	1,1	<0.05	0,07	0,6	-	-	-
Hierro total	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,3	7,8	2,9	13,2	10	-	-
Hierro disuelto	mg/l	0,3	1,2	0,3	0,3	<0.1	0,2	0,2	0,3	0,3	1,1	<0.1	0,1	0,9	<0.05	-	5	10
Manganeso total	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,06	<0.05	<0.05	0,4	-	0,3	3
Manganeso disuelto	mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0,43	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0,07	-	-	-
Molibdeno total	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,79	1,3	1,6	1,7	0,5	1	2,5
Molibdeno disuelto	mg/l	0,7	0,29	0,37	0,72	0,66	0,35	1,1	0,67	0,85	1,3	0,79	1,1	1,3	1,5	-	-	-
Arsénico disuelto	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,08	<0.03	<0.03	0,06	-	-	-
Conductividad	µmho / cm	1917	2758	1430	1908	1789	2042	3311	3828	2192	3704	3203	4002	1425	3000	-	-	-
Acido sulfhídrico	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<1	29	11	<0.5	-	-	-
Sulfuros	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	29	11	8,5	-	-	-

Tabla 17 "Monitoreo hidroquímico Planta de Tratamiento de Aguas Servidas Saladillo"

Elemento	Unidad	FECHA														Norma Prov. RIL	Proyecto Norma RILes			
		07.01.97	28.01.97	11.02.97	25.02.97	05.03.97	08.04.97	07.05.97	25.06.97	23.09.97	16.12.97	24.03.98	24.06.98	22.09.98	17.12.98		sin dilución	con dilución		
Cloruros	mg/l	-	27	-	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	400	2000	
Sólidos disueltos	mg/l	320	328	368	1580	366	288	320	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Sólidos en suspensión	mg/l	24	126	69	13	13	<10	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	80	300
Sulfatos	mg/l	-	137	-	969	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1000	1000	2000
pH		7,69	-	7,03	7,75	7,09	7,37	7,04	8,21	7,01	7,03	6,93	7,32	7,27	17.12.98	5.5 - 9	6,0 - 8,5	6,0 - 8,5		
Coliformes totales	NMP/100ml	>16000	>16000	>16000	-	>16000	>16000	-	<2.0	> 1600	> 16000	> 16000	4,5	79	-	-	-	-	-	
Coliformes fecales	NMP/100ml	5400	>16000	>16000	-	>16000	>16000	-	<2.0	> 1600	> 16000	9200	<2.0	2	-	1000	1000	1000		
DBO5	mg/l	16	85	13		40	10	22	60	77	45	260	50	44	-	100*	35	300		

Elemento	Unidad	09.02.99	10.03.99	07.04.99	12.05.99	09.06.99	Norma Prov. RIL	Proyecto Norma RILes	
								Sin dilución	Con dilución
Cloruros	mg/l	47	19	67	69	61	-	400	2000
Sólidos disueltos	mg/l	348	476	532	645	665	-	-	-
Sólidos en suspensión	mg/l	<10	15	<10	46	17	100	80	300
Sulfatos	mg/l	-	-	-	-	-	1000	1000	2000
pH		7,43	7,58	7,46	7,3	7,5	5.5 - 9	6,0 - 8,5	6,0 - 8,5
coliformes totales	NMP/100ml	> 16000	13	7,8	110	4	-	-	-
coliformes fecales	NMP/100ml	49	<2.0	2	22	<2	1000	1000	1000
DBO5	mg/l	7,1	2	23	<10	<10	100	35	300

Tabla 18 "Monitoreo hidroquímico Efluente Mixto"

Elemento	Unidad	FECHA												Norma Prov. RIL	Proyecto Norma RILes	
		07.01.97	28.01.97	11.02.97	25.02.97	05.03.97	19.03.97	08.04.97	22.04.97	07.05.97	22.05.97	11.06.97	25.06.97		sin dilución	con dilución
Cloruros	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22	-	400	2000
Sólidos disueltos	mg/l	639	532	698	803	610	752	750	880	444	1090	-	860	-	-	-
Sólidos en suspensión	mg/l	47	16	114	104	60	54	63	62	46	63	-	82	100	80	300
Sulfatos	mg/l	309	189	373	240	182	181	186	177	297	244	-	217	1000	1000	2000
pH		10,94	10,91	10,93	9,95	9,65	10,54	10,99	10,75	5,85	11,63	-	10,89	5.5 - 9	6,0 - 8,5	6,0 - 8,5
Sodio	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	214	-	-	-
Cobre total	mg/l	3,2	4	14,1	8,7	8,8	6,9	8,9	6,1	7,6	21	-	-	3	1	3
Cobre disuelto	mg/l	0,14	0,1	0,14	2	<0,05	<0,05	0,08	<0,05	0,64	0,16	-	0,14	-	-	-
Hierro total	mg/l	3	7,2	14,2	20	7,9	5,8	6,6	4,6	5,8	15,5	-	-	10	-	-
Hierro disuelto	mg/l	0,1	<0,1	4	2,6	0,5	0,5	1,5	2,1	0,4	0,2	-	0,4	-	5	10
Manganeso disuelto	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	0,08	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,08	<0,05	-	<0,05	-	-	-
Molibdeno total	mg/l	0,45	0,5	0,52	0,79	0,52	0,29	0,16	0,4	0,5	0,66	-	-	0,5	1	2,5
Molibdeno disuelto	mg/l	0,35	0,31	0,35	0,28	0,24	0,19	0,08	0,3	0,27	0,22	-	0,36	-	-	-
Aluminio disuelto	mg/l	1	1	1	2	1	<1	3	1	<1	1	-	-	-	-	-
Arsénico total	mg/l	0,1	0,07	0,1	0,17	0,14	0,09	0,09	0,22	0,12	0,31	-	-	0,5	0,5	1
Arsénico disuelto	mg/l	0,05	0,03	0,25	0,06	0,05	0,05	0,03	0,06	0,04	0,09	-	0,04	-	-	-
Conductividad	µmho / cm	1189	1034	1317	1401	873	1216	1378	1558	938	1963	-	1478	-	-	-
Acido sulfhídrico	mg/l	8	2	9	13	5	8	5	7	4	8	-	16	-	-	-
Cadmio	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-	<0,01	0,3	0,01	0,3
Cromo	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	<0,05	0,5	0,05	0,2
Cianuro libre	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	-	<0,1	1	0,2	1
Nitrógeno	mg/l	1	2	2	2	2	3	3	4	3	6	-	9	10	50	75
Níquel	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	-	<0,1	3	0,2	3
Fósforo	mg/l	<1	<1	1	<1	<1	<1	<1	<1	1	<1	-	<1	-	10	15
Mercurio	mg/l	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	<0,001	0,02	0,001	0,01
Plomo	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	<0,05	1	0,05	0,5
Sulfuros	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	3	1	10
coliformes totales	NMP/100ml	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	>1600	-	-	-
coliformes fecales	NMP/100ml	<2	2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	22	<2	-	>1600	1000	1000	1000
DBO5	mg/l	38	12	45	52	20	16	45	45	38	30	-	20	100	35	300
Detergentes	mg/l	<0,5	<0,2	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	-	<0,5	2	-	-
Aceites y grasas	mg/l	24	7	32	25	5	17	34	42	18	34	-	13	50	20	50
Hidrocarburos	mg/l	<5	<5	10	<5	<5	6	10	33	<5	19	-	10	50	10	50
Triclorometano	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	-	<0,1	0,5	0,2	0,5

Continuación Tabla 18

Elemento	Unidad	FECHA												Norma Prov. RIL	Proyecto Norma RILes	
		08.07.97	12.08.97	08.09.97	07.10.97	04.11.97	16.12.97	08.01.98	11.02.98	11.03.98	15.04.98	13.05.98	10.06.98		Sin dilución	con dilución
Cloruros	mg/l	20	17	12	14	16	27	26	65	17	10	37	119	-	400	2000
Sólidos disueltos	mg/l	772	1140	760	852	768	928	820	748	660	1080	1180	918	-	-	-
Sólidos en suspensión	mg/l	56	41	65	58	100	93	71	49	50	15	43	64	100	80	300
Sulfatos	mg/l	193	159	124	317	383	421	310	314	197	333	259	264	1000	1000	2000
pH		10,26	9,89	9,29	10,32	8,81	9,35	9,79	6,29	5,97	9,28	6,45	10,96	5,5 - 9	6,0 - 8,5	6,0 - 8,5
Magnesio	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sodio	mg/l	171	260	150	190	165	192	-	181	157	390	272	241	-	-	-
Calcio	mg/l	-	-	25	25	21,5	40	28	26	34	35	44	37	-	-	-
Cobre total	mg/l	-	-	-	6,3	12,1	19,2	5,9	16,2	8,9	2,7	6,1	15,2	3	1	3
Cobre disuelto	mg/l	0,49	0,36	0,82	0,28	0,24	0,43	1,3	0,19	0,31	0,34	1,2	0,11	-	-	-
Hierro total	mg/l	-	-	-	5,2	10,4	17,8	4,3	13,2	11,3	5,1	7,5	13,4	10	-	-
Hierro disuelto	mg/l	0,5	0,7	31	0,1	0,1	1,1	1,6	0,3	0,3	0,1	<0,1	1,2	-	5	10
Manganeso total	mg/l	-	-	-	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	<0,05	0,17	0,07	0,05	<0,05	-	0,3	3
Manganeso disuelto	mg/l	<0,05	<0,05	0,15	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-
Molibdeno total	mg/l	-	-	-	0,24	0,62	0,94	0,21	0,23	0,7	0,62	0,52	0,97	0,5	1	2,5
Molibdeno disuelto	mg/l	0,18	0,23	0,44	0,15	0,32	0,5	0,13	0,14	0,36	0,59	0,34	0,53	-	-	-
Arsénico total	mg/l	-	-	-	0,06	0,12	0,12	0,11	0,26	0,1	0,04	0,05	0,09	0,5	0,5	1
Arsénico disuelto	mg/l	0,04	0,06	0,06	0,05	0,06	0,04	0,09	0,04	0,03	<0,03	0,03	<0,03	-	-	-
Conductividad	µmho / cm	1190	1500	965	1253	1107	1229	1187	1126	1099	1829	1788	143	-	-	-
Acido sulfhídrico	mg/l	19	18	14	19	11	19	4	6	81	<1	10	4	-	-	-
Cromo	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,5	0,05	0,2
Cianuro libre	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	1	0,2	1
Nitrógeno	mg/l	9	7	7	8	4	4	9	3	4	1	2	7	10	50	75
Níquel	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	3	0,2	3
Fósforo	mg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	-	10	15
Mercurio	mg/l	<0,001	0,002	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,02	0,001	0,01
Plomo	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	1	0,05	0,5
Sulfuros	mg/l	17	17	13	18	10	19	4	6	81	<1	10	4	3	1	10
Zinc	mg/l	0,09	0,28	0,24	0,11	0,28	0,25	0,12	0,21	0,15	0,08	0,21	0,09	5	3	3
coliformes totales	NMP/100ml	920	>16000	>1600	16000	16000	>16000	>16000	13	>16000	>16000	1700	6,8	-	-	-
coliformes fecales	NMP/100ml	14	>16000	>1600	540	540	>16000	>16000	<2,0	310	1100	7,8	<2,0	1000	1000	1000
DBO5	mg/l	22	170	65	11	84	70	71	44	55	83	100	44	100*	35	300
Detergentes	mg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	2	-	-
Aceites y grasas	mg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	50	20	50
Hidrocarburos	mg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	50	10	50
Fenoles	mg/l	0,008	0,012	0,008	0,025	0,013	0,016	0,012	0,017	0,004	<0,002	0,005	0,016	0,5	-	1

Continuación Tabla 18

Elemento	Unidad	15.07.98	12.08.98	09.09.98	13.10.98	11.11.98	17.12.98	06.01.99	09.02.99	10.03.99	22.03.99	07.04.99	12.05.99	09.06.99	Norma Prov. RIL	Proyecto Norma RILes sin dilución	con dilución
Cloruros	mg/l	138	280	174	204	139	201	70	295	91	-	68	220	203	-	400	2000
Sólidos disueltos	mg/l	922	1360	1500	1420	2150	2150	1700	1800	1770	1580	772	2080	2070	-	-	-
Sólidos Suspensión	mg/l	47	241	120	35	618	46	55	49	136	-	23	72	42	100	80	300
Sulfatos	mg/l	229	327	461	458	295	659	211	495	264	286	288	404	454	1000	1000	2000
PH		10,85	11,21	5,78	12,29	10,09	10,84	10,84	11,09	11,6	11,17	9,43	10,9	10	5.5 - 9	6,0 - 8,5	6,0 - 8,5
Sodio	mg/l	204	318	304	364	513	198	442	-	-	431	-	-	-	-	-	-
Calcio	mg/l	71	74	42	60	34	62	32	-	11,5	49	-	-	-	-	-	-
Cobre total	mg/l	6,1	58	31	3,7	26	4,1	12	8,3	<0.05	4,3	3,6	4,8	5,5	3	1	3
Cobre disuelto	mg/l	0,26	0,21	0,08	0,09	0,36	0,17	0,11	0,16	10	0,12	<0.05	0,3	0,15	-	-	-
Hierro total	mg/l	5,5	50	27	3,5	44	3,5	9,9	7,8	0,5	-	3,6	3,8	5,3	10	-	-
Hierro disuelto	mg/l	0,9	0,3	<0.1	<0.1	0,6	0,5	0,6	2,4	<0.05	-	0,4	<0.05	<0.05	-	5	10
Manganeso total	mg/l	<0.05	0,08	0,09	<0.05	0,09	<0.05	<0.05	0,06	<0.05	3,4	<0.05	0,02	0,02	-	0,3	3
Molibdeno total	mg/l	0,56	2,8	1,7	0,66	4,1	1,1	0,99	0,89	0,91	0,79	0,81	1,1	1,7	0,5	1	2,5
Molibdeno disuelto	mg/l	0,38	0,58	0,43	0,63	0,86	1,1	0,83	0,77	0,13	0,79	0,65	1,1	1,6	-	-	-
Aluminio total	mg/l	1	2	2	2	6	2	3	-	-	-	-	-	-	-	5	-
Arsénico total	mg/l	0,03	0,24	0,17	0,08	0,56	0,12	0,2	-	-	-	0,09	0,1	0,06	0,5	0,5	1
Arsénico disuelto	mg/l	<0.03	<0.03	0,07	0,04	0,18	0,1	0,15	0,08	0,05	-	<0.03	0,05	<0.05	-	-	-
Conductividad	µmho / cm	1525	2272	2286	2566	3124	3118	2632	2649	3144	2647	1250	2930	2470	-	-	-
Acido sulfhídrico	mg/l	<1	4	13	<1	12	<1	<1	<1	29	-	4	<0.5	<1	-	-	-
Cadmio	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	-	-	-	-	-	-	0,3	0,01	0,3
Cromo	mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0,07	<0.05	<0.05	-	-	-	-	-	-	0,5	0,05	0,2*
Cianuro libre	mg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	-	-	-	-	<0.1	<0.1	1	0,2	1
Nitrógeno	Mg/l	5	2	2	8	28	14	17	-	-	-	-	-	-	10	50	75***
Níquel	Mg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	-	-	-	-	-	-	3	0,2	3
Fósforo	Mg/l	<1	<1	<1	<1	6	<1	<1	-	-	-	-	-	-	-	10	15
Potasio	Mg/l	7,10	9,5	32	11,9	10	12	8,60	-	-	12,3	-	-	-	-	-	-
Boro	Mg/l	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	-	-	-	-	-	-	-	0,75	3
Mercurio	Mg/l	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	-	-	<0.001	-	<0.001	-	0,02	0,001	0,01
Plomo	Mg/l	<0.05	0,11	<0.05	<0.05	0,26	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	-	<0.05	<0.05	<0.05	1	0,05	0,5
Sulfuros	Mg/l	3	4	13	2	12	6	28	10	29	-	4	2,7	6	3	1	10
Zinc	Mg/l	0,18	0,54	0,36	0,06	0,42	0,07	0,25	-	-	-	-	0,2	-	5	3	20
coliformes totales	NMP/100ml	<2.0	<2.0	2400	4,5	> 16000	<2.0	<2.0	2	2	2	2	<2.0	<2	-	-	-
coliformes fecales	NMP/100ml	<2.0	<2.0	13	<2.0	> 16000	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2	1000	1000	1000
DBO5	Mg/l	75	10	80	125	245	28	44	20	42	-	44	314	473	100*	35	300
Aceites y grasas	Mg/l	<5	<5	<5	<5.0	470	<5.0	<5	-	-	-	-	<10	<10	50	20	50
Plomo (s)	Mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	-	<0.05	-	-	<0.05	<0.05	-	-	-

Del análisis de la normativa vigente, es posible obtener gráficas de la variación histórica de cada uno de los parámetros que sobrepasan la normativa vigente de RILes. Esta variación es presentada a continuación:

Gráfico 7 “Cumplimiento Norma de RILes - Sólidos en Suspensión”

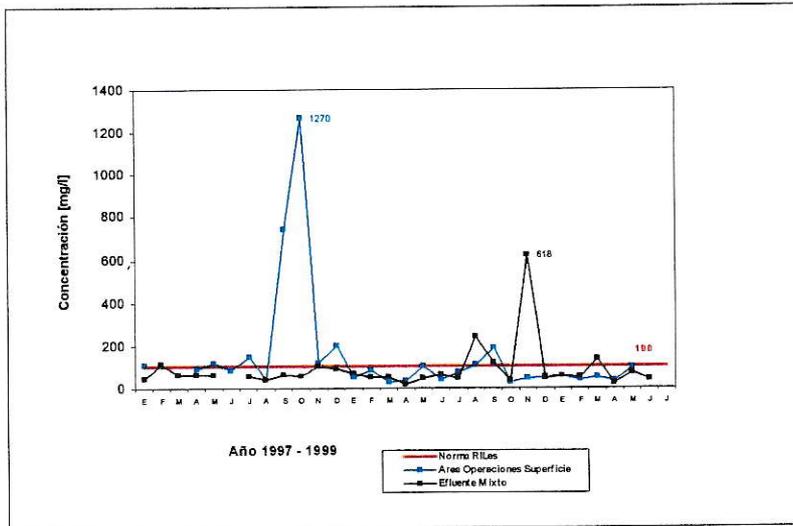


Gráfico 8 “Cumplimiento Norma de RILes - Hierro total”

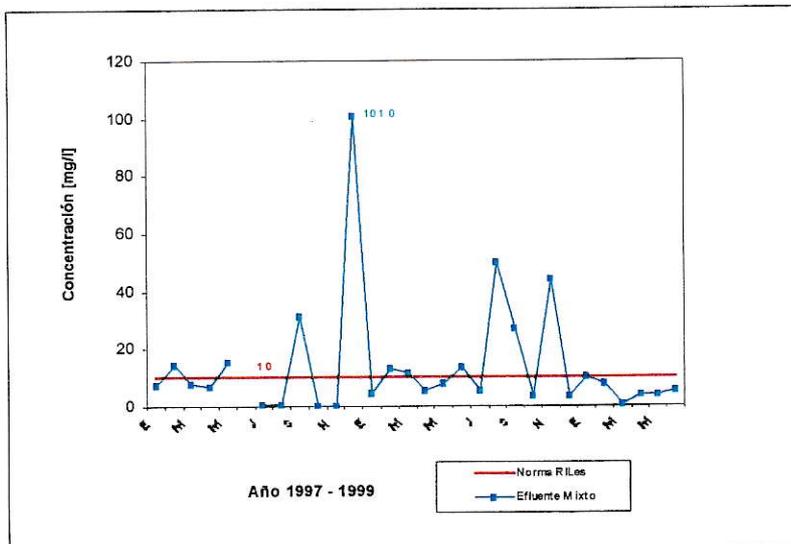


Gráfico 11 “Cumplimiento Norma de RILes - Col. Fecales”

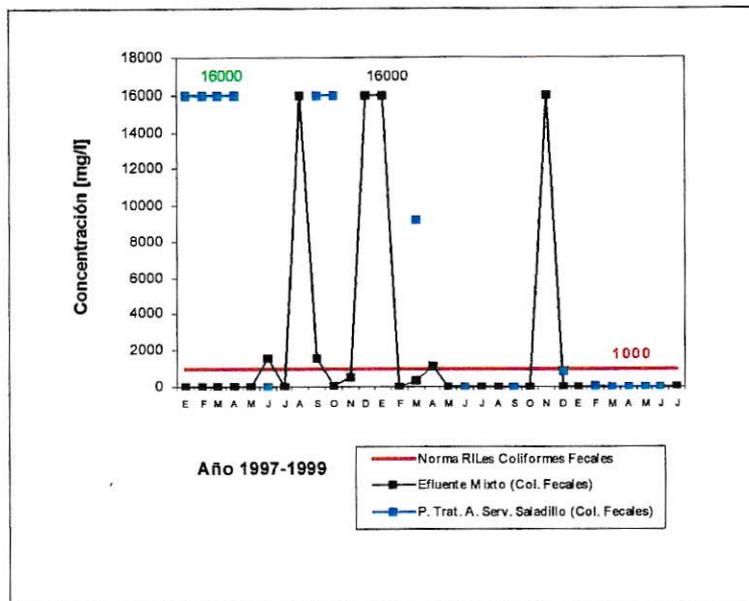


Gráfico 12 “Cumplimiento Norma de RILes - DBO₅”

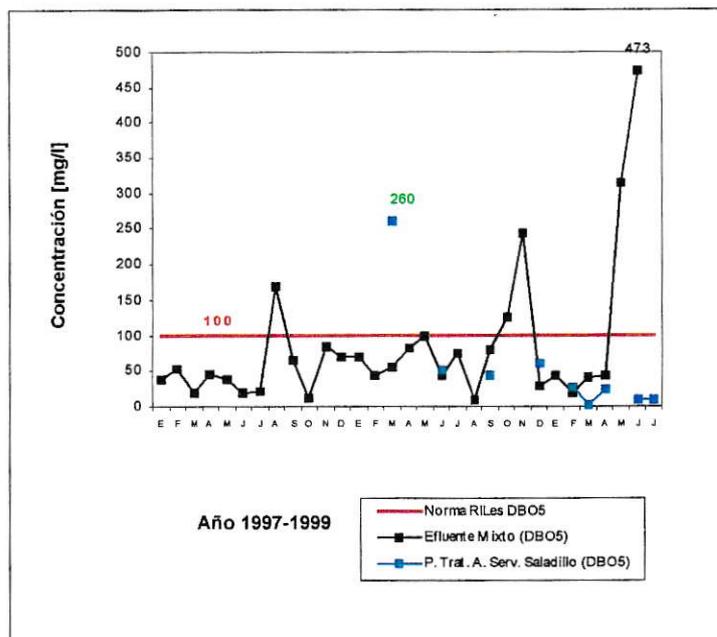


Gráfico 13 “Cumplimiento Norma de RILes - Molibdeno total”

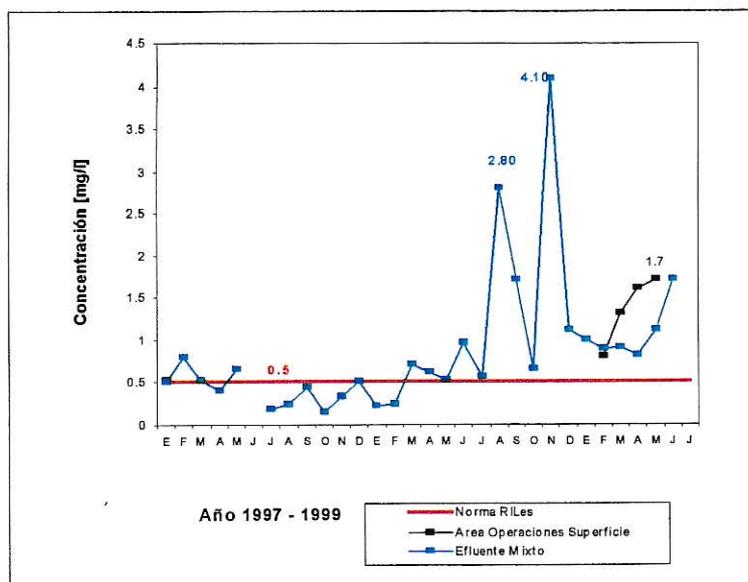
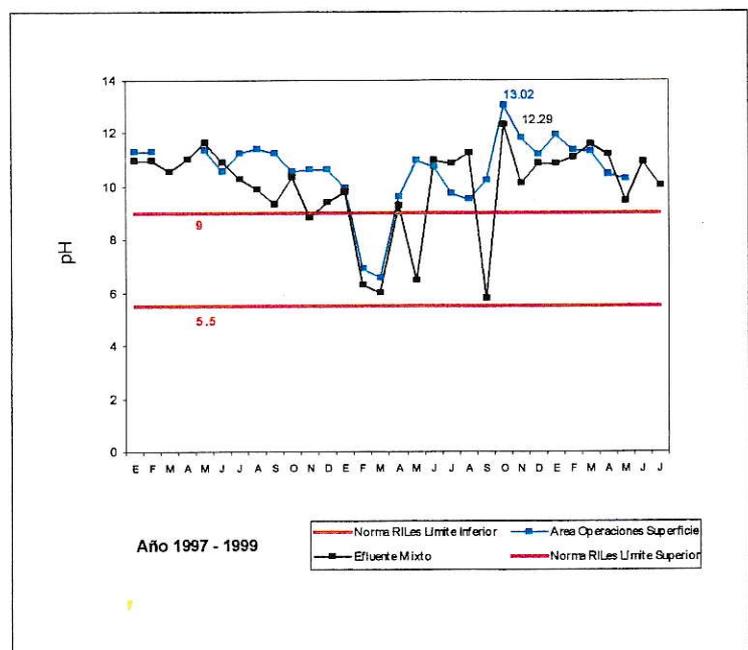


Gráfico 14 “Cumplimiento Norma de RILes - pH”



El Efluente Mixto, como se ha mencionado anteriormente, es controlado por la autoridad competente según la **“Norma Técnica Relativa a Descargas de Residuos Industriales Líquidos Directamente a Cursos y Masas de Aguas Superficiales y Subterráneas (1992)”**, la cual además de estipular los límites permitidos para diversos parámetros fisicoquímicos, estipula la necesidad de realizar monitoreos de las aguas, en un radio de 500 metros abajo de la descarga. (Apéndice II, Marco Legal). Este control de las aguas, es para resguardar la calidad de ellas para fines de riego, y se examina según la **“Norma Chilena Oficial 1.333 que Establece Requisitos de Calidad del Agua para Diferentes Usos”**.

De esta forma, la calidad del agua para riego, es controlada por la División en dos puntos, éstos son: el de la bocatoma Los Quilos (Estación 23) ubicada aguas abajo de las instalaciones de la Planta Operaciones Superficie, y el del canal Los Quilos (estación 23A). Los resultados (Tablas 19 y 20; Fuente: “Diagnóstico de los Residuos Industriales Líquidos y otras descargas de las áreas operativas” – Superintendencia de Recursos Hidráulicos, División Andina - Codelco Chile, 1999), indican que existen incumplimientos regulares de la Norma de Riego en los parámetros de: sulfatos, cobre, molibdeno y manganeso disuelto, y un incumplimiento puntal en cuanto a los límites máximos permitidos de arsénico. Cabe mencionar, que este último exceso a norma es bastante alto (581 (mg/l)) con respecto al límite permitido estipulado en la norma (0,1 (mg/l)), pero debido a que ello se determinó solamente en una medición puntual, se recomienda establecer un monitoreo especial continuo de este parámetro, de manera de asegurar la preservación de las condiciones normales, y anticipar la acumulación de información, en caso de tener que tomar las medidas de mitigación correspondientes.

A continuación, se presentan las gráficas que indican los excesos a la Norma de Riego, en las estaciones 23 y 23 A. (Gráficas 15, 16,17 y 18)

Tabla 19 "Monitoreo hidroquímico estación 23 – Norma de Riego"

Elemento	Norma Riego	Unidad	25.06.97	08.07.97	22.07.97	12.08.97	08.09.97	07.10.97	05.11.97	22.12.97	08.01.98	11.02.98	11.03.98	15.04.98	13.05.98	10.06.98
Cloruros	200	mg/l	19	24	19	15	27	16	11	<5	<5	9	11	14	12	19
Sólidos disueltos		mg/l	244	216	270	272	328	233	200	184	212	276	236	312	396	432
Sólidos en suspensión		mg/l	<10	16	19	21	56	56	2430	526	449	59	50	35	<10	18
Sulfatos	250	mg/l	70	90	84	83	94	99	98	109	105	149	152	170	204	198
pH	5,5 - 9,0		7,87	7,9	7,97	7,76	7,95	8	7,85	6,92	7,57	7,68	7,84	7,91	7,68	7,95
Conductividad		µmho / cm	414	390	379	325	374	389	351	42	55	62	69	74	98	91
Calcio		mg/l	40	53	50	37	54	56	74	0,34	<0.05	0,09	0,18	<0.05	<0.05	<0.05
Cobre disuelto	0,2	mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0,09	<0,05	<0.1	0,1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0,1
Hierro disuelto	5,00	mg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0,1	1,1	0,69	0,43	0,41	<0.05	0,1	<0.05
Manganeso disuelto	0,2	mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0,05	0,06	0,11	0,01	<0.01	<0.01	<0.01	0,01	0,02	0,02
Molibdeno disuelto	0,01	mg/l	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Arsénico disuelto	0,1	mg/l	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	292	322	418	458	489	597	604
Cianuro libre	0,2	mg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Plomo	5,00	mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

Elemento	Norma Riego	Unidad	14.07.98	11.08.98	08.09.98	13.10.98	10.11.98	16.12.98	05.01.99	09.02.99	09.03.99	06.04.99	12.05.99	08.06.99	06.07.99
Cloruros	200	mg/l	38	35	38	20	14	6	8	6	4	16	39	40	26
Sólidos disueltos		mg/l	556	540	908	304	344	272	324	252	400	452	550	1010	480
Sólidos en suspensión		mg/l	23	32	<10	49	35	121	80	278	109	33	37	<10	40
Sulfatos	250	mg/l	271	272	517	181	157	150	181	173	215	259	303	549	300
pH	5,5 - 9,0		7,57	7,30	7,75	7,62	7,63	7,86	7,38	7,61	7,62	7,85	6,8	7	6,9
Calcio		mg/l	120	91	194	81	53	64	67	77	91	94	75	179	23
Cobre disuelto	0,2	mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0,18	<0.05	0,14	0,44	<0.05	0,14	0,1	<0.05	<0.05
Hierro disuelto	5,00	mg/l	<0.1	0,3	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0,8	<0.1	<0.1	0,3	<0.05	<0.05
Manganeso disuelto	0,2	mg/l	0,15	0,08	<0.05	0,24	0,6	0,23	0,46	0,34	0,14	0,33	0,06	0,03	0,05
Molibdeno disuelto	0,01	mg/l	0,04	0,07	0,1	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,03	0,09	0,4	0,3
Arsénico disuelto	5,00	mg/l	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0,03	<0.05	<0.05	<0.05
Conductividad		µmho / cm	778	783	1220	541	444	426	499	478	584	669	800	1055	600
Cianuro libre	0,2	mg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Plomo	5,00	mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	-0,05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

TABLA 20 "Monitoreo hidroquímico estación 23-A – Norma de Riego"

Elemento	Norma Riego	Unidad	11.06.97	25.06.97	08.07.97	22.07.97	12.08.97	26.08.97	08.09.97	23.09.97	07.10.97	22.10.97	05.11.97	22.11.97
Sólidos disueltos		mg/l	332	212	324	328	368	296	344	320	244	372	180	172
Sólidos en suspensión		mg/l	247	<10	59	13	47	32	52	360	47	665	184	565
Sulfatos	250	mg/l	153	91	165	119	149	127	105	127	105	203	78	130
pH	5,5-9,0		7,77	7,96	7,94	8,00	7,94	8,03	8,05	7,95	7,99	7,82	7,89	7,9
Cobre disuelto	0,2	mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0,05	<0,05	0,06	<0,05	<0,05	0,28
Hierro disuelto	5,00	mg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Manganeso disuelto	0,2	mg/l	0,12	<0.05	0,19	0,02	0,11	<0.05	0,09	0,1	0,08	0,42	<0,05	0,98
Molibdeno disuelto	0,01	mg/l	0,03	0,02	0,01	-	0,01	<0.01	<0.01	0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01
Conductividad		µmho / cm	559	446	530	445	461	423	402	429	403	547	313	368
Coliformes totales		NMP/100ml	>16000	4,5	<2.0	-	2,0	1300	-	1400	<2,0	4,5	92	<2,0
Coliformes fecales		NMP/100ml	>16000	<2.0	<2.0	-	<2.0	2,0	-	13	<2,0	<2,0	7,80	<2,0

Elemento	Norma Riego	Unidad	07.12.97	22.12.97	08.01.98	22.01.98	11.02.98	25.02.98	11.03.98	25.03.98	15.04.98	29.04.98	13.05.98	
Sólidos disueltos		mg/l	240	192	200	280	296	288	276	288	308	384	400	472
Sólidos en suspensión		mg/l	<10	598	551	269	76	232	40	59	38	16	<10	<10
Sulfatos	250	mg/l	132	103	117	138	159	142	157	159	169	185	204	212
pH	5,5-9,0		7,14	6,72	7,85	7,9	7,69	7,66	7,93	7,23	7,91	7,9	7,75	8,16
Cobre disuelto	0,2	mg/l	1	0,53	0,8	0,11	0,08	<0.05	0,11	<0.05	<0.05	1,06	<0.05	<0.05
Hierro disuelto	5,00	mg/l	<0.1	0,1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.2	0,1	<0.1
Manganeso disuelto	0,2	mg/l	1,1	0,99	0,6	<0.69	0,44	0,39	0,43	0,33	<0.05	1,13	0,1	<0.05
Molibdeno disuelto	0,01	mg/l	<0.01	0,01	<0.01	<0.01	<0.01	0,01	<0.01	0,01	0,02	1,02	0,02	0,01
Conductividad		µmho / cm	335	291	313	364	418	421	457	491	487	521	597	606
Coliformes totales		NMP/100ml	<2.0	<2.0	<2.0	2	<2.0	> 16000	<2.0	2	49	<2.0	<2.0	95
Coliformes fecales		NMP/100ml	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	6,1

Continuación Tabla 20

Elemento	Norma Riego	Unidad	10.06.98	24.06.98	15.07.98	28.07.98	11.08.98	25.08.98	08.09.98	22.09.98	13.10.98	27.10.98	10.11.98	24.11.98
Sólidos disueltos		mg/l	476	360	564	408	564	532	576	416	336	332	304	172
Sólidos en suspensión		mg/l	13	<10	20	17	32	63	<10	42	50	107	26	565
Sulfatos	250	mg/l	198	191	280	198	278	274	305	211	176	176	158	130
pH	5,5-9,0		7,91	7,87	7,49	7,92	7,33	7,77	7,28	7,71	7,76	7	7,48	7,9
Cobre disuelto	0,2	mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0,34	0,11	0,07	<0.05	0,7	0,25	0,28
Hierro disuelto	5,00	mg/l	<0.1	0,1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0,1
Manganeso disuelto	0,2	mg/l	<0.05	<0.05	0,14	<0.05	0,09	<0.05	0,06	<0.05	0,26	1,99	0,59	0,98
Molibdeno disuelto	0,01	mg/l	0,02	<0.01	0,05	0,03	0,08	0,07	0,06	0,05	0,03	0,02	0,01	<0,01
Conductividad		µmho / cm	593	583	777	615	784	780	837	626	544	453	444	368
Coliformes totales		NMP/100ml	79	33	49	240	170	23	3500	23	<2.0	<2.0	2	<2,0
Coliformes fecales		NMP/100ml	79	23	11	49	70	<2.0	490	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2,0

Elemento	Norma Riego	Unidad	07.12.98	16.12.98	05.01.99	19.01.99	09.02.99	24.02.99	09.03.99	24.03.99	06.04.99	21.04.99	12.05.99	
Sólidos disueltos		mg/l	360	304	304	332	284	-	408	560	440	-	540	
Sólidos en suspensión		mg/l	142	111	69	46	281	-	108	-	42	-	<10	
Sulfatos	250	mg/l	201	147	181	211	193	-	227	301	253	-	261	
pH	5,5-9,0		7,59	7,83	7,4	8,76	7,67	-	7,51	7,65	7,81	-	8,1	
Sodio		mg/l	-	-	-	-	-	-	-	13,9	-	-	-	
Cobre disuelto	0,2	mg/l	<0.1	<0.1	0,14	<0.05	<0.1	-	<0.05	0,11	<0.1	-	0,1	
Hierro disuelto	5,00	mg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0,36	-	<0.1	-	0,33	-	0,1	
Manganeso disuelto	0,2	mg/l	0,4	0,21	0,48	0,33	0,01	-	0,16	8,3	0,03	-	0,06	
Molibdeno disuelto	0,01	mg/l	0,03	0,02	0,02	0,04	<0.03	-	0,04	0,09	<0.03	-	<0.01	
Arsénico total	0,1	mg/l	-	-	-	-	-	-	581	-	-	-	-	
Conductividad		µmho / cm	501	428	499	551	-	-	-	745	-	-	650	
Mercurio	0,001	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	<0.001	-	-	-	
Plomo	5,00	mg/l	-	-	-	-	-	-	<0.05	-	-	-	<0.05	
coliformes totales		NMP/100ml	<2.0	<2.0	20	<2.0	-	-	-	2	-	-	-	

Gráfico 15 “Cumplimiento Norma de Riego - Manganeso y Molibdeno (d) (Estación 23)”

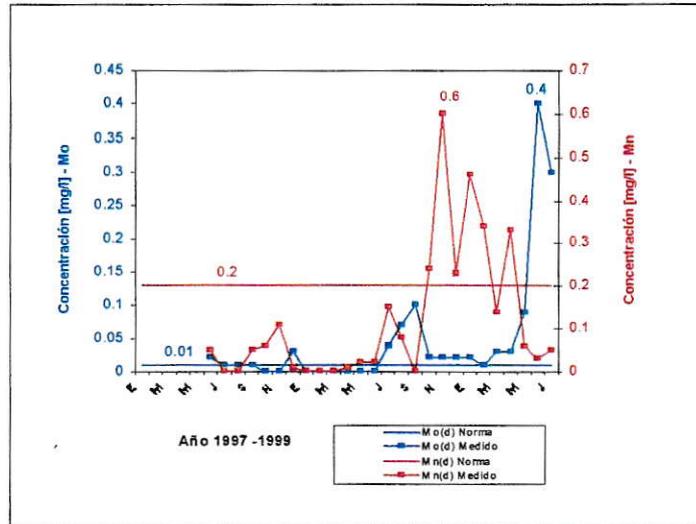


Gráfico 16 “Cumplimiento Norma de Riego - Sulfatos (Estación 23 y 23A)”

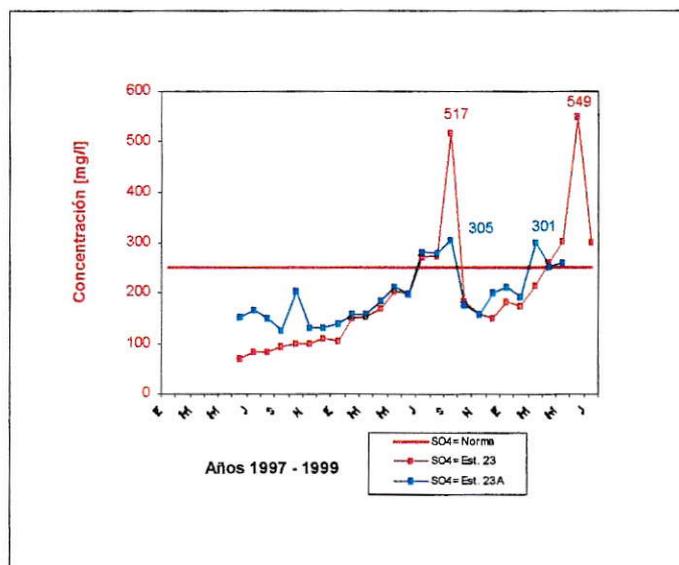


Gráfico 17 “Cumplimiento Norma de Riego Cu y Mn (d) (Estación 23A)”

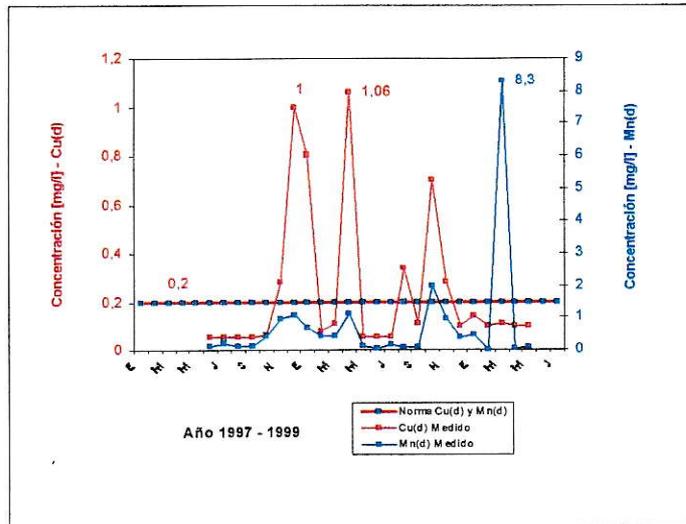
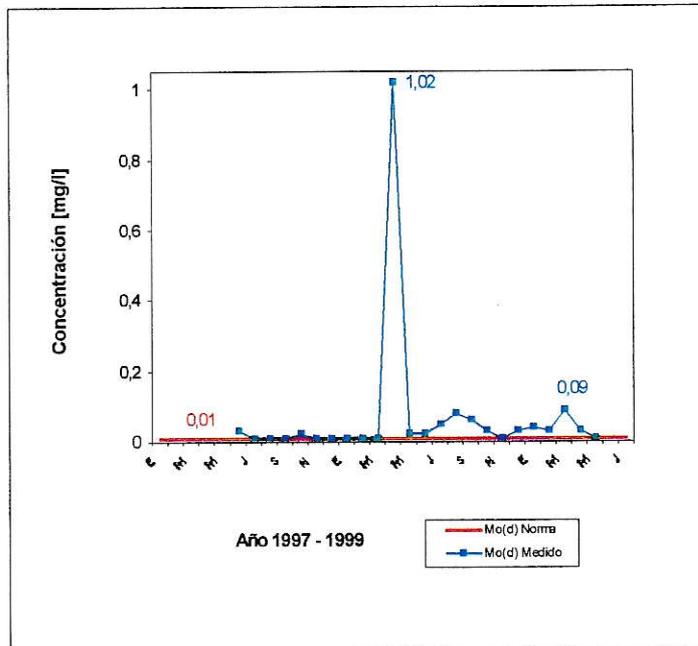


Gráfico 18 “Cumplimiento Norma de Riego - Mo (d) (Estación 23A)”



CAPÍTULO 4 ALTERNATIVAS DE MANEJO DEL RECURSO AGUA PARA EL CUMPLIMIENTO DE LAS DIRECTRICES CORPORATIVAS

Con los antecedentes expuestos anteriormente, es posible afirmar que el consumo Divisional de agua en el proceso productivo en la División Andina (782 l/s), obtenido del Balance Teórico de Aguas que considera el Proyecto de Expansión - Capítulo 2), no es despreciable como se puede esperar para éste tipo de actividad industrial. A lo anterior, es posible agregar que los RILes del proceso, las Aguas Claras del Tranque de Relaves Los Leones y el Efluente Mixto, son significativos en caudal ((500-100) l/s en promedio respectivamente) y en calidad en cuanto al efluente mixto⁶.

La situación planteada aquí y en los capítulos anteriores, nos indica que se deben seguir realizando esfuerzos para el logro de la reducción de los residuos e impactos y la disminución de los consumos de agua. Estas acciones deben ser enfocadas directamente al cumplimiento de las directrices corporativas y Divisionales, y ser enfrentadas por cada uno de los distintos organismos encargados tanto directamente de los procesos productivos, como por aquellos encargados de su control. Lo anterior es porque en esta etapa es donde se genera el problema de contaminación y los altos consumos de agua para su ejecución. De esta manera, la implementación de programas que involucren manejos adecuados y sustentables, lleva a un equilibrio óptimo la preocupación medioambiental y la gestión empresarial, la que se hace rápida, oportuna y óptima.

⁶. La calidad de las Aguas Claras del Tranque Los Leones por su parte, es bastante aceptable según el análisis del monitoreo hidroquímico frente a la normativa vigente. (Capítulo 3)

Una de las alternativas más eficaces para la disminución de los residuos e impactos, es el tratamiento de los RILes producidos por el proceso antes de su evacuación a un cuerpo de agua. En el caso de la División Andina, se justifica el diseño de una **Planta de Tratamiento de Efluentes** para la descarga de la Planta Operaciones Superficie, ya que lograría el abatimiento de los contaminantes que aportan la mayor carga al efluente mixto, el cual presenta incumplimientos de la normativa de RILes en los parámetros mencionados en el capítulo anterior. Este tratamiento, debe ser enfocado sobre esta descarga, porque es ella la que trae la mayor proporción de los elementos contaminantes de tipo metálico y sólidos en suspensión que son liberados en el proceso de concentración, y que no son eliminados por otra vía. El RIL de aguas claras del Tranque Los Leones por su parte, presenta incumplimientos puntuales y con baja regularidad de la normativa vigente de RILes en los parámetros de: sulfatos, molibdeno total y molibdeno disuelto, lo que hace recomendar seguir controlando esta descarga, y asegurar que estos excesos no se acentúen, pudiendo causar un deterioro importante en la calidad de las aguas. Este monitoreo debe seguir realizándose aún cuando no se continúe evacuando los relaves a este tranque por su reemplazo con el Tranque Huechún, ya que no se conoce como se comportará el tranque ante estos nuevos cambios.

Si se considera sólo el tratamiento de los efluentes, el logro de las directrices corporativas y Divisionales sólo se cumpliría para la disminución de los residuos e impactos. Es por esto, que otra que de las opciones de manejo viable de analizar para la descarga de la Planta Operaciones Superficie, es la **Recirculación**, que involucra con su ejecución, además de la disminución de los impactos por la restitución parcial o total de ella al proceso, el mayor cumplimiento de la segunda directriz por una consecuente disminución de los consumos de agua. Además, es importante establecer que la alternativa de recirculación se puede implementar para la descarga de la Planta Operaciones Superficie y para la del Área Concentrador, lo que lleva a una mayor

disminución de los consumos de agua Divisionales. Una de las maneras de lograrlo en esta última área, es por medio de un mejor manejo de los espesadores de relaves, y más precisamente por el aumento de los porcentajes de sólidos en el relave que baja por el sistema de transporte hasta el Tranque de Relaves Ovejería, logrando de ésta forma una mayor recuperación de agua para el proceso.

A continuación son analizadas cada una de las alternativas mencionadas a modo general en los párrafos anteriores, para establecer criterios de manejo adecuados y mencionar factores importantes en el estudio de cada una de ellas.

TECNOLOGÍAS DE ABATIMIENTO DE CONTAMINANTES

El tipo y el nivel de contaminantes contenidos en un efluente minero determinado, dependen tanto del tipo y la composición del mineral extraído, como del proceso de beneficio a que se somete el mineral.

Lo primero apunta a que se debe tener en cuenta que el mineral extraído, además de poseer el material de interés, presenta un porcentaje bastante alto de material estéril que en su mayoría es eliminado por la vía de los relaves. Pero en algún pequeño porcentaje, este material estéril puede ser eliminado como sólidos suspendidos en las aguas claras evacuadas desde los tranques de relaves que los reciben, y otro porcentaje puede seguir el proceso vía concentrados y finalmente ser eliminados en los efluentes de la filtración. Otro punto importante, es la existencia de niveles no despreciables de otros minerales que coexisten en el mineral procesado, y que para este caso, no son valiosos. En cuanto al tipo de proceso, es importante entre otros factores, la

calidad del agua que ingresa a éste, y los distintos tipos de reactivos que son adicionados en el para la separación diferencial de los minerales de interés.

Dentro de los puntos mencionados, en la División Andina existen problemas con los sólidos en suspensión, y consecuencias del proceso de beneficio, por los niveles de cobre y de molibdeno existentes en la descarga de la Planta Operaciones Superficie, los cuales sobrepasan la normativa vigente de RILes. Dentro del tema de los reactivos agregados, existe incidencia de ellos en la calidad del efluente, ya que se observan excesos a la normativa vigente de RILes en cuanto a sulfuros. Esto último, tiene su explicación porque el uso de sulfhidrato de sodio para producir la separación selectiva de cobre y molibdeno en la planta de molibdenita, trae problemas de olores por la generación de gas H_2S en el área de preparación de reactivos, y en la descarga del efluente en el Río Blanco, debido a que generalmente el reactivo es agregado en exceso, pudiendo crear en ambos casos una atmósfera peligrosa. Finalmente, es posible descartar que la calidad del agua que ingresa al sistema afecte la caracterización del efluente, ya que el agua agregada a los procesos presenta una condición aventajada. Dentro de éste último punto, el Río Polvareda, fuente de agua para el proceso de la Planta Operaciones Superficie, presenta una caracterización fisicoquímica aproximada al agua potable, de modo que ella no puede influir en su descarga. Para el Área Concentrador, el agua recirculada no es de mala calidad como para que de alguna manera altere los efluentes, de hecho el efluente directo de ésta área, las aguas claras del tranque de relaves, presenta excesos pequeños e irregulares a la norma provisoria de RILes. Por otro lado, el consumo de agua fresca de excelente calidad representa un porcentaje bastante elevado. Sin embargo, la calidad de agua que entra al proceso del área no se estudió en detalle, debido a que no existe un protocolo del manejo de los flujos de agua desde las distintas bocatomas hasta los estanques de agua, por lo que se recomienda profundizar su análisis más adelante.

Luego de revisar los puntos anteriores, queda por establecer que las tecnologías de abatimiento de contaminantes, deben adoptarse según las necesidades de cada caso, y para determinarlas totalmente se deben incluir a los factores expuestos, un análisis histórico de la caracterización fisicoquímica del efluente, como se ha realizado anteriormente.

La División Andina, ha venido estudiado el caso durante varios años por las distintas superintendencias involucradas, de hecho en la actualidad se ejecuta el **Diseño Conceptual de la Planta de Tratamiento de Efluentes**, que solucionará el problema de los excesos a la normativa, hasta llevar los parámetros con problemas hasta los niveles permitidos según la norma vigente de RILes y el Proyecto de Norma de RILes que esta actualmente en consulta. El proyecto ha evaluado distintas alternativas que se presentarán a continuación, pero por estar en una etapa de diseño, en donde aún se realizan pruebas preliminares y ensayos en plantas pilotos, es imposible establecer cual de cada una de ellas se llevará a cabo, y detallar más que antecedentes generales.

Las alternativas de tratamiento del efluente de la Planta Operaciones Superficie, apuntan en algunos casos a la disminución del sulfuro, y en otros, al cumplimiento de los parámetros fisicoquímicos que sobrepasan la norma. Cada una de ellas son complementarias y/o competidoras hasta que los resultados se completen, lo que se espera para mediados del año 2000. A continuación se presenta una pequeña y general descripción de ellas:

- ♦ **Instalación de Sensores de NaHS:** los sensores específicos de HS⁻ residual, ya están instalados en tres puntos de la Planta de Tratamiento de Efluentes, el primero se encuentra en el pozo bomba, el segundo en el primer estanque de agitación, y el último en la salida del pozo de residencia N°1 que deja salir la descarga al Río Blanco. Estos tienen el objetivo de

lograr una disminución del consumo NaHS, y la disminución de la banda de dispersión del uso del reactivo, de manera de bajar los contenidos residuales y disminuir su variabilidad en el efluente. Pero los resultados han indicado, que esta alternativa por si sola no es suficiente para lograr contenidos residuales de HS⁻ hasta límites permitidos, debido a que el tiempo de residencia que dan los estanques de agitación es insuficiente, lográndose una eficiencia no superior al 60%. De manera que esta alternativa, debe ser acoplada con otras soluciones viables de realizar.

- ◆ **Uso de Nitrógeno:** el uso de este gas inerte, tiene el objetivo de bajar el consumo de NaHS, por la disminución de su oxidación en las celdas de flotación selectiva. Pruebas pilotos industriales de larga duración, aún se están realizando.
- ◆ **Aumento Tiempo de Residencia a la actual Planta de Tratamiento de Efluente:** esta alternativa que también tiene el objetivo del cumplimiento de la norma de sulfuros y de sólidos en suspensión en el efluente, involucra estudios de larga duración, que en la actualidad están detenidos por la existencia de otras dos alternativas más atractivas, pero aún competidoras tanto técnica como económicamente (uso de aire disuelto, u oxígeno en reemplazo de peróxido de hidrógeno para la oxidación del sulfhidrato residual).
- ◆ **Uso de Oxígeno Puro:** esta alternativa a resultado ser bastante aventajada en las pruebas pilotos realizadas, para mejorar la eficiencia de remoción del sulfuro en el efluente. En la actualidad, se proyecta realizar prontamente una evaluación más certera a escala industrial, y según los resultados que ésta arroje, más las pruebas pilotos a realizar con aire disuelto, se perseguirá conseguir la mejor solución para el problema del sulfhidrato residual.

- ◆ **Uso de Aire:** según una visión general, ésta alternativa es la más atractiva económicamente pero se debe evaluar aún la parte técnica. Ella involucra el reemplazo del peróxido de hidrógeno por aire disuelto en la eliminación del sulfhidrato del efluente, de manera de mejorar la eficiencia de la operación. Además, esta alternativa ofrece su aplicación industrial con una alta rentabilidad económica y una adecuada viabilidad técnica.
- ◆ **Planta de Tratamiento Flotación por Aire Disuelto (FAD):** esta alternativa tiene por objetivo la disminución de los contaminantes en el efluente, de manera que este cumpla con las normativas actuales. Esta opción involucra la disminución de los niveles de molibdeno, cobre, sólidos en suspensión y ajuste del pH. Las pruebas de laboratorio y piloto se encargaron al Centro de Investigación Minero Metalúrgica (CIMM), y las evaluaciones preliminares de aplicación industrial también están realizadas, en espera de los resultados de la siguiente alternativa.

La base teórica de ésta alternativa, radica en la saturación del agua descargada, con aire obtenido desde la atmósfera a una presión aproximada de $3,5 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$. Luego se realiza una rápida disminución de la presión, para liberar pequeñas burbujas de diámetro entre $(30 \text{ a } 120)\mu$. Éstas últimas, adhieren a sí mismas los contaminantes para luego flotar hacia la superficie, desde donde son eliminados o reciclados.

- ◆ **Planta de Tratamiento FAD utilizando Electrocoagulación:** la planta tiene como objetivo el tratamiento del efluente para disminuir sus contaminantes, de manera de dejar su caracterización de acuerdo a las normas actuales. Las pruebas de laboratorio están en desarrollo, y esperando sus resultados se tienen altas expectativas por su bajo costo comparado con la alternativa expuesta anteriormente.

La coagulación por si sola, es el proceso donde se agregan elementos químicos al agua tratada para producir una reducción de las fuerzas que tienden a mantener suspendidas y separadas las partículas, de manera de producir por medio de una neutralización de la carga una desestabilización, permitiendo que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos, llamándose desde aquí la etapa de la floculación.

RECIRCULACIÓN DE LAS AGUAS DEL PROCESO

Para un mayor entendimiento de esta parte, se considerarán los conceptos involucrados en la base teórica del capítulo 2 para el balance general de aguas del proceso.

Establecer circuitos de recirculación no es un asunto trivial, ya que se deben tomar en cuenta factores propios del sistema y/o del proceso donde van a ser nuevamente incorporadas las descargas, y aquellos propios de las mismas. Los factores más importantes a controlar en este tipo de circuitos, son las condiciones fisicoquímicas del agua a recircular que le dan la calidad adecuada para poder realizar la operación de manera óptima. Esto hace que no existan problemas metalúrgicos que disminuyan la eficiencia de los procesos. Dentro de lo anterior, se describe la influencia del tipo de reactivo agregado en la separación de las especies minerales de interés, que pueden ser de tipo inorgánico u orgánico. Dentro de los primeros, se puede describir un efecto bastante mayor, debido a la alta solubilidad de estos reactivos en agua, y que tienen sus efectos según el grado de toxicidad del reactivo. En los procesos de flotación por ejemplo, algunos tienen altas propiedades tóxicas pudiendo ser excedidos fácilmente los niveles permisibles, lo que genera debilidades en el sistema con una consecuente disminución de la eficiencia de éstos. Además cabe señalar, que la concentración de éste tipo de contaminantes, va en directo

ascenso con el grado de recirculación de las aguas, debiendo entonces existir un tratamiento previo para que los niveles no alcancen el grado de saturación del sistema, ni excedan las normas vigentes en caso de que éstos efluentes no se recirculen totalmente. Además, existe una concentración de los sólidos en suspensión, y como se ha mencionado, el efluente de la Planta Operaciones Superficie ya presenta problemas con ello. Es también importante destacar, el estricto control que se debe realizar por la segura generación de incrustaciones, debido a la elevada dureza de las aguas residuales. Lo anterior provoca inevitables problemas en la planta, ya que la formación de estas incrustaciones de carbonatos de calcio y de magnesio en tuberías y superficies expuestas, crea la necesidad de su reemplazo en caso de no disminuir sus concentraciones a tiempo por medio de un tratamiento previo. Los reactivos de tipo orgánico por su parte, frecuentemente son nocivos y en altas concentraciones pueden traer riesgos asociados, pero debido a que las cantidades de uso son pequeñas, y su control de adición es alto por razones económicas y de eficiencias en los procesos, estos reactivos no generan problemas por su inexistencia en las aguas que son recirculadas. De otro modo, de llegar a tenerlos, la solución es directa y rápida por la reducción de las razones de adición de ellos. Finalmente e involucrados ambos tipos de reactivos, se puede extraer que un buen manejo de sus niveles en la planta, puede llevar fácilmente a una disminución de sus consumos, decreciendo de ésta manera los costos asociados.

Recopilando la información anterior y otras faltantes, se puede establecer que los requerimientos de calidad del agua, estarán dados por el proceso al cual estarán siendo re-ingresados los descartes. Pero, la bibliografía en general habla que se requiere de agua fresca en la recuperación de molibdeno, y agua recirculada para los procesos de molienda y flotación primaria. En cuanto al contenido de sólidos disueltos, es importante mencionar que en el agua

recirculada puede ser alto sin reducir la eficiencia del sistema, pero sin que éstos generen soluciones barrosas en los equipos.

De esta forma, los parámetros básicos que deben ser estudiados, para el control óptimo de un agua a recircular, son los siguientes:

- ◆ Los sólidos suspendidos, que no deben existir en el agua a recircular en la medida que embanquen los equipos. Los sólidos pueden formar un lodo, que interfiere en el proceso, ya que cubre la superficie del mineral de interés reduciendo su adsorción en colectores y/o flotando elementos no deseados.
- ◆ pH, el cual debe ser apropiado a los requerimientos propios de cada caso.
- ◆ Los contaminantes orgánicos, que causan problemas con el control de espumas en los procesos de flotación.
- ◆ La dureza, controlada de manera que no exista la posibilidad de formaciones calcáreas o incrustaciones.

Por otro lado, es importante determinar el porcentaje de agua a recircular, y por ello es trascendental definir el concepto de **Descarga Cero**. Este involucra necesariamente que el efluente debe ser tratado y luego recirculado totalmente, lo que es una excelente concepción en lo fundamental, y está dirigido claramente hacia una solución ambiental óptima. Pero se deben tomar en cuenta factores importantes en cada uno de estos casos, y específicamente para ponerlo en práctica en el efluente de la Planta Operaciones Superficie, es necesario considerar que la cantidad de agua que viene en el concentrado mixto, al salir luego de ser filtrada en esta planta, debe ser devuelta a su punto de origen, es decir al concentrador, que se encuentra a aproximadamente a 22 km. de distancia y a una diferencia de cotas no despreciable de 1400 m. Otro factor importante, es la calidad del agua a recircular, la cual no debe causar daños al sistema por razones metalúrgicas. Esto es porque la inexistencia de una purga del efluente, y/o el regreso al sistema de aguas de descarte sin involucrar un abatimiento previo de los

contaminantes en ellas, trae una inevitable acumulación de sus componentes. Estas impurezas, una vez acumuladas pueden provocar problemas en los circuitos, disminuyendo la eficiencia de los procesos, y/o provocando la precipitación de compuestos poco solubles, debido al alcance de una concentración elevada de ellos. De esta forma, para cumplir con el concepto indicado en las primeras líneas de éste párrafo, deben ser estudiados los siguientes puntos:

- ◆ Un proceso de tratamiento para los contaminantes del efluente, de manera de eliminar las impurezas que no son apropiadas para los procesos.
- ◆ Devolver el líquido del concentrado mixto a la unidad originadora, es decir, a la Planta Concentradora.
- ◆ Evaluar el impacto del rehuso del líquido en los procesos.

Por las razones anteriores, se puede entender con claridad la necesidad de realizar un abatimiento previo de los contaminantes del efluente antes de su recirculación, más aún considerando que la descarga de la Planta Operaciones Superficie no cumple con algunos parámetros de la norma y que una recirculación parcial empeoraría la situación de impacto al medioambiente.

El tratamiento requerido para la re-utilización de las aguas, dependerá entre algunos factores de los niveles en que los contaminantes sean soportados en los sistemas, y además del grado de recirculación que exista. Así pues si existe un grado parcial de recirculación, las descargas deben cumplir con los requerimientos de entradas a los procesos, y además con la normativa vigente de RILes en cuanto a la parte no recirculada. De esta manera, la solución puede tomarse por dos vías, la primera es realizar dos tipos de tratamientos, uno para recibir las aguas que serán dirigidas nuevamente al proceso, las que no necesitan alcanzar niveles tan existentes como aquellas descargadas, y otro, para estas últimas, de manera de lograr el cumplimiento de todos los parámetros fisicoquímicos normados. El primer tratamiento, debe entonces

incluir al menos una clarificación, mediante sedimentaciones en estanques especialmente diseñados. Además debe prevenir la formación de incrustaciones, usando compuestos como fosfatos o realizando un ablandamiento por medio de la adición de carbonato o hidróxido de sodio bajo condiciones controladas. El ajuste de pH es otro punto de control, que puede cumplirse por medio de la adición de constituyentes ácidos o básicos a los flujos de agua residual a neutralizar, estos constituyentes tales como cal, piedra caliza, e hidróxido de sodio entre otros, deben ser elegidos según sea el caso de estudio. El segundo tratamiento, que involucra el cumplimiento de todos los parámetros fisicoquímicos normados, debe incluir además de los procesos anteriormente mencionados, aquellas tecnologías especiales para el decremento de las concentraciones de metales y otros elementos contaminantes hasta límites permisibles. Para esto último, se requiere un estudio histórico de la descarga, con la finalidad de ver exactamente con cuales criterios de diseño la planta debe ser levantada.

La segunda vía, es diseñar directamente una planta de tratamiento de contaminantes que reciba a toda la descarga, para llevar los parámetros fisicoquímicos normados hasta límites permisibles según la normativa de RILes existente, de manera que el agua a recircular lleve asegurada una condición de calidad para los procesos y no causar los daños descritos. Es posible aproximar en una primera visión, que esta segunda solución es más costosa económicamente que la anterior, pero su análisis puede dar una relación del techo de los costos involucrados en cuanto al tratamiento, si se considera una recirculación parcial de los efluentes. De ella, es posible obtener mayores y mejores soluciones, aportando una porción de la base teórica para encontrar en un futuro cercano el caudal óptimo de recirculación y el mejor tratamiento de abatimiento.

Antes de finalizar este capítulo, se establecerán a continuación algunos factores que deben considerarse en la elección de la mejor alternativa de manejo del recurso. Estos vienen dados paralelamente a todo lo mencionado en los párrafos anteriores, y están más allá de los costos normales que involucra cada una de ellas. Es así, como la ejecución de planes que involucren un abatimiento de los contaminantes de la descarga del proceso sin una recirculación total posterior de ella, debe incluir los costos soft que tiene la División por realizar su evacuación a un cauce, sea cual sea su magnitud y calidad. Estos costos, se refieren a aquellos inesperados relacionados con la descarga por motivos ambientales, y que muchas veces son no despreciables, debido a la ocurrencia de accidentes vinculados con ella, y que aumentan el desprestigio público, generando gastos más considerables. Otro factor digno de analizar, es el costo alternativo del agua, el que se espera aumente considerablemente en el corto plazo debido a que el recurso es demandado cada vez con más fuerza. Frente a ello, es posible pensar que una disminución del consumo es un potencial ahorro económico de la empresa, además de traer un claro beneficio hacia la sociedad y al medioambiente circundante.

FACTORES IMPORTANTES DE CONSIDERAR EN LA ELECCIÓN DE UNA ALTERNATIVA.

Los siguientes factores a describir, son importantes para explicar que estos programas de abatimiento/recirculación de interés ambiental, no son solo un sacrificio empresarial, sino que además traen una ganancia productiva y de gestión, si se considera que en el corto plazo todo indica que el recurso agua será un bien de consumo escaso, y además, que estos planes mejoran la imagen pública y social de la empresa.

Costos Soft

El desprestigio empresarial, es un tema que viene siendo tratado cada vez con más fuerza en los últimos años. Todo por una consecuente y justificada inquietud tanto de los gobiernos como de la sociedad en general, por tener un medioambiente libre de contaminación. Esta realidad exige realizar esfuerzos cada vez más exigentes para mejorar la calidad de vida de la población humana, animal, y vegetal, además de las condiciones fisicoquímicas y biológicas donde ellas se insertan. Es así como la sociedad global, ha tomado un rol importante en el tema, que ha llevado a la realización de diversos planes en distintos sectores, tras una mejoría de éstas demandas.

La División Andina involucrada directamente en lo anterior, ha desarrollado planes consecuentes con ésta búsqueda. Pero muchas veces los problemas no tienen una solución real y efectiva en el corto plazo, si se considera que el campo ambiental es relativamente nuevo en nuestro país, y que las normativas vigentes deben ser mejoradas, complementadas o generadas en muchos casos. Sin embargo, la información dispuesta en este trabajo puede describir una situación real de la División Andina en cuanto a este tema, la que es enfrentada día a día y mejorada con esfuerzo de los profesionales preocupados del tema. Pero sin duda, aún existen motivos por los cuales trabajar y por los que la sociedad de los sectores aledaños a las instalaciones están preocupados, más aún considerando que gran parte de las actividades de la región son realizadas en la cuenca del Río Aconcagua, que recibe todas las descargas productivas vía el Río Blanco. De manera, que frente a un tema en que éste tipo de empresa tiene una participación importante, los costos soft han estado presentes, y ellos se han incrementado por la ocurrencia de accidentes relacionados históricamente a la descarga que sobrepasa la normativa, el efluente mixto. Lo anterior, da una percepción

pública del RIL aún más conflictiva, la cual debe ser sostenida y mejorada en forma permanente por la División.

La determinación de los costos soft por la evacuación de un RIL producto del proceso de beneficio, es tema para un trabajo detallado y para ser realizado por especialistas, pero dada su importancia es que se establece como un factor necesario de analizar en este trabajo, y desde una nueva perspectiva, valorarlo de manera bastante pragmática y aproximada. Lo anterior se comenta porque, sin lugar a dudas, es una pieza posible de ser conjugada con las de tipo científico-técnico, para la elección de una alternativa conveniente en el campo de los posibles manejos del recurso hídrico.

La manera en que se han obtenido los costos soft de la evacuación del RIL de la Planta Operaciones Superficie, es considerando los costos generados por accidentes ocurridos en la planta, y que han estado relacionados con esta descarga. Se ha elegido este efluente, ya que ha tenido relación directa con accidentes que involucran derrames del proceso, que han logrado la contaminación de las aguas del Río Blanco, quedando bajo la mirada de la sociedad en general, y por los cuales, la División ha debido responder. Lo anterior se hace más importante, al considerar que este efluente además presenta conflictos ambientales, por su incumplimiento de la normativa vigente de RILes. Es substancial establecer un punto fundamental en este tema, y éste es que sin duda la imagen histórica de la descarga queda perjudicada por estos incidentes, y sea cual sea el problema posterior que pueda presentarse en la zona, es de gran probabilidad que los ojos de toda la región recaigan en los procesos Divisionales, y más específicamente en este RIL, aún cuando en ese instante se estén llevando a cabo los programas para su manejo de manera óptima, y/o se estén evacuando descargas parciales de buena calidad.

Para relacionar este punto con el tema desarrollado, se propone la búsqueda de alternativas que permitan descartar estos “Costos Soft”, por medio de la implementación de planes que consideren la recirculación total de esta descarga, la cual al tener una imagen histórica de incumplimiento a la normativa vigente y por ende de contaminante, hace difícil que la población cercana la libre de culpabilidad ante una emergencia dada.

En las memorias ambientales que son realizadas todos los años por la Unidad Ambiental de la División, se tiene evidencia real de los accidentes relacionados con la descarga de la Planta Operaciones Superficie. Estos archivos, indican que en 1997 existieron 5 incidentes, todos relacionados con derrames: de relaves, de aguas de la Planta de Operaciones Superficie sin su tratamiento de oxidación y de concentrado de cobre a las aguas del Río Blanco. En cada uno de los incidentes, existe un procedimiento oficial a cumplir por las superintendencias relacionadas. Estos procedimientos que están bajo el mando de la Superintendencia de Control de Riesgos de Operaciones, la Unidad Ambiental y la Unidad de Asuntos Públicos, están determinados por el tipo de accidente ocurrido, sea fatal, grave y/o masivo. En el procedimiento, se establece un desencadenamiento de tipo comunicacional interno y luego externo, en donde participan internamente los supervisores de turno del área, el Gerente de Medio Ambiente de Codelco Chile, el Gerente o Superintendentes de turno del área afectada, el Gerente de Operaciones de turno, la Superintendencia de Control de Riesgos Operacionales, el Jefe de la Unidad de Medio Ambiente, el Jefe de la Unidad de Asuntos Públicos, y la Dirección de Recursos Humanos. En la comunicación externa, se desarrolla un desencadenamiento de aviso a: Carabineros de Saladillo, al Segundo Juzgado de Los Andes, al Juez repartidor de Aguas de Los Andes, a la Junta de Vigilancia de los agricultores organizados, y a ESVAL S.A. que tiene bocatomas de agua para su tratamiento como agua potable. Cada uno de los actores de comunicación, cumple un rol en el proceso de enfrentamiento del incidente, y

por ende, ellos involucran a costos sorpresivos y no despreciables que serán determinados más adelante.

Los accidentes más importantes de destacar en 1997, son los siguientes:

- ◆ Derrame de agua sin tratamiento de oxidación, desde la Planta de Filtros. Por este incidente, se ordenó el monitoreo especial de varios parámetros fisicoquímicos normados. Este monitoreo, determinó que no hubo influencia en las aguas del Río Aconcagua.(10-09-1997)
- ◆ Descarga al Río Blanco, de efluente de la Planta Operaciones Superficie sin la cantidad correcta de peróxido de hidrógeno. En ésta oportunidad, se tomaron las medidas inmediatas para enfrentar el problema, tales como: recorridos visuales aguas abajo, monitoreos especiales en siete puntos determinados de diversos parámetros normados, y además de fotografiar la cuenca de los Ríos Blanco y Aconcagua. La muestras en total fueron tres, y sus resultados mostraron un alto contenido de ion sulfuro, cobre, molibdeno y hierro totales.(17-10-1997)

En 1998 el panorama fue distinto, pues si bien el número de incidentes declarados no sobrepasó al año anterior, existieron problemas mayores, de hecho, de los cuatros reportados en la memoria anual, dos dieron pie a Sumarios Sanitarios en contra de la División Andina. Para los cuatro incidentes mencionados, en el momento en que se presentaron, se realizó una definición de los puntos de muestreo y de los parámetros a controlar, además de un seguimiento de las manchas de derrame. Estos accidentes fueron los siguientes:

- ◆ Derrame de Aguas Negras (cloruro ferroso) al Río Blanco. (25-03-1998)
- ◆ Derrame de Sulfhidrato de Sodio por el efluente de la Planta Operaciones Superficie, al Río Blanco.(15-04-1998)
- ◆ Derrame de Concentrado de Cobre, que contaminó los suelos exteriores y aguas del Río Blanco.(07-05-1998)

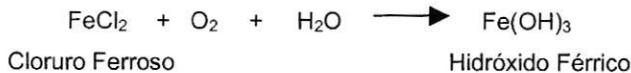
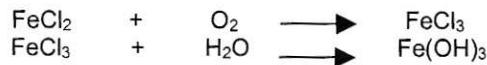
◆ Derrame de Concentrado de Cobre al Río Blanco.(14-09-1998)

De los anteriores, dieron pie a Sumario Sanitario los dos siguientes:

- ◆ El derrame de cloruro ferroso, que provocó gran impacto por la coloración que toma el reactivo en el momento de tener contacto con el río. Esto es explicado porque el cloruro ferroso, es oxidado por el oxígeno contenido en las aguas del río, formando cloruro férrico que se hidrata rápidamente para formar un gel de hidróxido férrico de coloración café barroso y mal aspecto.

La reacción involucrada, se presenta en la siguiente ecuación:

/17/ “Oxidación de cloruro ferroso en el Río Blanco”



Esta propiedad es usada en las plantas de tratamiento de agua potable, para limpiar de impurezas y separar moléculas indeseables, por lo que el derrame de todas formas no causó problemas ambientales. Pero sin duda un incidente tiene una connotación de “problemas”, por lo que ello trajo una justificada reacción de la población aledaña. Frente al hecho, la División debió inevitablemente tomar las medidas necesarias, existiendo muestreos especiales frecuentes, en seis puntos diferentes de los parámetros Fe(t), Fe²⁺, y Fe³⁺. Además, se realizaron todas las acciones de comunicación externa, las que involucraron varios comunicados de prensa de las autoridades Divisionales, e informes en los diarios regionales. El monitoreo diario especial, terminó luego de trece semanas, y además se realizó un informe de investigación del incidente que demandó al menos 25 horas hombre (25 HH) solamente en monitoreo, del personal de la Unidad

Ambiental. La respuesta de la sociedad, terminó por interponer un Sumario Sanitario por medio del Ministerio de Salud Pública con su Servicio de Salud Pública de San Felipe - Los Andes, al cual el Gerente de Medio Ambiente de la División Andina debió comparecer.

♦ El derrame de concentrado de cobre diluido ocurrido a mediados de Septiembre, sin duda fue de mayor gravedad, y trajo como consecuencia los peores problemas ambientales en 1998. En ésta oportunidad se derramó una tonelada de concentrado de cobre desde la Planta Operaciones Superficie, lo cual provocó una rápida reacción de alerta apenas se conoció el incidente por parte de la Municipalidad de Los Andes, del Servicio de Salud San Felipe – Los Andes, de la Junta de Vigilancia de los agricultores, del Director Regional de Pesca, y de la prensa escrita y hablada a nivel nacional entre otros sectores. En este caso fueron tomadas acciones inmediatas por parte de las autoridades Divisionales, además de las correspondientes en el corto y en el mediano plazo. Dentro de las primeras se destacan el corte de la fuente del derrame, la activación del procedimiento comunicacional de aviso a las autoridades regionales y provinciales, y a los principales usuarios del Río Aconcagua, entre los que se encuentran ESVAL S.A., y la Junta de Vigilancia. Además, se agregó floculante en el punto de la descarga al Río Blanco y aguas abajo para la sedimentación de los sólidos suspendidos, se realizó un muestreo en el punto de la descarga y en el avance del derrame en seis puntos previamente determinados, y se instaló un observador permanente para informar el avance de la mancha de concentrado. Las acciones al corto plazo, involucraron la evacuación del pozo de residencia N°1 y de los pozos decantadores. Y finalmente en el mediano plazo, las acciones fueron la construcción de un pozo de seguridad con sistema de bombeo a la salida de la Planta, el **Pozo Ciego**, y dos **canaletas captadoras de derrames** con su correspondiente sistema de bombeo. En ésta oportunidad los informes a la prensa fueron mayores en crítica, número y extensión, existiendo comunicados regionales y nacionales que generaron alerta en la población, la que se mantuvo atenta por varias

semanas. Al Sumario Sanitario interpuesto por el Servicio Agrícola Ganadero (S.A.G.), compareció el Jefe del Area relacionada, es decir el jefe de la Planta Operaciones Superficie, y el Gerente de Medio Ambiente de la División Andina.

Para cada uno de los incidentes, se tienen datos como los generales mencionados en los puntos anteriores, por lo que para el logro de una valoración promedio, se separaron los distintos factores que involucran gastos ante una emergencia de este tipo. Además, para el cálculo de algunos de ellos, se consideró el año 1998, por ser un año con casos reales más extremos. De esta manera, los costos parciales frente a un incidente se pueden separar como sigue:

- ◆ **Costo Comunicacional:** fue obtenido considerando las acciones realizadas por los personeros Divisionales durante los “**tiempos de paz**”. Estos períodos, corresponden a momentos en los que no existen problemas ambientales debido a incidentes, y cuando se realiza una comunicación externa de las acciones Divisionales, para alcanzar mejores niveles de producción limpia y de seguridad, acorde con las exigencia ambientales actuales. Estos costos ambientales, engloban aproximadamente el 67% del Presupuesto de la Superintendencia de Operaciones, el cual asciende como promedio de los últimos cuatro años a 300.000 U.S\$/año. De esta manera, el costo comunicacional, bajo estas condiciones alcanza a **201.000 US\$/año**.
- ◆ **Costo Operacional:** costos correspondientes a la ejecución de obras, para enfrentar futuros problemas ambientales, debido a la ocurrencia de incidentes relacionados con la descarga. Éstas, apuntan a solucionar el problema actual o futuro en su punto de origen, es decir, en el proceso. En la Planta Operaciones Superficie, se han realizado acciones reales para mitigar efectos no deseados producidos por estos incidentes. Estas

acciones corresponden a la construcción del Pozo Ciego de 1.000 m³, y las canaletas de seguridad con sus respectivos sistemas de bombeo, para prevenir una eventual contaminación del Río Blanco producto de derrames originados al interior de la Planta. El costo de inversión en este caso, ascendió a la suma de **US \$600.000**.

- ◆ **Costo Legal:** involucra los gastos debido a Sumarios Sanitarios y/o a trámites administrativos judiciales posteriores al incidente. Entre ellos se detallan;
 - **Costo por Investigación del Incidente:** contempla todas las acciones que llevan al establecimiento de las causas reales del incidente. La suma comprometida en este caso corresponde a **4.000 US\$/año**.
 - **Costo por Diseño de la Estrategia Jurídica:** este factor involucra un gran consumo de horas hombres (HH) extra, debido a que es en ésta instancia cuando se decide como enfrentar los sumarios sanitarios, demandas, o simplemente la información que se le dará a las autoridades públicas, políticas y/o ambientales que correspondan. Los costos asociados a este punto, se aproximan a un total de **4.000 US\$/año**.
 - **Costo por Dotación de Respaldo:** Estos gastos generalmente contemplan el contrato temporal de profesionales expertos, que detallan las respuestas correspondientes, y realizan gran parte del trabajo para el enfrentamiento de la emergencia. Este costo asciende aproximadamente a la suma de **3.200 US\$/año**.
 - **Costo por Representación y Seguimiento del caso:** involucra la presentación de altos personeros Divisionales ante las citaciones que involucran las demandas interpuestas, y/o frente a las acciones inmediatas y posteriores correspondientes en cada caso. La suma de estos costos puede fluctuar entre cantidades de **(800 a 8.000) US\$/año**.

- **Costo por Gastos Extras y Materiales:** estos involucran todos aquellos involucrados con las acciones detalladas en los puntos anteriores. En este factor se puede detallar un gasto total aproximado de **2.000 US\$/año**.
- Finalmente, cabe señalar que esta determinación del Costo Soft no incluyó las cantidades involucradas por multas consecuentes de los sumarios sanitarios, ni tampoco los correspondientes a un eventual cierre de planta. Esto se debe, a que estos factores no han estado presentes en los accidentes ambientales ocurridos, pero sin duda son importantes, trascendentes, y dignos de analizar, pues de existir pueden involucrar grandes diferencias en la suma total del costo soft.

De esta manera el costo legal, considerando todos los puntos anteriores involucra una suma total de **21.200 US\$/año**.

- ◆ **Costo de Monitoreos Especiales:** son consecuencia directa e inmediata del incidente, e involucran tanto los relacionados con el laboratorio, como los correspondientes a las **HH** involucradas de las personas de la Unidad Ambiental y del Programa de Observación Estadístico (POE), que actúan en la toma de las muestras especiales, se encargan del seguimiento de los resultados, y se mantienen alertos durante toda la emergencia. Este costo parcial, fue obtenido de las planillas de gastos existentes en cada una de las unidades durante 1998, por razones ya explicadas. De ellas, los gastos fuera de programa debido a los incidentes ocurridos y sus consecuencias ascendieron a **33.577 US\$/año**. Las consecuencias referidas en las líneas anteriores, corresponden a monitoreos realizados para cumplir con la fiscalización del Servicio Nacional de Salud y del Servicio Agrícola Ganadero que resultaron de los Sumarios Sanitarios existentes, y además a los monitoreos especiales realizados para ver la influencia en la descarga, de la instalación y entrada en funcionamiento de la Planta L.R.

Con todos los antecedentes descritos en los puntos anteriores, es posible establecer de forma aproximada y considerando todos los supuestos indicados, que los **COSTOS SOFT** de descargar el RIL de la Planta Operaciones Superficie al Río Blanco, sin duda representa en pequeño porcentaje del peso y del costo social real de su evacuación.

La tabla 21 presenta un resumen de los costos mencionados, y hace referencia de su obtención.

Tabla 21 “Determinación de los Costos Soft”

Costo Operacionales	US\$/año	Costo de Inversión	US\$
Comunicacional	201.000	Operacional	600.000
Legal	21.200		
M. Especiales	33.577		
Total	255.777	Total	600.000

Desde la tabla anterior, es posible extraer que los costos comunicacionales, legales y de monitoreos especiales pueden ser asemejados a los costos operacionales de mantención de la descarga del RIL de la Planta Operaciones Superficie (mirados desde el punto de vista ambiental Divisional), y que el costo operacional obtenido, debido a la construcción del pozo ciego y de las canaletas de seguridad, correspondería a un costo de inversión, ya que estos pueden ser utilizados desde su construcción en adelante.

Sin duda que ésta determinación de los costos soft, correspondientes a la evacuación del RIL conflictivo de la División, puede ser bastante general y no incluir factores trascendentes como la percepción pública, y/o la credibilidad entre otros, pero es importante establecer que esto se ha realizado con la mejor intención para poder comparar posibles escenarios de manejo que serán

presentados en el capítulo siguiente, y además para dejar la invitación a los especialistas del tema, a realizar estudios específicos de éste tipo.

Costo Alternativo del Agua

Este factor es un tanto criticado en la actualidad, ya que se tiene la percepción de que el recurso está ampliamente disponible. Pero esto sin embargo es un punto digno de estudio, que debe ser considerado prontamente para poder establecer planes de manejo que anticipen la estrecha y fuerte competencia que viene insinuándose cada vez con más claridad respecto a las necesidades de agua.

La alternativa de valoración del recurso hídrico es un factor que debe ser considerado, y su determinación en el corto plazo puede asegurar beneficios reales y bastante atractivos. Lo anterior se puede entender considerando que el disminuir el consumo de esta agua de alta calidad en los procesos productivos, la deja disponible, por ser derechos de aprovechamiento de tipo consuntivo, para que otros sectores la utilicen, como por ejemplo la agricultura. Lo anterior se debe, a que esta actividad ha ampliado significativamente sus necesidades en la región, más aún considerando que estos derechos de aprovechamiento de agua en esta primera sección del río están agotados. Esto se basa en la consideración de que un **derecho de aprovechamiento real que recae sobre las aguas, consiste en el uso y goce de ellas**, siendo éstos **dominio de su titular**, quien podrá **usar, gozar y disponer** de él en conformidad a la ley, según lo establece el Código de Aguas aprobado por Decreto con Fuerza de Ley N° 1.122, y publicado en el diario oficial del 29 de octubre de 1981.

El negocio del agua en la División, como lo establece el informe realizado por la Superintendencia de Recursos Hídricos ("Recurso Hídrico en División

El negocio del agua en la División, como lo establece el informe realizado por la Superintendencia de Recursos Hídricos (“Recurso Hídrico en División Andina”, J. Muñoz N., R. Vargas R., 1999), *“aún no se encuentra formalizado, por lo cual no hay tarifas por los servicios de suministro de agua, ni menos costos que se carguen a estas áreas”*. Pero es posible mencionar además que se *“ha calculado un caso base mejorado de este negocio, considerando una tarifa de 15 ¢US\$/m³ para el caso de suministro de agua industrial”*, con lo cual es posible tener un antecedente importante ante este factor. Sin embargo el caso base actual de la División, habla de un costo de 7 ¢US\$/m³, que considera los costos de mantención, reparaciones menores, depreciaciones y gastos administrativos como los sueldos. Frente a esto, se debe mencionar que el mercado del recurso es incipiente en la zona, de hecho se tiene un pequeño caso real de arrendamiento de derechos de aprovechamiento de agua para la generación de energía eléctrica con la empresa Hidroeléctrica Aconcagua S.A (HASA), a la cual se entrega 4,5 m³/s a cambio de 6 GWH/año.

El costo alternativo del agua, debe ser determinado en cada una de las Divisiones de manera especial, siendo este un indicador de la escasez del recurso, considerando su disponibilidad y su demanda tanto de las operaciones divisionales como aquella de la región donde este emplazada, de manera que el recurso no sea sobre-explotado por su falta de valor o por su valoración no acorde con la realidad.

Finalmente es importante señalar que el costo alternativo del agua será un factor que puede sufrir cambios en la valoración económica de las distintas alternativas, de hecho este puede ser despreciado según la decisión del lector, en cuanto a considerar o no al recurso con un valor real de mercado. Pero para esta ocasión, se considerará el costo alternativo del agua industrial de 15 ¢US\$/m³ de manera de evaluar los escenarios a plantear en el próximo capítulo, de modo de ampliar los posibles alcances de cada uno de ellos.

CAPÍTULO 5 ESCENARIOS DE ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE MANEJO DE LA DESCARGA DE LA PLANTA OPERACIONES SUPERFICIE Y LA DISMINUCIÓN DE LOS CONSUMOS DE AGUA FRESCA A NIVEL DIVISIONAL

La manera de establecer una primera aproximación de la factibilidad de las alternativas de manejo propuestas en el capítulo anterior, es creando escenarios de análisis que pueden ser replanteados y/o mejorados en cualquier momento, según las necesidades que se tengan. Cada uno de ellos, se establecen sobre la base actual de consumo de agua fresca y el porcentaje de recirculación de las aguas del proceso en cada una de las áreas productivas, además del actual cumplimiento de la normativa vigente de la descarga de la Planta Operaciones Superficie. Junto con lo anterior, es importante mencionar que su finalidad última es aplicar los factores que se deben evaluar ante tales alternativas, tras el mejoramiento del cumplimiento de las directrices corporativas.

En los escenarios a presentar a continuación, es necesario establecer que las potencias teóricas de bombeo para la recirculación de las aguas del proceso calculadas en alguno de ellos, fueron obtenidas realizando un **Balance de Energía** según el **Teorema de Bernoulli**.

ESCENARIOS DE MANEJO

Escenario 1 “Recirculación parcial de la descarga de la POS”

En este escenario se plantea la disminución del consumo de agua fresca

y de buena calidad, por medio del aumento del porcentaje de recirculación en el Área Concentrador y en la Planta Operaciones Superficie. En la primera de ellas, el ahorro del recurso se basa en el aumento del porcentaje de sólidos en la línea de relaves hasta un 60%, lo que es posible por medio de un mejor manejo de los flocculantes agregados, ya que el espesador de relaves N°2 está re-potenciado para alcanzar este nivel. Esto es apoyado en la factibilidad que permite la nueva canaleta de relaves para el Tranque Huechún, de ser capaz de soportar según su límite de diseño, hasta un porcentaje de sólidos del 66%. Pero esta alternativa debería incorporar por seguridad, el re-potenciamiento del espesador de relaves N°1, para tener a ambos espesadores con la misma capacidad, pudiendo trabajar con un factor de seguridad en caso de que el primero falle. Pero se debe dejar en claro, que la inversión necesaria para esta alternativa no involucra directamente el re-potenciamiento del espesador N°1. El aumento del porcentaje de sólidos, involucra una mayor recuperación de agua para su recirculación al estanque de agua SAG, que tiene mayor capacidad y está conectado con el de Presión Constante. Esta acción significa entonces, que el consumo de agua fresca y de buena calidad en el área del concentrador disminuya en 162,8 (l/s), aumentando los porcentajes de recirculación desde 57,7% hasta un 67,6%⁷. El aumento de la recirculación no involucra costos adicionales, pues el tendido de cañería y el sistema de impulsión para el agua recuperada existente, desde ambos espesadores hasta los estanques de agua, son suficientes para su cumplimiento.

Por otro lado, el ahorro del consumo del recurso en la Planta Operaciones Superficie, puede ser mejorado recirculando al proceso parte del efluente de la Planta Operaciones Superficie. Pero se debe implementar en este caso, tecnologías de abatimiento adecuadas para las impurezas que traen problema metalúrgico al sistema, además de realizar un ajuste de pH, disminuir

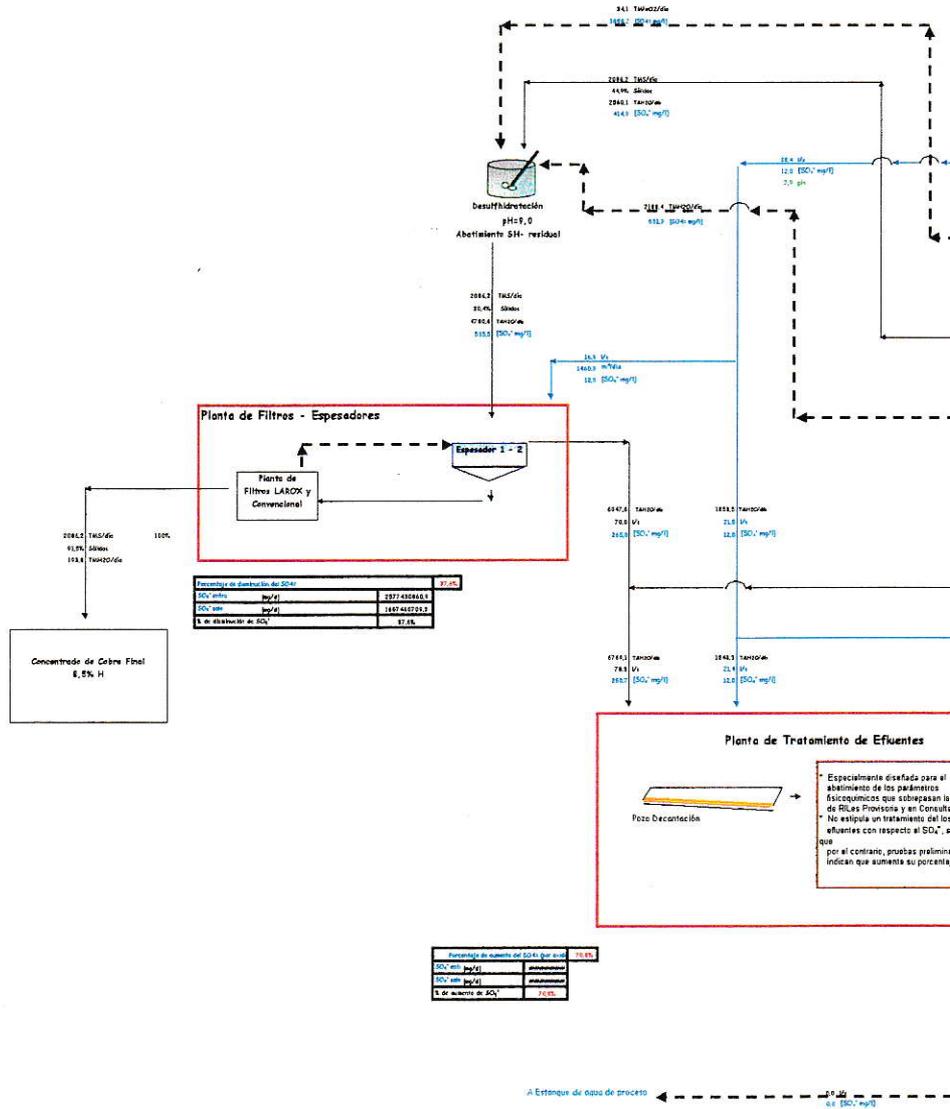
⁷. Resultados obtenidos de la planilla de cálculo "Balance teórico de aguas – Área Concentrador y Planta Operaciones Superficie" (Diagrama de Flujo N°2, Capítulo 2).

la dureza en caso de ser necesario, e incluir una sedimentación de los sólidos disueltos, más aún considerando que de realizar una recirculación parcial, involucra descargar RILes más agresivos al medio ambiente, por la acumulación de las impurezas en el circuito de recirculación. De este modo, como el diseño de una tecnología de abatimiento óptima para estos requerimientos, demanda una gran cantidad de tiempo por la variedad de pruebas de laboratorio que se deben realizar, además de la necesidad de la ejecución de plantas pilotos para ver la respuesta del sistema, este trabajo no lo establecerá. Pero es posible comprometer en ésta parte del escenario, a la **Planta de Tratamiento de Efluentes**, que terminará de diseñar el año 2000, la Unidad de Innovación y Desarrollo Tecnológico, la cual disminuirá en forma segura la carga de contaminantes que sobrepasan la norma hasta límites permitidos. De esta manera, el acoplar en línea este abatimiento con la recirculación, no existirán problemas con las impurezas a excepción de los contenidos de sulfato, que no son tratados por estas tecnologías. Por esto último, el porcentaje de recirculación a realizar considerando esta tecnología, está limitada por la acumulación de sulfato dentro del circuito existente, acumulación que será asintótica hasta su estabilización dentro de la planta. Entonces, fue necesario determinar un caudal de recirculación óptimo, que permita a la descarga llegar a una concentración estable del parámetro, de modo que cumpla con la normativa vigente de RILes y del Proyecto de Norma de RILes, evitando así nuevos ajustes en el futuro. Lo anterior llevará por diferencia, que este nivel estable de sulfato, no comprometa las condiciones requeridas por los procesos.

Para encontrar el caudal óptimo de recirculación, se realizó un balance de masa de sulfato, como se muestra a continuación:

Diagrama de Flujo 3 “Balance de masa para la determinación de la estabilización del sulfato en un sistema de recirculación – Planta Operaciones Superficie”

"Balance de masa para la determinación de la carga
(Determinación de la carga de SOD)



03 sulfato en un sistema de recirculación - Planta Operaciones Superficie" (Recirculación - División Andina)

Sistema Polimerizado		
Fecha	Aluminio (mg/l)	pH
24.06.99	11	7.20
17.12.99	13	7.35
Promedio: 10.9	12.0	7.3

Concentración de agua a proceso		
Condor (ppm)	[SO ₄ ²⁻ mg/l]	
73.3	12.6	
5.0	5.0	
73.3	12.6	

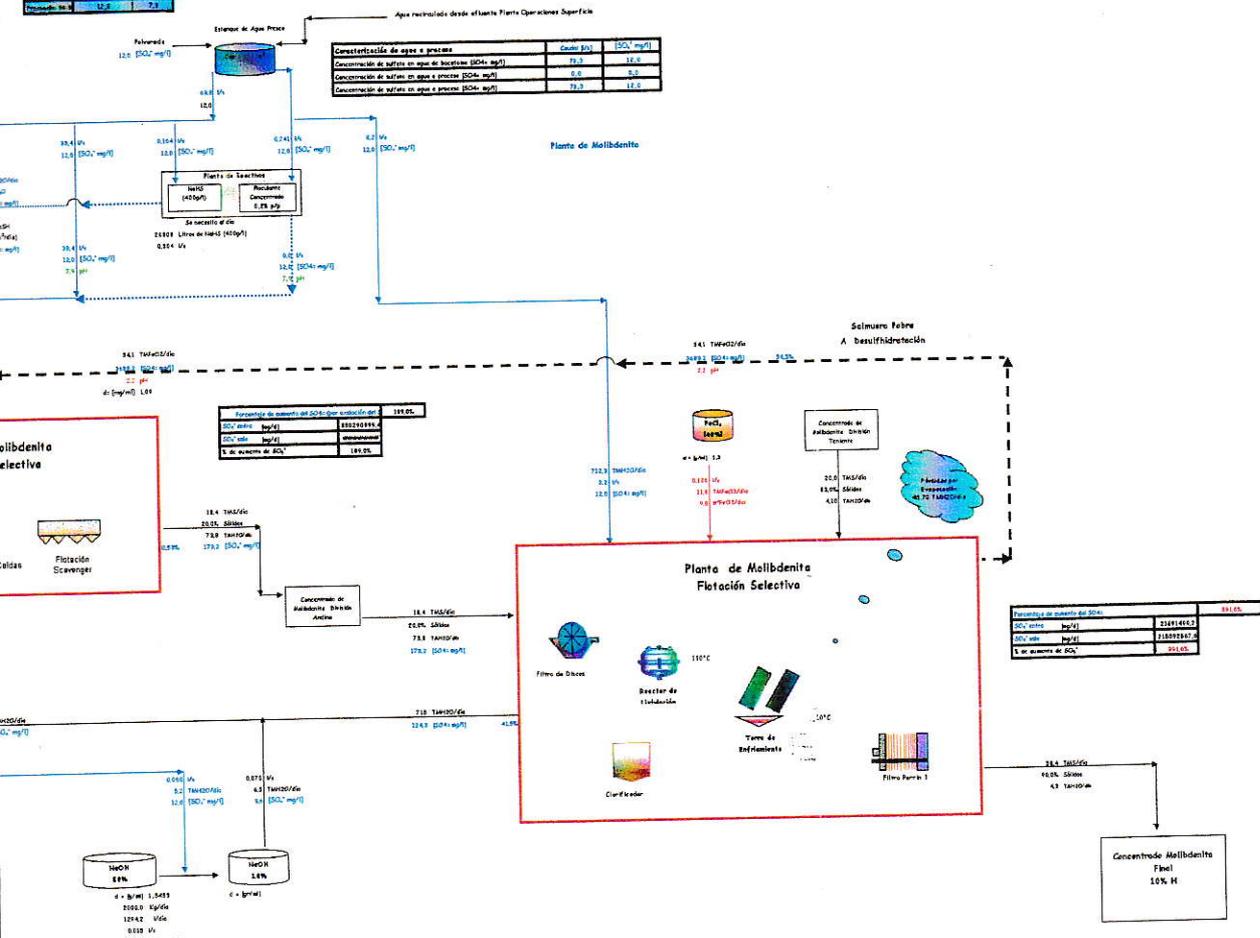


Diagrama de Flujo N°3

El balance, fue realizado considerando parte de la base teórica del balance de aguas realizado en el capítulo 2, más los siguientes alcances.

El cálculo de las concentraciones de sulfato en cada una de los puntos claves, se realizó según la siguiente ecuación de dilución:

“Ecuación de Dilución”

$$C_1V_1 + C_2V_2 + \dots + C_nV_n = C_1V + C_2V + \dots + C_nV_n \quad /18/$$

Donde:

- ◆ C_x ; concentración de sulfato la fracción acuosa (mg/l)
- ◆ V_x ; volumen de agua asociado a la corriente x (l)

En el balance de sulfato se consideró el volumen de agua asociada a cada corriente, dentro de los caudales calculados anteriormente en el balance teórico de aguas, Diagrama de flujo N°2; Capítulo 2. La concentración de sulfato de la fracción acuosa en cada punto, se obtuvo desde un monitoreo especial de este componente realizado para esta finalidad en la Planta Operaciones Superficie. Con esto y a partir de la ecuación /18/, se obtuvo la velocidad de paso del sulfato $(m/\theta)_{SO_4} = [mg/d]$ a la entrada y a la salida de cada punto del sistema.

El monitoreo de sulfato, realizado en la Planta Operaciones Superficie durante el mes de diciembre de 1999, entregó los siguientes resultados:

Tabla 22 “ Monitoreo de sulfato - Planta Operaciones Superficie”

	01-12-1999	02-12-1999	03-12-1999	04-12-1999	06-12-1999	Promedio
Resultados	Sulfato	Sulfato	Sulfato	Sulfato	Sulfato	Sulfato
Puntos de Muestreo	(mg/l)					
Concentrado Mixto (Entrada P. Moly)	24	356	515	516	332	388,6
Cola Rougher (Salida P. Moly – Entrada E. Desulfhidratación)	280	366	632	469	327	414,8

Continuación Tabla 22

Concentrado Moly. (Salida Planta Moly)	184	225	224	130	128	178,2
Conc. Cobre. (Salida Et. Desulfhidratación – Entrada P. Filtros)	309	711	674	615	358	533,4
Salmuera Pobre. (Entrada a Desulfhidratación)	5308	1199	4700	4440	2794	3688,2
Descarte Planta LR. (Antes de ser alcalinizado con NaOH)	108	270	141	35	70	124,8
Rebalse espesadores N°1 y N°2. (Salida Plantas de Filtros)	210	309	282	256	272	265,8
Entrada a P. Trat. Efluentes. (mezclado con descartes de P. LR)	191	329	241	259	287	261,4
Efluente P. Operaciones Superficie. (Descarte al Río Blanco)	260	306	286	337	514	340,6

El balance teórico de la estabilización de la concentración de sulfato, dentro del circuito de procesos de la Planta Operaciones Superficie, contempló la realización de una planilla de cálculo de la cual es posible extraer el siguiente ejemplo:

Balance de sulfato en la Planta de Molibdenita, (Figura 8):

Es posible ver en los resultados entregados en la tabla anterior, que la velocidad de paso del sulfato en la salida, es mayor a la correspondiente en la entrada, por lo que para cumplir con la Ley de Lavoisier de Conservación de la Materia es necesario que se esté generando sulfato por un mecanismo no estudiado a partir del sulfhidrato o del sulfuro existente. La siguiente ecuación puede representar una explicación para este cambio:

“Formación de sulfato a partir de oxidación de sulfuro”

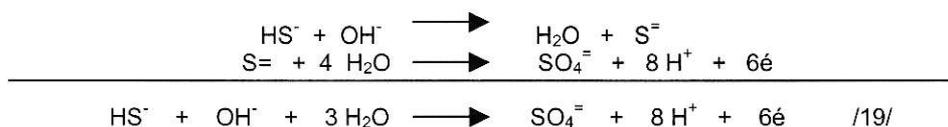
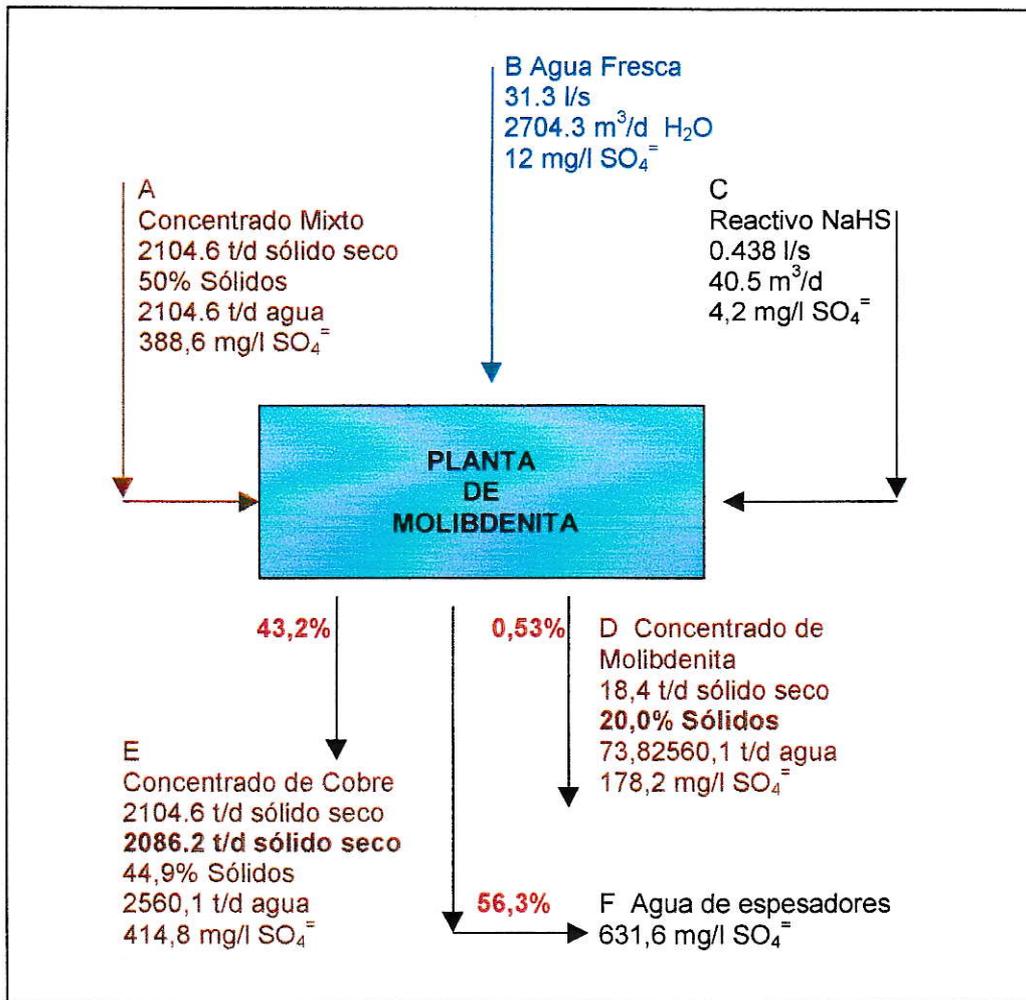


Figura 8 “Balance de sulfato Planta de Molibdenita”



La cuantificación de la generación de sulfato dentro del circuito de Flotación Selectiva, se obtuvo de la siguiente manera, y los resultados se encuentran en el Diagrama de Flujo 3:

Se calculó la velocidad de paso de sulfato $(m/\theta)_{SO_4^{=}}$ de entrada y salida:

Velocidad de paso de entrada a la Planta de Molibdenita:

Considerando la ecuación 18, se tiene

$$\begin{array}{ll}
C_A = 388,6 \text{ mg/l SO}_4^{=}; & Q_A = 2104,6 \text{ m}^3/\text{d} \\
C_B = 12,0 \text{ mg/l SO}_4^{=}; & Q_B = 2704,3 \text{ m}^3/\text{d} \\
C_C = 40,5 \text{ mg/l SO}_4^{=}; & Q_C = 40,3 \text{ m}^3/\text{d} \\
C_D = 178,2 \text{ mg/l SO}_4^{=}; & Q_D = 73,8 \text{ m}^3/\text{d} \\
C_E = 414,8 \text{ mg/l SO}_4^{=}; & Q_E = 3056,8 \text{ m}^3/\text{d} \\
C_F = 631,6 \text{ mg/l SO}_4^{=}; & Q_F = 2189,2 \text{ m}^3/\text{d}
\end{array}$$

Donde:

C_x : Concentración de sulfato en la corriente x

Q_x : Caudal de la corriente x

Con esto, los resultados fueron los siguientes

$$(m/\theta)_{\text{ENTRADA}} = (C_A V_A + C_B V_B + C_C V_C) * 1000$$

$$(m/\theta)_{\text{ENTRADA}} = 850290999 \text{ mg/d}$$

$$(m/\theta)_{\text{SALIDA}} = (C_D V_D + C_E V_E + C_F V_F) * 1000$$

$$(m/\theta)_{\text{SALIDA}} = 2457464877 \text{ mg/d}$$

Para la realización del balance de estabilización de sulfato en la planta, se consideró el aumento de los contenidos de sulfato, como un porcentaje de aumento de la concentración de sulfato de entrada. Esto debido a la inexistencia de un monitoreo especial de HS^- , $\text{S}^{=}$, o $\text{S}(t)$ como para saber cual es el porcentaje de oxidación del azufre hasta sulfato. El porcentaje de aumento de la concentración de sulfato de entrada, se obtuvo según la ecuación siguiente:

“Aumento de la concentración de sulfato” / 20/

$$\%(\text{Aumento SO}_4^{=})_{\text{ENTRADA}} = [((m/\theta)_{\text{SALIDA}} - (m/\theta)_{\text{ENTRADA}}) / (m/\theta)_{\text{ENTRADA}}] * 100$$

De esta manera el porcentaje de aumento del contenido de sulfato en la planta, es de:

$$\%(\text{Aumento } \text{SO}_4^=)_{\text{ENTRADA}} = 189,0\%$$

Una vez obtenido este porcentaje, se calculó las concentraciones determinadas en el monitoreo de sulfato (Tabla 22), por medio de los porcentajes de distribución del sulfato, en las corrientes de salida.

Partiendo de las concentraciones recogidas del monitoreo, se obtienen los porcentajes de distribución de sulfatos (%d) en cada corriente, considerando: la fracción de agua contenida en ellas, las concentraciones de sulfato en cada corriente entregada en el monitoreo, y la velocidad de paso de salida de sulfato de la planta. De esta forma del total de sulfato, el porcentaje que se va por cada corriente es:

“Porcentaje de distribución del sulfato en cada corriente (x)”

$$\% (d)_x = [(Q)_x \cdot C_x \cdot 1000 / (m/\theta)_{\text{SALIDA}}] \cdot 100 \quad /21/$$

Con lo anterior, los porcentajes de distribución en cada corriente son:

$$\% (d)_D = 0,53\%; \quad \% (d)_E = 43,2\%; \quad \% (d)_F = 56,3\%$$

Con estos datos es posible obtener las concentraciones de sulfato en cada corriente de salida, por medio de la siguiente ecuación:

“Determinación concentración de sulfato en cada corriente (x)”

$$[\text{SO}_4^=]_x = (m/\theta)_{\text{SALIDA}} \cdot \% (d)_x / ((Q)_x \cdot 1000 \quad /22/$$

Con lo anterior, los resultados fueron:

$$C_E = 414,8 \text{ mg/l } \text{SO}_4^=; \quad C_D = 178,2 \text{ mg/l } \text{SO}_4^=; \quad C_F = 631,8 \text{ mg/l } \text{SO}_4^=$$

El balance de masa realizado, para la determinación de la estabilización del sulfato en el sistema de recirculación en la Planta Operaciones Superficie, tuvo el supuesto de que todo el contenido de sulfato es descartado por el efluente, despreciando los posibles contenidos de este anión en el concentrado de cobre y de molibdeno.

Con los antecedentes mencionados y el balance de sulfato realizado anteriormente, se procedió a la búsqueda del caudal óptimo de recirculación, que permita a la descarga de la planta cumplir con la normativa de RILes.

Realizar un sistema de recirculación que implique al 100% de la descarga, como es mencionó anteriormente, involucra que necesariamente exista un tratamiento para disminuir la concentración del anión, de modo que éste no se acumule infinitamente en el circuito. De esta forma, para encontrar el caudal óptimo de recirculación, se tomó porcentajes de caudal de la descarga y se ingresó al balance de masa realizado (Diagrama de Flujo 3), el cual incorpora en la planilla de cálculo un sistema iterativo, que sirve para encontrar el punto de estabilización buscado. Algunos de los resultados, fueron los siguientes:

Tabla 23 “Concentración de estabilización del sulfato según caudal de recirculación”

Porcentaje de Recirculación de la descarga (%)	Q (l/s)	C _{SO4} ⁼ (mg/l) Estabilización	C _{SO4} ⁼ (mg/l) Norma de RILes
100	99,7	∞	1000
19,7	19,6	966,1	1000

El porcentaje de recirculación óptimo de la descarga al proceso asciende al 19,7%, el cual disminuye el consumo de agua fresca en 19,6 (l/s), y aumenta la recirculación del área a un 46,4%. Además con este porcentaje, se cumple la norma de RILes para la descarga restante, ya que alcanza un nivel de sulfato de 966,1 (mg/l). El nivel de estabilidad del sulfato en cada una de las plantas del

área, está representada en el diagrama de flujo 4;

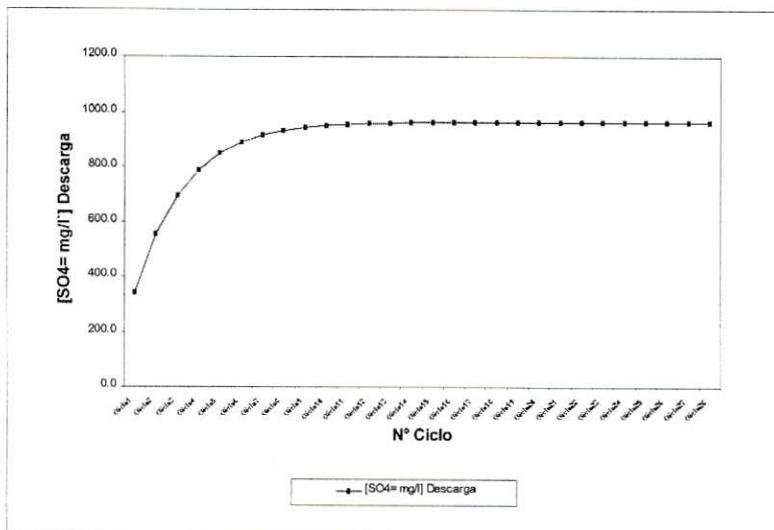
Diagrama de Flujo 4 “Simulación de la estabilización del sulfato en un sistema de recirculación -- Planta Operaciones Superficie”

La concentración del sulfato en cada ciclo, se resume en la siguiente tabla, de la cual es posible extraer la representación gráfica adjunta a ella.

Tabla 24 “Nivel de concentración de sulfato por ciclo”

Nº Ciclo	C _{SO4=} [mg/l] Descarga	Nº Ciclo	C _{SO4=} [mg/l] Descarga
Ciclo ₁	340,6	Ciclo ₁₅	962,1
Ciclo ₂	555,8	Ciclo ₁₆	962,7
Ciclo ₃	696,6	Ciclo ₁₇	963,1
Ciclo ₄	788,9	Ciclo ₁₈	963,3
Ciclo ₅	849,2	Ciclo ₁₉	963,5
Ciclo ₆	888,8	Ciclo ₂₀	963,6
Ciclo ₇	914,7	Ciclo ₂₁	963,6
Ciclo ₈	931,6	Ciclo ₂₂	963,7
Ciclo ₉	942,7	Ciclo ₂₃	963,7
Ciclo ₁₀	950,0	Ciclo ₂₄	963,7
Ciclo ₁₁	954,7	Ciclo ₂₅	963,7
Ciclo ₁₂	957,9	Ciclo ₂₆	963,8
Ciclo ₁₃	959,9	Ciclo ₂₇	963,8
Ciclo ₁₄	961,2	Ciclo ₂₈	963,8

Gráfico 19 “Representación de la estabilización del sulfato en el circuito de recirculación”

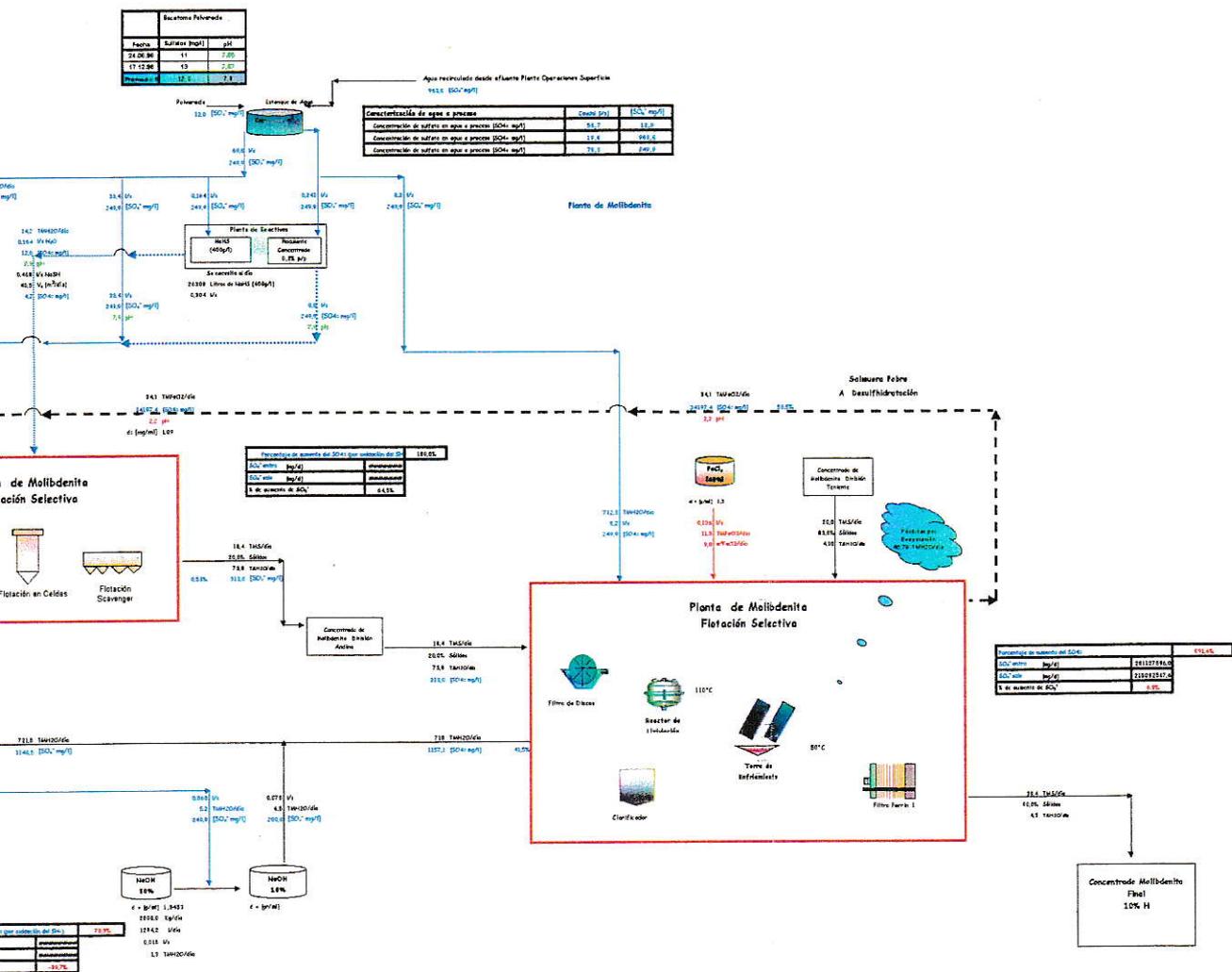


Para realizar esta recirculación, es necesario la elevación de este caudal óptimo desde el pozo de residencia N°1, hasta el estanque de agua ubicado en la ladera este a la planta, a una distancia de 150 m y una diferencia de altura de 45 m aproximadamente. El cálculo de la potencia de bombeo necesaria para la realización de este trabajo en la Planta Operaciones Superficie, entregó resultados cercanos a los 15 HP.

Para tener una visión global del escenario planteado, se presenta una figura ilustrativa de éste. (Figura 9) En ella, al igual que la que correspondiente a presentar para el escenario 3, se indican los consumos de agua sin el porcentaje adicional (5%, incluido en el Balance Teórico de Aguas - Diagrama de Flujo N°2). Por otro lado, los porcentajes de aumento de la recirculación y ahorros de agua del área si lo consideraron. La tabla presentada a continuación de esta figura, se extrajo de la aplicación de este escenario en el balance teórico de aguas realizado en el capítulo 2 (Diagrama de flujo N°2), la que indica que el consumo Divisional de agua alcanza a 599,6 (l/s), que significa una disminución del consumo de 182,4 (l/s), y un aumento del porcentaje de recirculación de las aguas del proceso desde 55,8% a 66,14%. Se destaca además, que la descarga del proceso disminuye en 19,6 (l/s), lo que si bien no da una impresión de mejoramiento elevado de la disminución del consumo de agua del área, es importante en el sentido de la aplicación de una alternativa viable, sin considerar un tratamiento adicional para el sulfato en esta descarga.

La disminución del consumo de agua en el Área Concentrador, aporta el mayor porcentaje de ahorro para la disminución del consumo Divisional. Este ahorro debe realizarse en las bocatomas de agua fresca, y usar en la medida que permitan las exigencias de los procesos, las aguas provenientes desde bocatomas industriales, para asegurar así un menor impacto al medio ambiente externo.

Flujo N°4
 Diagrama de recirculación - Planta Operaciones Superficie"
 Diagrama de recirculación - División Andina)
 Carga Parcial



"Estabilización de la concentración de sulfato en el circuito de recirculación"
 Caudal Optimo de Recirculación: 19.7% de la Descarga

N° Ciclo [SO4= mg/l] Descarga

Ciclo0	940.6
Ciclo1	555.8
Ciclo2	696.6
Ciclo3	788.9
Ciclo4	946.2
Ciclo5	886.8
Ciclo6	914.7
Ciclo7	921.6
Ciclo8	942.7
Ciclo9	950.0
Ciclo10	954.7
Ciclo11	957.9
Ciclo12	959.9
Ciclo13	961.2
Ciclo14	962.1
Ciclo15	962.7
Ciclo16	963.1
Ciclo17	963.1
Ciclo18	963.3
Ciclo19	963.5
Ciclo20	963.6
Ciclo21	963.6
Ciclo22	963.7
Ciclo23	963.7
Ciclo24	963.7
Ciclo25	963.7
Ciclo26	963.7
Ciclo27	963.7
Ciclo28	963.7
Ciclo29	963.7
Ciclo30	963.7

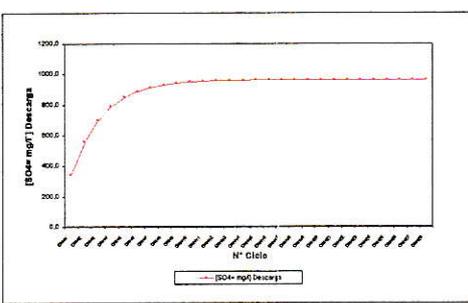


Diagrama de Flujo N°4

"Estabilización de la concentración de sulfato en el circuito de recirculación - Planta Operaciones Superficie"

Figura 9 "Presentación del escenario N°1 de alternativas manejo del recurso hídrico"

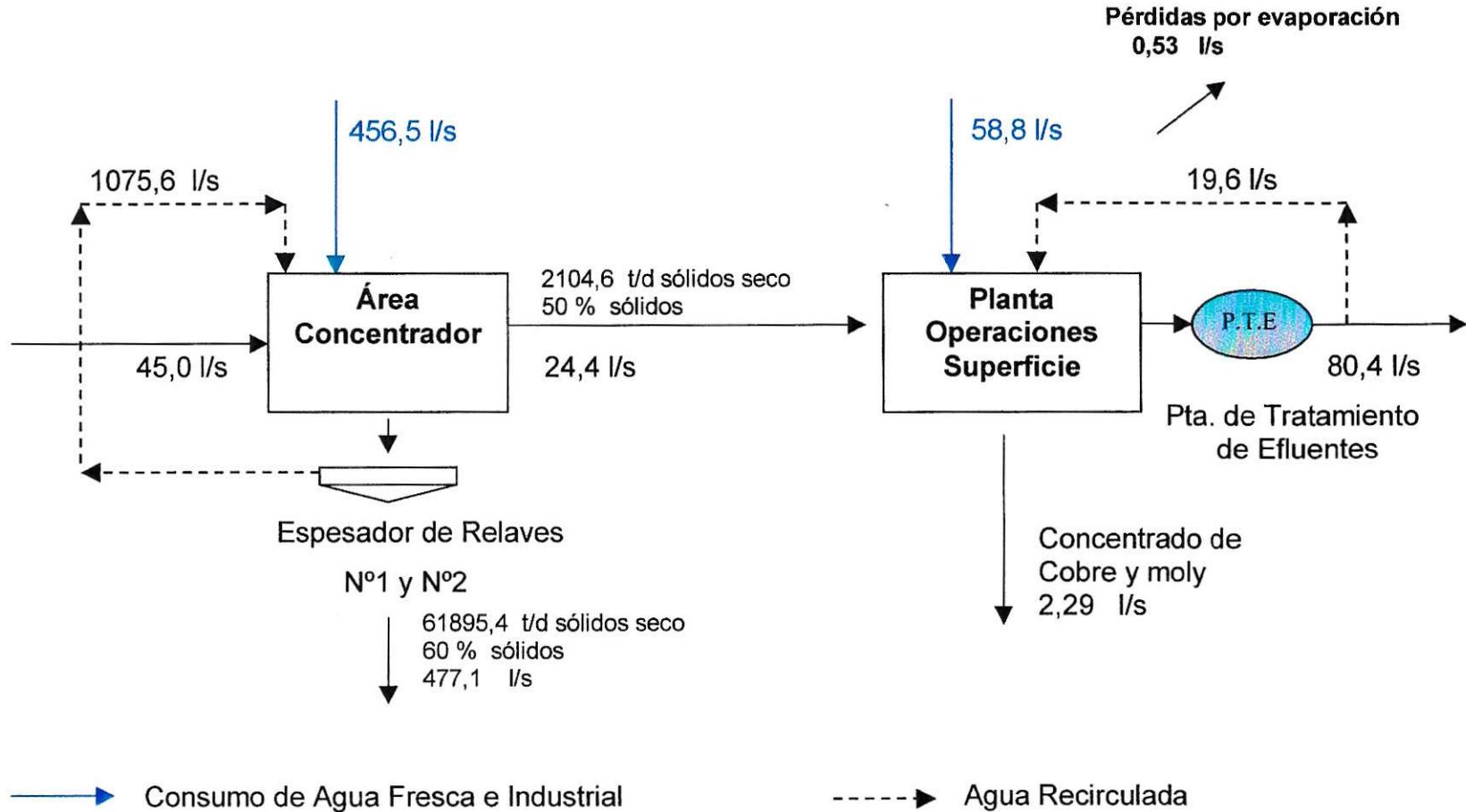


Tabla 25 “ Resumen de consumos de agua divisional – Aplicación escenario N°1”

Area Concentrador							
	Bocatoma	Estanque Sag	Est. P. Constante	E. Agua Fresca	Recirculada	Consumo Total	Cons. Total Real
Concentrador							
Consumo Total	20,4	822,5	562,2	166,7	39,7	1611,5	1571,8
+1,05 (Factor Agua Adicional)	21,5	863,7	590,3	175,0	0,00	1650,4	1650,4
Recirculación	0,00	1075,6		0,00	39,7	1115,3	1115,3
Consumo Real Total A. Concentrador	21,5	378,4		175,0	-39,7	535,1	535,1
Planta Operaciones Superficie							
Consumo Total Area							114,5
+1,05 (Factor Agua Adicional)							120,2
Recirculación Area en estanque de agua							36,1
Recirculación Area en procesos							19,6
Recirculación Total Area							55,7
Consumo Real Total Area Superficie							64,5
Consumo General Divisional							
Consumo Divisional							
Consumo Total [+1,05%]	1770,6 l/s						
Recirculación	1171,0 l/s						
Consumo Real Total División Andina	599,6 l/s						

Es importante mencionar que en el siguiente capítulo se determinará el costo total de cada escenario, en el cual se incluirán los costos soft y el costo alternativo del agua. Es por esto, que se debe dejar en claro que en este

escenario involucra los costos soft, al igual que el escenario actual. El costo alternativo del agua por su parte, no será incluido según los 162,8 (l/s) de agua fresca ahorrada en el Área del Concentrador, aún cuando ellos corresponden a derechos consuntivos de agua, debido a que éstos no son ahorrados directamente por la recirculación de la descarga de la Planta Operaciones Superficie. Por el contrario, la disminución del consumo de agua desde la bocatoma Polvareda en la Planta de Operaciones Superficie, de 19,6 (l/s), involucra a derechos de aprovechamiento de aguas no consuntivos, que de igual manera deben ser devueltos al Río Blanco según la normativa de RILes vigente.

Escenario 2 “Recirculación total de la descarga de la POS dentro de ella y al CO”

Para el aumento de la recirculación Divisional, se puede aumentar el contenido de sólidos en 60% en los relaves generados en los espesadores, y sin considerar un nuevo tratamiento para el abatimiento del sulfato en los descartes de la Planta de Operaciones Superficie, idear un nuevo circuito de recirculación que implique elevar la descarga restante de la recirculación parcial en la Planta Operaciones Superficie indicada en el escenario 1, hasta el Área Concentrador. Esta alternativa es un tanto extrema, si se considera el hecho que estas áreas se encuentran separadas aproximadamente por 22 km. y a una diferencia de cotas de 1.480 m. Pero es importante desarrollar este escenario, para ver los factores que deben analizarse antes de idear un circuito que a futuro pueda traer problemas con las normas por cambio de las condiciones de salida actuales, o con el funcionamiento de los procesos. Bajo estos parámetros, es importante mencionar que los procesos de molienda y de flotación colectiva, no deberían tener problemas con esta calidad de agua, pero considerando que al igual que la alternativa anterior, se debe establecer si esta

recirculación se estabiliza en un nivel tal de sulfato, que haga cumplir a la descarga de las aguas claras de relaves con los programas de manejo en Rinconada de Huechún y con la normativa de RILes. Es por lo anterior, que se debe incorporar al balance de estabilización realizado para la Planta Operaciones Superficie, la influencia del concentrador, de manera de obtener la factibilidad real de ello. La influencia en las aguas claras de relaves, se debe a que gran parte del contenido de sulfato presente escapa por esta descarga, generada luego de la decantación de los sólidos en el tranque.

Entonces, para evaluar la real posibilidad de realizar esta recirculación, se incorporó a la simulación del sulfato realizada para el escenario 1, el Área Concentrador, el cual fue tomado como una caja negra debido a la inexistencia de datos de sulfato como se realizó para la Planta Operaciones Superficie. La nueva simulación, permitió establecer un caudal óptimo de recirculación menor a 3 (l/s), pues considerando una recirculación de los 80,1 (l/s) (que corresponde al total de la descarga restante), los contenidos de sulfatos en las aguas claras sobrepasaban fácilmente al momento de la estabilización una concentración mayor a los 14800 (mg/l), lo que hace temer ciertamente por la posibilidad de manejo planeada para estas aguas. El gran supuesto de esta simulación, implica que el nuevo tranque de relaves de Huechún, tendrá una capacidad igual que Los Leones para entregar aguas claras de similar calidad.

Del diagrama de flujo realizado, se puede obtener que recirculando un poco menos de 3 (l/s) de la descarga restante al Área Concentrador, se logra una estabilización del sulfato en la descarga restante en 999,0 (mg/l) y en las aguas claras de relaves en 637,6 (mg/l), lo que no hace respaldar este escenario considerando que éste caudal no logra una disminución significativa del consumo, ni menos considerando la alta potencia de bombeo involucrada debido a las no despreciables distancias y diferencias de altitud que existe entre estas dos plantas.

Por lo explicado anteriormente, se realiza el descarte de esta alternativa para proseguir a la presentación de la última alternativa de recirculación sin un abatimiento previo del sulfato, que involucra la recirculación de todo el caudal de la descarga (99,7 (l/s)), hasta el Area Concentrador.

Escenario 3 "Recirculación total de la descarga de la POS al CO"

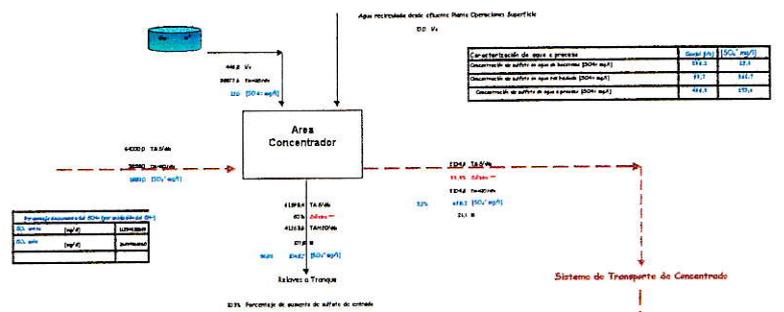
Este escenario involucra mantener la idea aumentar el porcentaje de sólidos de los relaves a un 60%, y agregar a esto, la recirculación total de la descarga de la Planta Operaciones Superficie hasta el Área Concentrador. Este último punto, es un tanto llamativo en el sentido que el agua a recircular, no tiene una influencia de la Planta Operaciones Superficie por recirculación parcial de este descarte, como las alternativas anteriores. De hecho, su calidad para el Área Concentrador es bastante aceptable considerando que también se incluye en esta alternativa, el abatimiento previo de los contaminantes como el que involucra la Planta de Tratamiento de Efluentes estudiada por Innovación y Desarrollo Tecnológico.

Lo que puede llamar quizás la atención, es el planteamiento de una alternativa que involucra una alta potencia de bombeo para la recirculación de un caudal no despreciable a una gran distancia y desnivel. Sin embargo, esto puede contrarrestarse con el hecho que este manejo involucra la desaparición de los costos soft por la evacuación del RIL conflicto, que sin duda no es despreciable, y además de ello, trae un beneficio directo por el no consumo de agua de alta calidad en el Área Concentrador, la cual queda disponible para mejorar el medio ambiente, disminuyendo la influencia antrópica de extracción desde reservas naturales, cuando los caudales disponibles sean iguales o más bajos que los consumos.

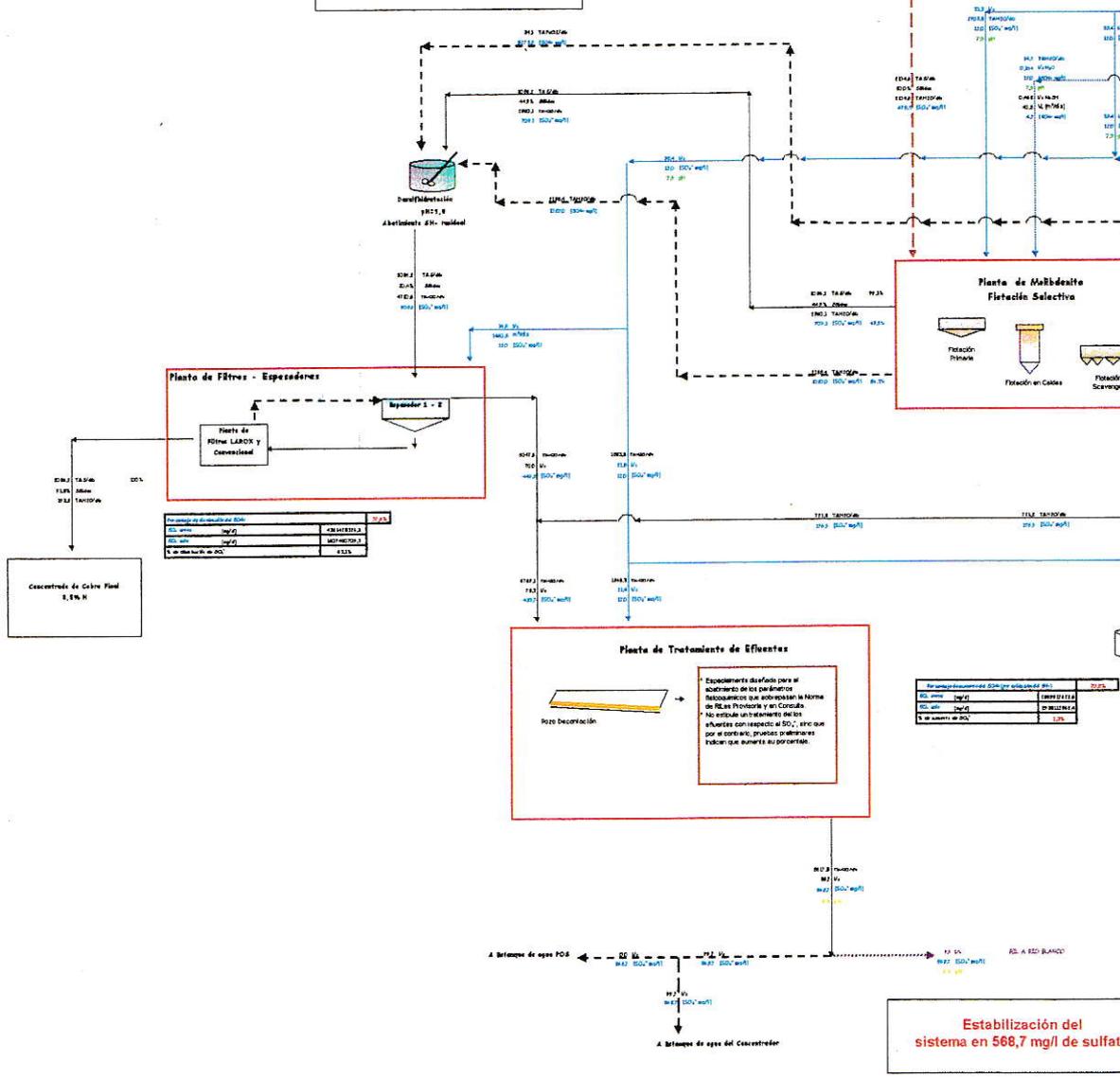
Al igual que los escenarios anteriores, se estableció una simulación de la concentración de sulfato en el circuito de recirculación, con el objetivo de ver la influencia de esta opción, en la concentración de sulfato de las aguas claras destinadas al riego del bosque de eucaliptus en Rinconada de Huechún⁸. Este balance, demuestra que tal recirculación eleva la concentración de sulfato en estas aguas desde 615 (mg/l) hasta 1069 (mg/l), lo que no debería ocasionar problemas en el manejo posterior de esta agua. La concentración estabilizada del ex – descarte de la Planta Operaciones Superficie aumenta su porcentaje desde 340,6 (mg/l) hasta 569 (mg/l).

Diagrama de Flujo 5 “Simulación de la estabilización del sulfato en un sistema de recirculación -- Planta Operaciones Superficie y Área Concentrador” Escenario 3

⁸ Este balance al igual que los anteriores, consideró una influencia del Tranque de Relaves de Huechún similar a la del Tranque Los Leones, en cuestión de calidad de los efluentes.



Estabilización del sulfato en aguas claras (1068,3 mg/l)



SIMBOLOGIA:

- > Agua Reciclada
- - -> Río evaporado a Río Blanco
- = Condil Característica Promedio
- [SO₄ mg/l] Concentración de Sulfato (miligramos por litro)

TMS/día : toneladas métricas de Mineral seco al día
 TMM/día : toneladas métricas de Mineral húmedo al día
 TMSO₄/día : toneladas métricas de agua al día (Fiección de Fosa)
 TM(F=O) : toneladas métricas de Cloruro X=O (Fuerzas) al día

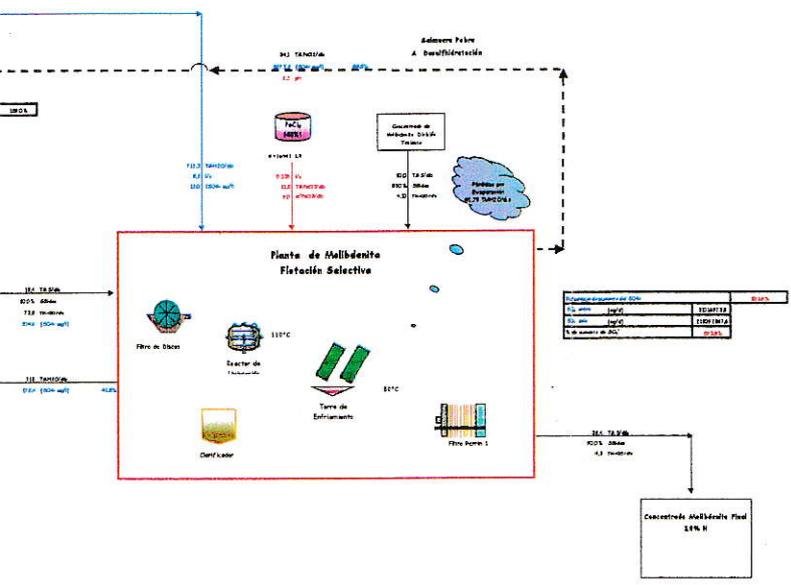
Equipo de laboratorio para el abastecimiento de los parámetros toxicológicos que involucran la Norma de Residuos Peligrosos y su Control. No existe un elemento de los siguientes con respecto al SO₄, sino que por el contrario, pruebas preliminares indican que aumenta su porcentaje.

Equipo de laboratorio para el abastecimiento de los parámetros toxicológicos que involucran la Norma de Residuos Peligrosos y su Control. No existe un elemento de los siguientes con respecto al SO₄, sino que por el contrario, pruebas preliminares indican que aumenta su porcentaje.

Apex recubridor de zinc - Planta Operaciones Superficie

Flujo	Conc. (g/L)	Q (m ³ /h)
Flujo de agua a proceso	10.0	10.0
Flujo de agua a proceso (2000 kg)	0.7	140.0
Flujo de agua a proceso (2000 kg)	11.0	15.0

Flujo de Molibdeno



Flujo	Conc. (g/L)	Q (m ³ /h)
Flujo de agua a proceso	10.0	10.0
Flujo de agua a proceso (2000 kg)	0.7	140.0
Flujo de agua a proceso (2000 kg)	11.0	15.0

La concentración de sulfato en el circuito de recirculación
de Recirculación es CO: 100% de la Descarga

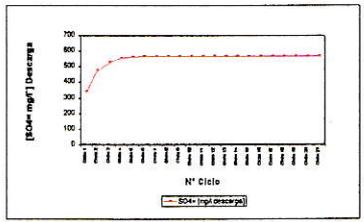




Diagrama de Flujo Nº5
 "Simulación de la estabilización del sulfato en un sistema de recirculación - Planta Operaciones Superficie y Area Concentrador- Escenario 3"
 División Andina - Codeco



En esta alternativa puede verse con mayor claridad, que la Planta de Operaciones Superficie tiene la mayor influencia en el aumento de la concentración de sulfato en los descartes, de hecho el porcentaje de aumento del contenido de sulfatos en las operaciones de flotación selectiva y lixiviación dan una indicación de este comportamiento.

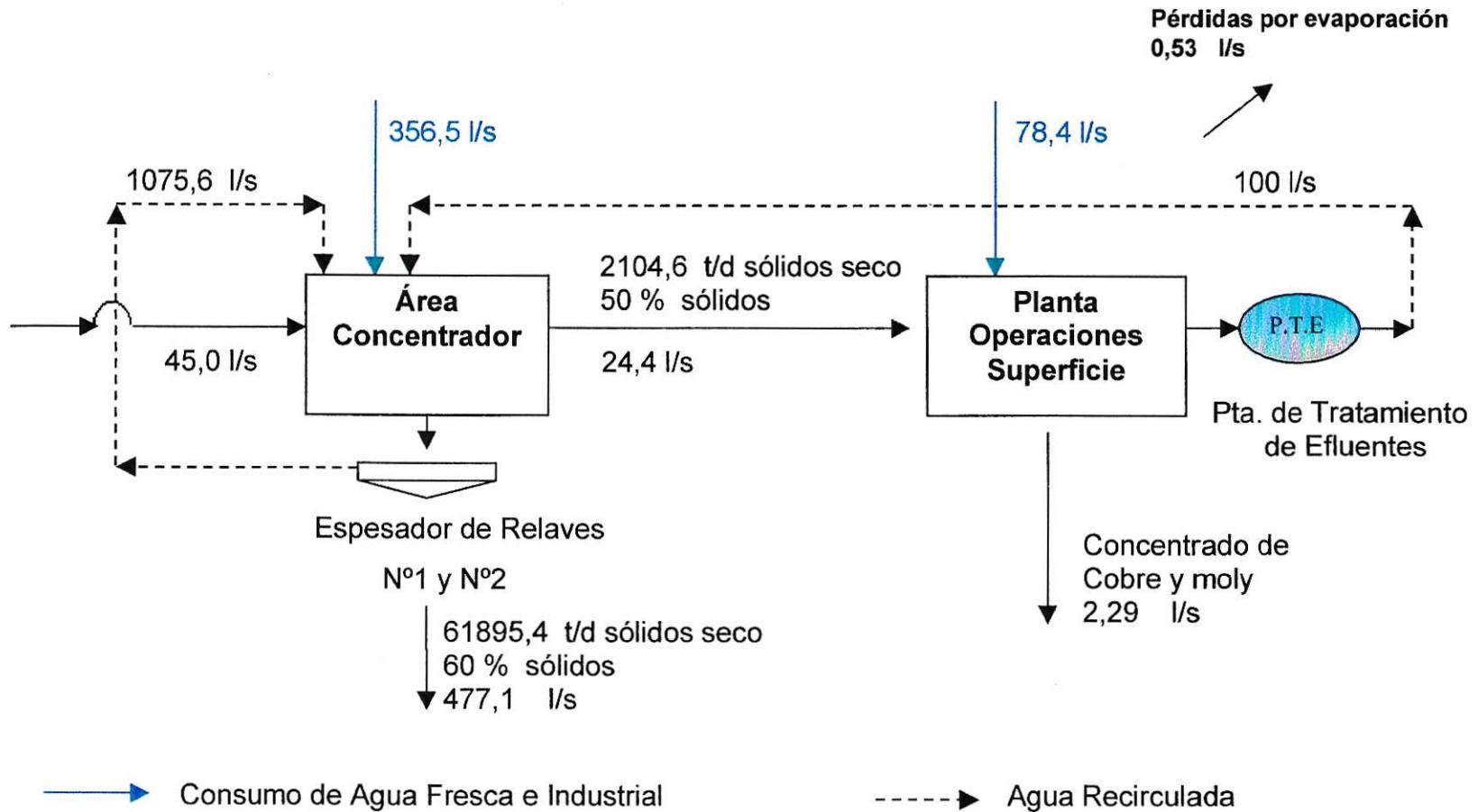
El escenario planteado, esta representado en la figura 10 para que pueda ser entendido completamente. De la aplicación de éste, en el Balance Teórico de aguas realizado en el capítulo 2 (Diagrama de Flujo N°2), es posible extraer que la recirculación total del Área Concentrador asciende a un porcentaje de 73,6%, y que el consumo Divisional de aguas disminuye en 262,5 (l/s), traducido en un aumento de la recirculación a un 70,7%. (La tabla 26) Es importante agregar que todo el ahorro de agua fresca corresponde a los extraídos del Área Concentrador, los cuales corresponden a derechos consuntivos de agua. Esta reducción, trae un beneficio medioambiental ya que las aguas no extraídas deben seguir vía Río Blanco, en al menos en 84,1 (l/s), ya que corresponden al reemplazo del agua extraída desde la bocatoma de agua polvareda que corresponden a derechos no consuntivos de agua.

Finalmente, se debe agregar otro factor importante para la evaluación de este escenario, y es el que corresponde al trazado de recirculación. Este fue extraído desde una evaluación realizada por Innovación y Desarrollo Tecnológico, donde se determinó una potencia necesaria para la elevación de este caudal de agua, desde la Planta Operaciones Superficie hasta el concentrador, de 2700 HP considerando una diferencia de cotas de 1480 m. y un largo del trazado de recirculación de 22.000 m.

Tabla 26 “Resumen de consumos de agua divisional – Aplicación escenario N°3”

	Área Concentrador						
Concentrador	Bocatoma	Estanque Sag	Est. P. Constante	E. Agua Fresca	Recirculada	Consumo Total	Cons. Total Real
Consumo Total	20,4	822,5	562,2	166,7	39,7	1611,5	1571,8
+1,05 (Factor Agua Adicional)	21,5	863,7	590,3	175,0	0,00	1650,4	1650,4
Recirculación	0,00	1115,3		0,00	0,00	1115,3	1115,3
Recirculación desde POS	0,00	99,7		0,00	0,00	99,7	99,7
Recirculación Total Area	0,00	1215		0,00	0,00	1215	1215
Consumo Real Total A. Concentrador	21,5	1215		175,0	-39,7	435,1	435,4
	Planta Operaciones Superficie						
Consumo Total Area							114,5
+1,05 (Factor Agua Adicional)							120,2
Recirculación Area en estanque de agua							36,1
Consumo Real Total Area Superficie							84,1
	Consumo General Divisional						
Consumo Divisional							
Consumo Total [+1,05%]	1770,6 l/s						
Recirculación	1251,1 l/s						
Consumo Real Total División Andina	519,5 l/s						

Figura 10 “Presentación del escenario N°3 de alternativas manejo del recurso hídrico”



De los escenarios analizados, es posible establecer que el plan complementario de manejo presentado en el número 3, ofrece la mayor disminución de los residuos e impactos, debido a que contempla el tratamiento de la descarga más agresiva al medio ambiente y además muy socialmente criticada. Este escenario, permite además la recirculación de esta descarga al proceso del Área Concentrador, lo que implica su desaparición en el sector de Saladillo y la disminución del consumo de agua fresca en esta área. Pero es importante equilibrar las ventajas de éste y los demás escenarios, con los costos que ellos implican, donde influye de manera positiva en el escenario 3 los costos soft que desaparecen, pero de manera negativa la alta potencia de bombeo implicada, y el no despreciable trazado del circuito de recirculación necesario para ello. Es por esto, que es importante ver con claridad cual escenario es más conveniente en cuanto a la reducción de los costos asociados y los beneficios que estos traen. Para ésta finalidad, se desarrolló el siguiente capítulo, donde se realiza una valoración económica de cada uno, en la cual son considerados los Costos de Inversión y de Operación, además de los Costos Soft de evacuación de este RIL conflicto.

CAPÍTULO 6 VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS DISTINTOS ESCENARIOS DE MANEJO DE LA DESCARGA DE LA PLANTA OPERACIONES SUPERFICIE Y LA DISMINUCIÓN DE LOS CONSUMOS DE AGUA DIVISIONALES

Para la evaluación de cada uno de los escenarios planteados, se realizó una comparación de ellos contra un caso base que corresponde a la situación actual de la División Andina. Este caso base, considera la situación descrita en cuanto al RIL de la Planta Operaciones Superficie y los consumos Divisionales de agua mencionados. El objetivo de la evaluación, es lograr una visualización práctica de los factores comentados dentro de las escenarios propuestos, con la finalidad de lograr decisiones oportunas y dejar abierta la posibilidad de proponer por el lector, nuevos escenarios para disminuir los consumos de agua y la generación de residuos e impactos.

En las evaluaciones siguientes, los costos soft fueron incorporados cuando no existe recirculación total de la descarga de la Planta Operaciones Superficie, y el costo alternativo del agua, cuando existe un ahorro de agua por recirculación de la descarga, correspondiente a derechos de aprovechamiento de tipo consuntivo. De esta forma, este “ahorro de agua”, puede traducirse en un ingreso para la División según la manera que se transe el derecho.

La evaluación fue realizada considerando los costos de inversión y de operación proyectados a 25 años, y comparándolos con el caso base de la situación actual. Para realizar lo anterior, se obtuvo el Valor Actual Neto a 25 años de cada escenario y de la situación actual.

Antes de comenzar la evaluación, es importante definir:

- ◆ **Valor Actual Neto (VAN):** corresponde a un criterio de evaluación, que plantea que el proyecto debe aceptarse si su VAN es mayor o igual a cero, siendo el VAN "la diferencia entre todos los ingresos y egresos expresados en moneda actual". La expresión matemática correspondiente, se presenta a continuación:

Valor Actual Neto /23/

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+i)^t} - I_0$$

Donde: BN, es el beneficio neto del flujo en el período t. (puede ser positivo y negativo)

$$BN_t = Y_t - E_t \quad /24/$$

Donde:

Y_t : Flujo de ingresos del proyecto

E_t : Flujo de egresos del proyecto (Costos Operacionales)

I_0 : Inversión Inicial en el momento cero de la evaluación

i : tasa de descuento: corresponde al interés sobre la inversión

Considerando lo anterior, la evaluación de los escenarios se realizó sobre las siguientes alternativas, con una tasa de descuento (i) del 10%;

Alternativa A: "Conservación de la Situación Actual"

Alternativa B: "Planta de Tratamiento de Efluentes"

Alternativa C: "Planta de Tratamiento de Efluentes + Recirculación parcial de la descarga de la Planta Operaciones Superficie + Aumento del porcentaje de sólidos en la línea de relaves"

Alternativa D: "Planta de Tratamiento de Efluentes + Recirculación total de la descarga de la Planta Operaciones Superficie hasta el Concentrador + Aumento del porcentaje de sólidos en la línea de relaves"

Alternativa A: “Conservación de la Situación Actual”

Esta alternativa involucra que ante la situación actual del uso del recurso hídrico para el proceso industrial, y la generación de residuos e impactos por la descarga de la Planta Operaciones Superficie, la División no ejecute acciones para la mejoría de ello. Esta alternativa no es viable desde el punto de técnico, pues la normativa vigente de RILes ya es sobrepasada en los parámetros mencionados en los capítulos anteriores, y además el proyecto de norma de RILes establece que los efluentes descritos no podrán ser vertidos cinco años después de que ésta se promulgue. Dentro de esto último, es importante mencionar que para poder realizar la comparación, esta evaluación de igual forma se realizó bajo el supuesto de que la normativa permita seguir evacuando los residuos al cauce, por lo que sólo se incluyó los costos soft por evacuación del RIL conflicto.

Con lo anterior, los costos de esta alternativa es la siguiente:

- ◆ **Costos Operacionales: US\$/año 255.777**
- ◆ **Costo de Inversión: US\$ 600.000**

Otro de los supuestos de esta evaluación, fue que los eventos descritos en el capítulo 4 para la determinación de los costos soft, se repiten cada año en que se realiza la proyección. Este supuesto, se mantuvo para todas las alternativas según corresponda.

El resultado del Valor Actual Neto para esta alternativa, es presentado en la tabla 27. Aquí se puede notar que su valor es negativo, dado que la alternativa no contempla ingresos. Esta situación se repetirá en cada uno de los siguientes escenarios, como será indicado más adelante.

Tabla 27 “Evaluación económica Alternativa A – Conservación de la situación Actual”

Años	Inversión US\$	Ingresos	Costos Operacionales (US\$)	Flujo caja US\$
2000	600.000	0	255.777	-855.777
2001	0	0	255.777	-255.777
2002	0	0	255.777	-255.777
2003	0	0	255.777	-255.777
2004	0	0	255.777	-255.777
2005	0	0	255.777	-255.777
2006	0	0	255.777	-255.777
2007	0	0	255.777	-255.777
2008	0	0	255.777	-255.777
2009	0	0	255.777	-255.777
2010	0	0	255.777	-255.777
2011	0	0	255.777	-255.777
2012	0	0	255.777	-255.777
2013	0	0	255.777	-255.777
2014	0	0	255.777	-255.777
2015	0	0	255.777	-255.777
2016	0	0	255.777	-255.777
2017	0	0	255.777	-255.777
2018	0	0	255.777	-255.777
2019	0	0	255.777	-255.777
2020	0	0	255.777	-255.777
2021	0	0	255.777	-255.777
2022	0	0	255.777	-255.777
2023	0	0	255.777	-255.777
2024	0	0	255.777	-255.777
2025	0	0	255.777	-255.777
VAN	545.455	0	2.343.159	-2.888.614
VAN				-2.888.614

Alternativa B: “Planta de Tratamiento de Efluentes”

Esta alternativa incorpora sólo una reducción de los residuos e impactos, por medio del manejo de la descarga de la Planta Operaciones Superficie, con el abatimiento de sus contaminantes hasta los límites permitidos por la normativa vigente, según lo establecerá la Planta de Tratamiento de Efluentes que esta en diseño. Para su evaluación, se tomaron datos generales

entregados por la Unidad de Innovación y Desarrollo Tecnológico que indican que los siguientes costos aproximados:

Costos estimados: Planta Tratamiento de Efluentes

- ◆ **Costos Operacionales: US\$/año 700.000**
- ◆ **Costo de Inversión: US\$ 1.000.000**

Con estos datos es posible entregar un costo operacional y de inversión total para el escenario, considerando que esta alternativa al no contemplar la eliminación total de la descarga conflicto, debe incorporar los costos soft por continuar la evacuación de este RIL.

Costos estimados para la alternativa B:

Costos Inversión: US\$ 1.600.000

- ◆ Planta de Tratamiento de Efluentes: US\$ 1.000.000
- ◆ Costos Soft: US\$ 600.000

Costos de Operación: US\$/año 955.777

- ◆ Planta de Tratamiento de Efluentes: US\$/año \$ 700.000
- ◆ Costos Soft: US\$/año \$ 255.777

Con estos resultados la evaluación del escenario a 25 años, entregó los siguientes resultados:

Tabla 28 “Evaluación económica Alternativa B – Planta de Tratamiento de Efluentes”

Años	Inversión US\$	Ingresos	Costos Operacionales (US\$)	Flujo caja US\$
2000	1.600.000	0	955.777	-2.555.777
2001	0	0	955.777	-955.777
2002	0	0	955.777	-955.777

Continuación Tabla 28

2003	0	0	955.777	-955.777
2004	0	0	955.777	-955.777
2005	0	0	955.777	-955.777
2006	0	0	955.777	-955.777
2007	0	0	955.777	-955.777
2008	0	0	955.777	-955.777
2009	0	0	955.777	-955.777
2010	0	0	955.777	-955.777
2011	0	0	955.777	-955.777
2012	0	0	955.777	-955.777
2013	0	0	955.777	-955.777
2014	0	0	955.777	-955.777
2015	0	0	955.777	-955.777
2016	0	0	955.777	-955.777
2017	0	0	955.777	-955.777
2018	0	0	955.777	-955.777
2019	0	0	955.777	-955.777
2020	0	0	955.777	-955.777
2021	0	0	955.777	-955.777
2022	0	0	955.777	-955.777
2023	0	0	955.777	-955.777
2024	0	0	955.777	-955.777
2025	0	0	955.777	-955.777
VAN	1.454.545	0	8.755.821	-10.210.366
VAN				-10.210.366

Alternativa C: “Planta de Tratamiento de Efluentes + Recirculación parcial de la descarga de la Planta Operaciones Superficie + Aumento del porcentaje de sólidos en la línea de relaves”

Esta alternativa involucra al escenario 1 de manejo del recurso hídrico (Figura 9, Capítulo 5), y en ella se considera en primer lugar aumentar el porcentaje de sólidos en la línea de relave hasta el 60% sólidos, lo que no significa una inversión debido a que el espesador N°2 está re-potenciado para alcanzar este nivel de sólidos. Pero es conveniente mencionar que esta acción debe ser realizada en forma segura, de manera que es importante establecer a futuro una inversión para re-potenciar el espesador de relaves N°1, en caso de que el primero falle y el proceso continúe sin problemas.

En segundo lugar, esta alternativa involucra la recirculación parcial de la descarga de la Planta Operaciones Superficie en un caudal óptimo de recirculación de 19,6 (l/s), considerando el abatimiento de la Planta de Tratamiento de Efluentes estudiada por Innovación y Desarrollo Tecnológico. Esta recirculación, necesariamente significa la construcción de un circuito de recirculación, para el cual se determinó en forma general los siguientes Costos de Inversión y de Operación:

Recirculación parcial de la descarga: (datos generales)

- ◆ Volumen a movilizar: 19,6 (l/s)
- ◆ Distancia Succión – descarga: 200 m
- ◆ Diferencia altura de elevación: 45 m
- ◆ Características del fluido: agua
- ◆ Días de operación al año: 365
- ◆ Horas de operación diaria: 24

Costos de Inversión: US\$ 49.500

- ◆ Estación de Bombeo: US\$ 8.000 (caseta, 2 bombas 20HP c/u, motores)
- ◆ Pozo de alimentación: US\$ 25.000 (140 m³, suficientes para dos horas de acumulación de caudal)
- ◆ Ducto de Conducción: US\$ 16.500 (200 m, ϕ 4" nominal Sch. 40)

(Se consideró que la descarga será efectuada en el estanque de agua existente)

Costos de Operación: US\$/año 5.200

- ◆ Energía Eléctrica: US\$/año 5.200

(Se despreció la mano de obra, y los repuestos por ser un circuito de recirculación pequeño)

Con estos datos es posible establecer los costos totales del escenario, considerando además, los costos soft y los costos de la Planta de Tratamiento de Efluentes.

Costos Inversión: US\$ 1.649.500

- ◆ Planta de Tratamiento de Efluentes: US\$ 1.000.000
- ◆ Costos Soft: US\$ 600.000
- ◆ Costos recirculación parcial de la descarga POS: US\$ 49.500

Costos de Operación: US\$/año 960.977

- ◆ Planta de Tratamiento de Efluentes: US\$/año 700.000
- ◆ Costos Soft: US\$/año 255.777
- ◆ Costos recirculación parcial de la descarga POS: US\$/año \$ 5.200

Con estos resultados la evaluación del escenario a 25 años, entregó los siguientes resultados:

Tabla 29 “Evaluación económica Alternativa C - Planta de Tratamiento de Efluentes + Recirculación parcial de la descarga de la Planta Operaciones Superficie + Aumento del porcentaje de sólidos en la línea de relaves”

Años	Inversión US\$	Ingresos	Costos Operacionales (US\$)	Flujo caja US\$
2000	1.649.500	0	960.977	-2.610.477
2001	0	0	960.977	-960.977
2002	0	0	960.977	-960.977
2003	0	0	960.977	-960.977
2004	0	0	960.977	-960.977
2005	0	0	960.977	-960.977
2006	0	0	960.977	-960.977
2007	0	0	960.977	-960.977
2008	0	0	960.977	-960.977
2009	0	0	960.977	-960.977
2010	0	0	960.977	-960.977
2011	0	0	960.977	-960.977

Continuación Tabla 29

2012	0	0	960.977	-960.977
2013	0	0	960.977	-960.977
2014	0	0	960.977	-960.977
2015	0	0	960.977	-960.977
2016	0	0	960.977	-960.977
2017	0	0	960.977	-960.977
2018	0	0	960.977	-960.977
2019	0	0	960.977	-960.977
2020	0	0	960.977	-960.977
2021	0	0	960.977	-960.977
2022	0	0	960.977	-960.977
2023	0	0	960.977	-960.977
2024	0	0	960.977	-960.977
2025	0	0	960.977	-960.977
VAN	1.499.545	0	8.803.458	-10.303.003
VAN				-10.303.003

En este escenario, no se consideró como posible ingreso la disminución de los consumos de agua del Área Concentrador, dado que el ahorro en esta área (debido al aumento de la recirculación desde los espesadores de relaves)⁹, no involucra una acción con un costo real inmediato. Por otro lado, el ahorro correspondiente en la Planta Operaciones Superficie, corresponde a derechos de aprovechamiento de agua de tipo no consuntivo, por lo que necesariamente esta agua debe ser devuelta al cauce del Río Blanco.

Alternativa D: “Planta de Tratamiento de Efluentes + Recirculación total de la descarga de la Planta Operaciones Superficie hasta el Concentrador + Aumento del porcentaje de sólidos en la línea de relaves”

Al igual que la alternativa anterior, esta incluye:

- ◆ Aumento del porcentaje de sólidos en la línea de reales a 60%,
- ◆ Planta de Tratamiento de Efluentes (Innovación y Desarrollo Tecnológico),

⁹ Este ahorro puede significar un posible ingreso de 766.500 US \$/año, considerando una tarifa de 15 ¢US\$/m³ para el de suministro de agua industrial.

A los puntos anteriores, se incorpora la posibilidad de recircular la totalidad de la descarga de la Planta Operaciones Superficie hasta el concentrador. Esta última acción involucra la disminución de los consumos de agua totales en 100 (l/s), lo que mirado por el lado de los derechos de aprovechamiento de agua sólo 25 (l/s) corresponden a derechos de tipo consuntivos, ya que el resto debe ser devuelto por reemplazo de los derechos no consuntivos de la bocatoma Polvareda para el consumo del agua de la Planta Operaciones Superficie. Además es conveniente hacer notar, que en este escenario los costos soft desaparecen, dado que se logra la recirculación total de la descarga conflicto de la División.

Los costos para la recirculación total de la descarga de la Planta de Operaciones Superficie hasta el Área Concentrador, han sido estimados por la Unidad de Innovación y Desarrollo Tecnológico (IDT), los que son detallados a continuación:

Recirculación Total de la descarga a Concentrador: (IDT)

- ◆ Volumen a movilizar: 100 (l/s)
- ◆ Distancia Succión – descarga: 24.000 m
- ◆ Diferencia altura de elevación: 1.400 m
- ◆ Características del fluido: agua
- ◆ Días de operación al año: 365
- ◆ Horas de operación diaria: 24

Costos de Inversión: US\$ 6.375.000

- ◆ Sistema de Impulsión: US\$ 1.575.000 (4 estaciones de bombeo: 3 bombas 350 y motores, Stock y Repuestos)
- ◆ Estanque de alimentación: US\$ 179.000 (1200 m³, suficientes para acumular todo el volumen estático del ducto)
- ◆ Estanque de Descarga: US\$ 179.000 (1.200 m³)

- ◆ Ducto de Conducción: US\$ 1860.000 (24.000 m, ϕ 10" nominal Sch. 80 S)
- ◆ Zanja de Protección: US\$ 470.000
- ◆ Sistema Suministro Eléctrico: US\$ 2.112.000 (debido a que las líneas de transmisión eléctricas están colmadas, siendo necesario disponer de una nueva línea de transmisión desde la estación base de Saladillo, luego de ampliar la capacidad de ésta)

Costos de Operación: US\$/año 1.334.000

- ◆ Energía Eléctrica: US\$/año 718.000
- ◆ Mano de Obra: US\$/año 240.000
- ◆ Repuestos y Mantenición: US\$/año 376.000

Con estos datos es posible establecer los costos totales de la alternativa, considerando además los costos de la Planta de Tratamiento de Efluentes.

Costos Inversión: US\$ 7.375.000

- ◆ Planta de Tratamiento de Efluentes: US\$ 1.000.000
- ◆ Costos recirculación total de la descarga POS a CO: US\$ 6.375.000

Costos de Operación: US\$/año 2.034.000

- ◆ Planta de Tratamiento de Efluentes: US\$/año 700.000
- ◆ Costos recirculación total de descarga POS a CO: US\$/año 1.334.000

Con estos resultados la evaluación del escenario a 25 años, entregó los siguientes resultados (tabla 30);

Por su parte, la tabla 31 muestra la misma alternativa considerando el ahorro de agua en el Área Concentrador, correspondiente a derechos de aprovechamiento de agua consuntivos. Estos últimos involucran la cantidad de agua que viene en el concentrado mixto desde el concentrador, ya que los consumos de agua en la Planta Operaciones Superficie siguen realizándose. El agua que viene en el concentrado mixto, como fue indicado en el escenario 3 (Figura 10, Capítulo 5) alcanza una cantidad de 25 (l/s), que permite aproximar un posible ingreso de 118.300 US\$/año considerando una tarifa de 15 ζ US\$/m³ para el de suministro de agua industrial.

Tabla 30 “Evaluación económica Alternativa D - Planta de Tratamiento de Efluentes + Recirculación total de la descarga de la Planta Operaciones Superficie hasta el Concentrador + Aumento del porcentaje de sólidos en la línea de relaves”

Años	Inversión US\$	Ingresos	Costos Operacionales (US\$)	Flujo caja US\$
2000	7.375.000	0	2.034.000	-9.409.000
2001	0	0	2.034.000	-2.034.000
2002	0	0	2.034.000	-2.034.000
2003	0	0	2.034.000	-2.034.000
2004	0	0	2.034.000	-2.034.000
2005	0	0	2.034.000	-2.034.000
2006	0	0	2.034.000	-2.034.000
2007	0	0	2.034.000	-2.034.000
2008	0	0	2.034.000	-2.034.000
2009	0	0	2.034.000	-2.034.000
2010	0	0	2.034.000	-2.034.000
2011	0	0	2.034.000	-2.034.000
2012	0	0	2.034.000	-2.034.000
2013	0	0	2.034.000	-2.034.000
2014	0	0	2.034.000	-2.034.000
2015	0	0	2.034.000	-2.034.000
2016	0	0	2.034.000	-2.034.000
2017	0	0	2.034.000	-2.034.000
2018	0	0	2.034.000	-2.034.000
2019	0	0	2.034.000	-2.034.000
2020	0	0	2.034.000	-2.034.000
2021	0	0	2.034.000	-2.034.000
2022	0	0	2.034.000	-2.034.000
2023	0	0	2.034.000	-2.034.000
2024	0	0	2.034.000	-2.034.000

Continuación Tabla 30

2025	0	0	2.034.000	-2.034.000
VAN	6.704.545	0	18.633.363	-25.337.909
VAN				-25.337.909

Tabla 31 Evaluación económica Alternativa D - Planta de Tratamiento de Efluentes + Recirculación total de la descarga de la Planta Operaciones Superficie hasta el Concentrador + Aumento del porcentaje de sólidos en la línea de relaves, considerando el costo alternativo del agua”

Años	Inversión US\$	Ingresos	Costos Operacionales (US\$)	Flujo caja US\$
2000	7.375.000	118.300	2.034.000	-9.290.700
2001	0	118.300	2.034.000	-1.915.700
2002	0	118.300	2.034.000	-1.915.700
2003	0	118.300	2.034.000	-1.915.700
2004	0	118.300	2.034.000	-1.915.700
2005	0	118.300	2.034.000	-1.915.700
2006	0	118.300	2.034.000	-1.915.700
2007	0	118.300	2.034.000	-1.915.700
2008	0	118.300	2.034.000	-1.915.700
2009	0	118.300	2.034.000	-1.915.700
2010	0	118.300	2.034.000	-1.915.700
2011	0	118.300	2.034.000	-1.915.700
2012	0	118.300	2.034.000	-1.915.700
2013	0	118.300	2.034.000	-1.915.700
2014	0	118.300	2.034.000	-1.915.700
2015	0	118.300	2.034.000	-1.915.700
2016	0	118.300	2.034.000	-1.915.700
2017	0	118.300	2.034.000	-1.915.700
2018	0	118.300	2.034.000	-1.915.700
2019	0	118.300	2.034.000	-1.915.700
2020	0	118.300	2.034.000	-1.915.700
2021	0	118.300	2.034.000	-1.915.700
2022	0	118.300	2.034.000	-1.915.700
2023	0	118.300	2.034.000	-1.915.700
2024	0	118.300	2.034.000	-1.915.700
2025	0	118.300	2.034.000	-1.915.700
VAN	6.704.545	1.083.740	18.633.363	-24.254.169
VAN				-24.254.169

De la evaluación realizada, es importante mencionar que las alternativas no son viables desde el punto de vista económico por los resultados negativos

obtenidos del Valor Actual Neto, pero dado los requerimientos de la normativa vigente, los de norma de RILes en consulta, los nuevos conceptos medioambientales, y la percepción actual que tiene la sociedad frente al tema, es trascendente ejecutar acciones que al menos involucren la reducción de la generación de residuos e impactos, y luego reducir los niveles de consumo de agua.

La siguiente tabla resume cada uno de los valores obtenidos en la presente evaluación:

Tabla 32 “Resumen de resultados de la evaluación económica”

Alternativa	Valor Actual Neto US\$
A “Conservación de la Situación Actual”	- 2.888.614
B “Pta. Tratamiento de Efluentes”	-10.210.366
C “P. T. Efluentes + Rec. Parcial descarga POS”	-10.303.003
D “P. T. Efluentes + Rec. Total descarga POS”	-25.337.909
D “P. T. Efluentes + Rec. Total descarga POS” Considerando la tarifa del agua a 15 ¢US\$/m ³	-24.254.169

Dada la tabla 32, es posible obtener la diferencia entre la primera alternativa y cada una de las siguientes, de manera de obtener el escenario más favorable. Los resultados de ello, se resumen a continuación:

Tabla 33 “Comparación entre escenarios de manejo”

Alternativa	Δ VAN = VAN_x - VAN_A US\$ (x: Alternativa)
A “Conservación de la Situación Actual”	0
B “Pta. Tratamiento de Efluentes”	-7.321.752
C “P. T. Efluentes + Rec. Parcial descarga POS”	-7.414.389
D “P. T. Efluentes + Rec. Total descarga POS”	-22.449.295
D “P. T. Efluentes + Rec. Total descarga POS” Considerando la tarifa del agua a 15 ¢US\$/m ³	-21.365.555

Los resultados indican que los costos soft determinados, no justifican “económicamente” la recirculación total de la descarga de la Planta Operaciones Superficie hasta el Área Concentrador. Sin embargo, es importante mencionar que esta es sólo una primera aproximación del tema, pues en la evaluación deben incorporarse otros factores entre los cuales se encuentran; los beneficios que recibe la población aledaña frente a la eliminación de la descarga, una valoración de la disminución de los impactos en el medio ambiente por la menor extracción de agua fresca desde las bocatomas involucradas, las posibles multas ante problemas con la descarga y los costos del deterioro de la percepción pública. Para estos últimos factores, es necesario la incorporación de un análisis especializado, de manera que cada uno de los escenarios planteados y posibles de idear, tengan su real peso frente a la inversión que significa la recirculación.

En virtud de los resultados, es importante mencionar que la tarificación del agua no consumida, para la determinación de un posible ingreso por manejo de los derechos de agua consuntivos, en este caso no tuvo un peso suficiente para justificar la recirculación total de la descarga hasta el Área Concentrador, pero es posible comentar que frente a esto pueden existir variaciones si en un futuro cercano es tenga que “pagar” por el agua usada en los procesos productivos.

DISCUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Dentro de los resultados obtenidos, es posible observar que el manejo actual del recurso hídrico en la División Andina en cuanto a los consumos de agua, es bastante satisfactorio. Pero es importante destacar que estos manejos pueden ser mejorados bajo algunos parámetros fácilmente controlables y de baja inversión inmediata, como el aumento del porcentaje de sólidos en la línea de relaves desde (53 a 60)%. Lo primero se observa luego de la determinación de los consumos Divisionales de agua del proceso productivo, que alcanzan a 782 (l/s), considerando el nuevo escenario expandido que significó una inversión de 322 millones de dólares, y la recopilación de antecedentes que indican que antes de la expansión estos consumos alcanzaban los 570 (l/s). Recordando que datos bibliográficos indican que por cada millón de dólares de inversión en expansión, los consumos de agua aumentan en 1 (l/s), confirma que esta División ha realizado esfuerzos notorios, por no aumentar sus consumos en más que 212 (l/s). Y lo segundo, se basa en que la nueva canaleta de relaves hacia Tranque Huechún es capaz de soportar hasta 66% de sólidos en los relaves como límite de diseño, con lo cual los consumos de agua Divisionales disminuyen en 162 (l/s) por aumento de la recirculación desde los espesadores de relaves hasta los estanques de agua SAG o Presión Constante. Esta acción, no necesariamente significa una inversión inmediata debido a que el espesador N°2 está ya re-potenciado a esta capacidad, y sólo se requiere un buen manejo de los flocculantes agregados.

En cuanto al agua fresca consumida por tonelaje de mineral seco procesado, la División Andina se encuentra en un buen pie frente a sus pares (0,94 (m³/t)), esta razón da una idea del buen manejo del recurso hídrico, pero es importante además incorporar factores tales como; su ubicación geográfica,

y el tipo y cantidad de derecho de aprovechamiento de agua que éstas posean. Lo anterior, se debe a que por un lado existe una correlación entre la zona geográfica donde se encuentran las instalaciones y el consumo de agua, ya que esto hace fortalecer los esfuerzos por la disminución de los consumos de agua mientras más inhóspita sea ella. Y por otro lado, el tipo de derecho de aprovechamiento de agua juega un rol trascendental ya que define el caudal de agua que puede ser consumida y/u obligatoriamente devuelta a los cuerpos de aguas superficiales. Es así importante establecer un catastro actualizado de los consumos y la disponibilidad del recurso. Los consumos, deben ser establecidos bajo la unificación de procesos unitarios y de las áreas productivas, de manera de tener una correlación con la productividad Divisional y herramientas para mejorar los manejos a niveles menores de producción. La disponibilidad por su parte, debe incorporar mediciones frecuentes de los caudales de los ríos que aportan el recurso, para realizar estudios con datos reales de la cuenca, además de ser estudiada por el tipo de derecho de aprovechamiento de agua comentado. Con estos dos puntos, los planes de manejo se deben ajustar estrechamente a la realidad, para buscar el mejor y posible escenario que haga disminuir los impactos, debido a una menor extracción de agua fresca de alta calidad, desde los cuerpos de agua existentes.

El balance teórico y dinámico de aguas realizado, es una herramienta de trabajo que puede ser aplicada en muchos escenarios para el propósito planteado en el párrafo anterior, y es de gran utilidad, ya que además de entregar resultados sobre los consumos de agua, una idea de la calidad de agua para los distintos procesos. Pero este balance, es fundamental mejorarlo por medio de la realización de un **“balance real de aguas”**, que incorpore los caudales de entrada a los estanques de agua que distribuyen el recurso a las distintas unidades productivas, de manera de tener datos tangibles sobre estas calidades de agua para que puedan ser comparadas con las requeridas por

cada tipo de operación, y con ello lograr disminuir los consumos de agua por recirculación específica en cada unidad. Esta recirculación específica, disminuye los costos por la simplificación del circuito, que involucra trazados más cortos y sistemas de impulsión de menor capacidad.

Los resultados del balance general de aguas del proceso productivo, indicaron que en el Área Concentrador, la disponibilidad de agua en período invernal en los cauces existentes, no es suficiente para satisfacer las necesidades de la producción, por lo que se hace necesario la extracción de agua desde las lagunas naturales existentes, aumentando el impacto al patrimonio ambiental. Por otra parte, los derechos de aprovechamiento de agua de tipo consuntivos, tampoco son suficientes para satisfacer estas necesidades en el mismo período, por lo que hace necesario realizar un uso de los derechos de tipo no consuntivos, que obligan a que esta agua necesariamente sea devuelta a los cauces, produciendo un daño inevitable al medio en el caso que la calidad de estas descargas no sea la más óptima. De este modo, el manejo del recurso en esta área, debe ser enfrentado estableciendo planes de manejo que involucren la disminución de los consumos en un primera instancia, lo que asegura el uso de derechos de tipo consuntivos en mayor porcentaje.

En la Planta Operaciones Superficie, el manejo del recurso debe ser enfocado en primer lugar desde la perspectiva de disminuir el impacto de la descarga que esta área produce, debido a que las necesidades de aguas son satisfechas desde derechos de aprovechamiento de tipo no consuntivo. Una vez realizado lo anterior, se deben establecer planes de manejo para disminuir consumos de agua fresca y producir menores impactos por extracción del recurso.

En cuanto a la generación de residuos líquidos, ya se ha comentado que los mayores impactos son producidos por la descarga del Efluente Mixto, en

función de los parámetros pH, sólidos en suspensión, molibdeno total y sulfuro. Esta descarga debe ser manejada específicamente por el control de la descarga de la Planta Operaciones Superficie, mediante un abatimiento como el planteado por la Unidad de Innovación y Desarrollo Tecnológico. Además, es también indispensable realizar estudios tendientes a mejorar la eficiencia en cuanto a las razones de adición del reactivo usado en la flotación selectiva de cobre y molibdeno, y/o para ver si es necesario un cambio de éste. Lo anterior se hace fundamental, ya que el monitoreo hidroquímico actual de esta descarga, no incorpora mediciones de los niveles de sodio, lo que se hace recomendable por la influencia que éste pueda provocar en el medio, en caso que esté sobrepasando los límites permitidos. En cuanto al cumplimiento de la normativa vigente que indica la calidad de agua para riego, es importante señalar que en general los excesos se presentan en el periodo invernal, debido al régimen nival de los cauces de la zona, pero de igual forma se debe poner atención en los excesos de Molibdeno y Manganeso disuelto que escapan en ocasiones de esta relación. Además se recomienda realizar estudios para el análisis de la influencia de cada área productiva y de cada descarga en el Río Blanco, para conocer el real aporte de ellas en la contaminación del este cauce y en los excesos a esta norma. Antes de finalizar el punto de la generación de residuos e impactos, se recomienda poner atención en el comportamiento de los niveles de los parámetros normados en las aguas claras del Tranque de Relaves Los Leones luego de su cierre. Lo anterior se debe, a que si bien este tranque no recibirá más descargas del proceso por su reemplazo con un nuevo Tranque de Relaves de Huechún, de igual forma seguirá descargando aguas claras que pueden variar su calidad y sobrepasar en algún instante la normativa vigente, alterando los parámetros fisicoquímicos normales de la cuenca donde son descargados.

Por otro lado, del análisis de las alternativas de manejo del recurso hídrico, es importante mencionar que la recirculación de las descargas del

proceso, por si sola puede cumplir con ambas directrices corporativas de disminución de los consumos de agua y de generación de residuos e impactos. Pero ella está limitada en función del caudal de recirculación, el cual al no involucrar al 100% de la descarga, hace necesaria la incorporación de un abatimiento previo de los contaminantes para el cumplimiento de la normativa vigente del resto del RIL que seguirá siendo descargado, y además para que los niveles de impurezas en las aguas dentro del circuito de recirculación cumplan con los requerimientos de entrada al proceso. Es por ello, que se deben establecer planes de manejo del recurso que involucre complementar ambas alternativas planteadas, es decir, la recirculación de las descargas luego de realizar un abatimiento de sus contaminantes. Para ello, las tecnologías de abatimiento deben ser adecuadas a: los objetivos planteados en cada caso en particular, al proceso productivo específico, a la normativa vigente, y a las características propias de la zona en donde están instaladas las faenas.

Finalmente, es importante mencionar que en los escenarios de aplicación de las distintas alternativas de manejo del recurso hídrico planteados, es posible establecer un abatimiento menos exigente que el previsto por la Planta de Tratamiento de Efluentes según los requerimientos de cada caso, pero para la finalidad de una comparación consecuente, se indicó este tratamiento para todos ellos. En estos escenarios, el costo soft determinado y el costo alternativo del agua no tuvieron un peso suficiente para justificar la desaparición de la descarga conflicto de la División por su recirculación hacia el Área Concentrador, pero una alternativa clave de analizar a futuro, es en función de abatir el sulfato, de manera de no limitar el caudal de recirculación dentro de la Planta Operaciones Superficie. A lo anterior, debe agregarse que este abatimiento de sulfato, debe poseer una eficiencia tal que el sistema se establezca en un nivel que no altere los procesos, disminuyendo con ello: la complejidad del circuito de recirculación, y los costos de inversión y de operación. Pero como es imposible recircular el 100% de la descarga, debido

que sobra el agua que viene en el concentrado mixto, esta agua podría ser usada en los talleres de mantención ubicados cercanos a la planta, para el hidrolavado de maquinarias, haciendo desaparecer con ello los costos soft y mejorando la imagen pública de la empresa.

CONCLUSIÓN

- ◆ La disponibilidad de antecedentes actualizados, es fundamental para establecer planes de manejo del recuso hídrico de manera oportuna y óptima.
- ◆ Los antecedentes que se deben incluir para implementar planes de manejo del recurso hídrico, en primer lugar es un balance real, continuo y global de agua del proceso, el que debe incluir cada una de las áreas productivas en una sola unidad, para la obtención de resultados correlacionados y más cercanos a la realidad. En segundo lugar, es un análisis específico de cada situación, considerando el nivel de impacto que está generando en el medio ambiente las descargas del proceso, y la disponibilidad del recurso donde están insertas las faenas. Esta última, debe fundamentalmente incluir un análisis del tipo de derecho de aprovechamiento designado para la faena, y los caudales históricos de los cauces, los cuales están en estrecha relación con el clima de la región.
- ◆ Para el cumplimiento de las de las directrices corporativas, se deben establecer planes de manejo que incluyan la recirculación de las aguas del proceso y las tecnologías de abatimiento de contaminantes en forma

complementaria, según las necesidades Divisionales y los objetivos de cada una de ellas.

- ◆ La División Andina ha realizado esfuerzos por disminuir el consumo de agua para los procesos considerando el nuevo escenario expandido. Pero estos resultados, pueden ser mejorados aún más para beneficio de la sociedad, para el medio ambiente circundante y para la propia actividad industrial.
- ◆ Es vital mantener el monitoreo hidroquímico existente de las descargas oficiales de la División Andina, para establecer planes de manejo adecuados de cada una de ellas.
- ◆ Es importante la existencia de un monitoreo hidroquímico de los elementos de interés ambiental dentro de los flujos del proceso, para tener antecedentes reales de las impurezas del sistema, y establecer en base a ellos, planes que logren eliminar el problema ambiental en el momento de su generación, evitando así mayores inversiones posteriores.
- ◆ El nivel de impacto, debe ser determinado considerando la normativa vigente de RILes, además del Proyecto de Norma de RILes que próximamente regirá los límites permitidos de los distintos parámetros en las descargas del proceso. Además es importante incluir un análisis del rango de exceso a la normativa, con la finalidad de proyectar posibles efectos de los elementos excedidos dentro del ecosistema circundante.
- ◆ En los casos analizados, el costo soft determinado no justificó la recirculación total de la descarga de la Planta Operaciones Superficie hasta el Área Concentrador, pero este factor no debe ser olvidado, pues en otras circunstancias puede cambiar significativamente una evaluación económica como las realizadas en este trabajo. Es importante incorporar a esta evaluación otros factores como multas y sanciones extremas como “la orden

de detención de la planta” en caso que la autoridad competente lo establezca, ya que ello tiene un peso real y crítico para la empresa, pudiendo cambiar en un rumbo diferente las decisiones frente al tema.

- ◆ El costo alternativo del agua puede ser determinante en la decisión sobre un proyecto que incluye alternativas como las analizadas en este trabajo, por lo que cada una de las Divisiones debe comenzar estudios de mercado relacionados con ello, de manera de anticipar los posibles escenarios a los que el recurso estará sometido.

- ◆ Para determinar el porcentaje óptimo de aporte de cada una de las alternativas de manejo del recurso hídrico, es conveniente realizar un completo análisis de los factores como los mencionados en los puntos anteriores, y además de los costos ambientales que se deben a la descarga de efluentes perjudiciales al medio, los que deben incluir el costo tanto por la extracción del recurso desde las fuentes disponibles, como además de los impactos que se producen en las demás actividades desarrolladas aguas abajo de estas instalaciones productivas.

- ◆ Es de vital importancia un intercambio permanente de información interdivisional, para aunar esfuerzos en la mejoría de la calidad del medioambiente, y mejorar de este modo la imagen que tiene esta empresa frente a la sociedad en general.

APÉNDICE I GLOSARIO

Para el mayor entendimiento de los conceptos mencionados en el presente Seminario de Título, se define a continuación los siguientes conceptos:

- ◆ **Establecimiento Emisor:** establecimiento industrial, residencial o de servicios sanitarios que descarga residuos líquidos a cuerpos de agua fluviales, lacustres o marinos, como resultado de su proceso, actividad o servicio, con una carga contaminante media diaria de valor superior al equivalente a las aguas servidas de una población de 100 personas.
- ◆ **Residuos Líquidos o Aguas Residuales:** aguas que se descargan desde un establecimiento emisor, después de haber sido usadas en un proceso, o producidas por éste, que no tienen ningún valor inmediato para este proceso y su destino es un cuerpo receptor.
- ◆ **Conservación del Patrimonio Ambiental:** el uso y aprovechamiento racional o la reparación en su caso, de los componentes del medio ambiente, especialmente aquellos propios del país que sean únicos, escasos o representativos, con el objeto de asegurar su permanencia y su capacidad de regeneración.
- ◆ **Contaminación:** presencia en el ambiente de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, en concentraciones y permanencia superiores o inferiores, según corresponda, a las establecidas en la legislación vigente.

- ◆ **Contaminante:** todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibración, ruido, o una combinación de ellos, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, concentraciones o períodos de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental.

- ◆ **Degradación Ambiental:** transformación antrópica de los ambientes, particularmente de los sistemas y recursos naturales, que significa una alteración negativa de estos, tornándolos improductivos o de menor calidad; evolución desfavorable de un recurso natural, generalmente por ruptura de relaciones de ecosistemas ante un uso inadecuado.

- ◆ **Educación Ambiental:** proceso permanente de carácter interdisciplinario, destinado a la formación de una ciudadanía que reconozca valores, aclare conceptos, y desarrolle las habilidades y las aptitudes necesarias para una convivencia armónica entre seres humanos, su cultura, y su medio biofísico circundante.

- ◆ **Política Ambiental:** declaración formal que efectúa la organización de sus intenciones y principios, en relación con su desempeño ambiental global, que proporciona un marco para la acción y para el establecimiento de sus objetivos y metas ambientales.

- ◆ **Sistema de Gestión Ambiental:** aquella parte del sistema global de gestión que incluye la estructura organizacional, las actividades de planificación, las responsabilidades, las prácticas, los procedimientos, los procesos para desarrollar, implementar, lograr, revisar y mantener la política ambiental.

- ◆ **Impacto Ambiental:** la alteración del medio ambiente, provocada directa o indirectamente por un proyecto o actividad en un área determinada.
- ◆ **Medio Ambiente:** el sistema global constituido por elementos naturales y artificiales de naturaleza física, química o biológica, socioculturales y sus interacciones, en permanente modificación por la acción humana o natural y que rige y condiciona la existencia y desarrollo de la vida en sus múltiples manifestaciones.
- ◆ **Medio Ambiente Libre de Contaminación:** aquél en el que los contaminantes se encuentran en concentraciones y períodos inferiores a aquéllos susceptibles de constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza, o a la conservación del patrimonio ambiental.
- ◆ **Límites Máximos Permitidos:** valor incorporado a las normas de calidad ambiental; concentración máxima de un elemento o compuesto en recursos naturales que permite un uso determinado.
- ◆ **Protección del Medio Ambiente:** el conjunto de políticas, planes, programas, normas y acciones destinados a mejorar el medio ambiente y a prevenir y controlar su deterioro.
- ◆ **Recursos Naturales:** los componentes del medio ambiente susceptibles de ser utilizados por el ser humano para la satisfacción de sus necesidades o intereses espirituales, culturales, sociales y económicos.
- ◆ **Derecho de Aprovechamiento de Agua Consuntivo:** es aquel que faculta a su titular, para consumir totalmente las aguas en cualquier actividad.

- ◆ **Derecho de Aprovechamiento de Agua no Consuntivo:** es aquel que permite emplear el agua sin consumirla y obliga a restituirla en la forma que lo determine el acto de adquisición o constitución del derecho. Esta extracción o restitución debe realizarse de manera que no dañe los derechos de terceros, en cuanto a cantidad, calidad, substancia, oportunidad de uso y demás particularidades.

- ◆ **Evapotranspiración:** suma de agua evaporada desde la superficie del suelo y desde la superficie foliar de las plantas. El consumo total de agua corresponde a la suma del agua incorporada al tejido vegetal y la pérdida por evaporación.

- ◆ **Sólidos en Suspensión:** material residual de una muestra, retenido por un filtro de tamaño de poro de 2,0 μm o menor, después de su evaporación y secado, bajo condiciones específicas.

- ◆ **Lodos Activados:** masa biológica activa de microbios, generados cuando se inyecta aire dentro del agua residual que contiene materia orgánica biodegradable. Los microorganismos estimulan su crecimiento utilizando dicha materia orgánica soluble como alimento, mediante un proceso de oxidación biológica. El proceso implica la producción de una masa activa de microorganismos capaces de estabilizar aeróbicamente un residuo.

- ◆ **Tiempo de Residencia:** cantidad de tiempo, teórica, requerida para que una unidad de volumen del caudal tratado atraviese la unidad de sedimentación. Este tiempo se determina suponiendo una circulación perfecta a través del estanque, sin embargo, existen trayectorias distintas entre las partículas que hacen el paso diferencial de ellas. El tiempo de retención, depende de la forma y dimensiones del estanque, además del diseño de las estructuras de entrada y de salida entre otros factores.

- ◆ **Costos Soft:** costos realizados de manera inesperada por un establecimiento industrial, debido a la descarga a un cuerpo de agua superficial de un RIL conflictivo con el tema ambiental. Estos costos son mayores debido a la ocurrencia de accidentes relacionados con esta descarga, los que aumentan el desprestigio público, y llevan a la realización de acciones más exigentes con respecto a su manejo. (La presente definición se elaboró según la perspectiva de evaluación realizada en el presente trabajo)

APÉNDICE II MARCO LEGAL

La Legislación y Normativa Vigente que será base para el análisis de los antecedentes y las posibles alternativas de manejo de los RILes producidos debido a los procesos productivos de la División Andina son:

“CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LA REPÚBLICA DE CHILE”

La **Constitución Política de la República de Chile** establece el derecho a la vida y a la integridad física y psíquica de la persona (Art. 19 N°1), **a vivir en un ambiente libre de contaminación** (Art. 19 N°8), a la protección de la salud (Art. 19 N°9), al derecho de propiedad en sus diversas especies sobre toda clase de bienes corporales e incorporales, la que comprende la Conservación del Patrimonio Ambiental (Art. 19 N°24).

LEY N°19.300, “LEY DE BASES DEL MEDIO AMBIENTE”

En el Título I, “Disposiciones Generales” establece que el derecho a vivir en un ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental se regularán por las disposiciones de esta ley, sin perjuicio de lo que otras normas legales establezcan sobre la materia. En el Título II, “De los Instrumentos de Gestión Ambiental” contempla en el Párrafo 2 el Sistema de Evaluación Ambiental, el cual en su Artículo N°10 indica los proyectos que entran obligatoriamente al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, entre los cuales están:

- ◆ Proyectos de **desarrollo minero**, comprendiendo la disposición de residuos y estériles (letra i)
- ◆ Proyectos de saneamiento ambiental, tales como, sistema de alcantarillado, **plantas de tratamiento de aguas** o de residuos sólidos de origen domiciliario, rellenos sanitarios, emisarios submarinos, **sistemas de tratamiento o disposición de residuos industriales líquidos** o sólidos. (letra o)

Por otro lado, en el artículo N°11 de la ley se señala que si el proyecto genera algunos de los siguientes efectos se deberá realizar un Estudio de Impacto Ambiental:

- ◆ Riesgo para la salud de la población, debido a la cantidad y calidad de efluentes, emisiones o residuos.
- ◆ Efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables incluidos el suelo, agua y aire.
- ◆ Reasentamientos de comunidades humanas o alteración significativa de los sistemas de vida y costumbres de los grupos humanos.
- ◆ Localización próxima a población, recursos y áreas protegidas susceptibles a ser afectadas, así como el valor ambiental de territorio en el que se pretende emplazar.
- ◆ Alteración significativa en términos de magnitud o duración, del valor paisajístico o turístico de una zona.
- ◆ Alteración de monumentos, sitios con valor antropológicos, arqueológicos, históricos y, en general, los pertenecientes al patrimonio cultural.

LEY N°3.133/1916, “NEUTRALIZACIÓN DE LOS RESIDUOS PROVENIENTES DE ESTABLECIMIENTOS INDUSTRIALES”

Esta ley dispone la neutralización y depuración de residuos industriales nocivos y establece en su Artículo 1 que, “los establecimientos industriales,

sean mineros, metalúrgicos, fabriles o de cualquiera otra especie, no podrán vaciar en los acueductos, cauces artificiales o naturales, que conduzcan aguas o en vertientes, lagos, lagunas o depósitos de agua, los residuos líquidos de su funcionamiento, que contengan sustancias nocivas a la bebida o al riego, **sin previa neutralización o depuración de tales residuos** por medio de un sistema adecuado y permanente”. Y en su Artículo 2, indica que se debe realizar este tratamiento cuando las instalaciones estén próximas a poblaciones, aun cuando sus descargas no contengan sustancias nocivas a la bebida y riego. Por otra parte, se establece que **“los propietarios, empresarios o administradores de los establecimientos** a que se refieren los Artículos 1º y 2º, deberán someter a la aprobación del Presidente de la República el sistema de depuración y neutralización que se propongan adoptar (Art. 3)”. Las sanciones que establece el Artículo 4 de la ley, en caso de la contravención a lo dispuesto por esta ley serán penadas con multa de una a cien unidades tributarias mensuales (UT.M), y la reincidencia, con multa de cincuenta a mil U.T.M, ambas a beneficio fiscal. Para los establecimientos **mineros y metalúrgicos** a que se refiere esta ley que existan a la fecha de su promulgación, deberán cumplir con lo establecido en los artículos 1º y 2º dentro de los seis meses siguientes a esa fecha (Art. 7). El Artículo 9 establece que “El Presidente de la República dictará el reglamento que provea a la inspección técnica que se necesita para su funcionamiento y determinará la clase de establecimientos industriales, mineros, metalúrgicos o fabriles, a que se refiere el Artículo 1”. (Reglamento publicado en 1992, 76 años después de promulgada la Ley N° 3.133)

DECRETO SUPREMO N°867/1978, DECLARA LA NORMA CHILENA OFICIAL NCH. 1.333, “REQUISITOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA DIFERENTES USOS”

El documento declara Norma Chilena Oficial la NCh. 1.333, "Requisitos de Calidad de Agua para Diferentes Usos". Aquí se establecen requisitos del agua para el consumo humano (NCh. 409), requisitos del agua para bebida de los animales, para **riego**, par aguas destinadas a estética y a recreación y requisitos de aguas destinadas a vida acuática. Da los valores máximos permisibles de algunos elementos químicos en agua de riego (Requisitos químicos, pH, y Elementos químicos), clasifica las aguas de acuerdo a sus condiciones de salinidad, en base a las características de conductividad específica y concentración de sólidos disueltos totales.

LEY N°18.902/1990, "LEY DE LA SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS SANITARIOS"

La ley que crea un organismo técnico, normativo y fiscalizador, de alto nivel, responsable del control y supervigilancia de las empresas prestadoras de servicios sanitarios, responsable del cálculo de tarifas y del **control de los Residuos Industriales Líquidos (RILes)**.

DECRETO CON FUERZA DE LEY N°1.122, "CÓDIGO DE AGUAS"

El Código de aguas regula todo lo relativo al dominio y aprovechamiento de las aguas, la adquisición del derecho de aprovechamiento, los cauces de las aguas, los derrames y los drenajes de aguas, las aguas subterráneas, las servidumbres e hipotecas, el registro de aguas, la inscripción del derecho de aprovechamiento, la construcción, modificación, cambio y unificación de bocatomas, el cambio de fuente de abastecimiento, el traslado del ejercicio de derechos de aprovechamiento y de las modificaciones en cauces naturales y artificiales, las organizaciones de usuarios y la construcción de ciertas obras

hidráulicas. En el Título II, específicamente establece que las aguas son bienes nacionales de uso público y se otorga a los particulares el derecho de aprovechamiento de ellas, en conformidad a las disposiciones del presente Código, (Art. 5). Por otra parte, el Art. 6 indica el **derecho de aprovechamiento es un derecho real que recae sobre las aguas y consiste en el uso y goce de ellas**, con los requisitos y en conformidad a las reglas que prescribe este Código. El derecho de aprovechamiento sobre las aguas es de **dominio de su titular**, quien podrá **usar, gozar y disponer** de él en conformidad a la ley. Es importante destacar que este código permite hacer las obras necesarias para el goce del derecho de aprovechamiento (Art. 9).

DECRETO CON FUERZA DE LEY N°725/1967, “CÓDIGO SANITARIO”

El Título II de este cuerpo legal establece las exigencias de la Higiene y Seguridad del Ambiente. En el se establece que corresponde al Servicio Nacional de Salud aprobar los proyectos relativos a la construcción de cualquier obra destinada a la **evacuación, tratamiento** o disposición final de desagües, aguas servidas de cualquier naturaleza y **residuos industriales o mineros**. Indica que el Servicio Nacional de Salud debe vigilar las **plantas depuradoras** de aguas servidas y de **residuos industriales o mineros** y esta facultado para **sancionar a los responsables** de infracciones y, eventualmente, previo decreto del Presidente de la República puede intervenir directamente en la explotación de tales plantas (Artículo 72°). Indica además, que se prohíbe **la descarga de residuos industriales o mineros en ríos** o lagunas o en cualquier otra fuente o masa de agua que sirva para proporcionar agua potable o para **riego, salvo que hayan sido previamente depuradas**. Para estos efectos la autoridad sanitaria puede ordenar la suspensión de las descargas y que se establezcan sistemas de tratamiento para impedir la contaminación (Artículo 73°). Para fiscalizar el cumplimiento de las disposiciones del Código

Sanitario y su reglamento. La autoridad sanitaria esta facultada para inspeccionar y registrar cualquier sitio, lugar de trabajo, etc., sea público o privado. Si el lugar estuviere cerrado, se puede hacer un allanamiento con auxilio de la fuerza pública si fuere necesario, (Artículo 8°).

El Código Sanitario otorga las atribuciones a los Servicios de Salud correspondientes **para aprobar y autorizar proyectos de evacuación, tratamiento y disposición, residuo industriales y mineros.**

“NORMA TÉCNICA RELATIVA A DESCARGAS DE RESIDUOS INDUSTRIALES LÍQUIDOS DIRECTAMENTE A CURSOS Y MASAS DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS” (1992)

Esta Norma Técnica establece las características que debe cumplir los vertidos de **RILes**, en conformidad a lo preceptuado en los Artículos 2 y 4 letra b) de la Ley N° 18.902/90 que crea la Superintendencia de Servicios Sanitarios y la Ley N° 3.133/16 sobre Neutralización de los Residuos Provenientes de Establecimientos Industriales, y en su Reglamento aprobado por D.S N° 2.491/16 (éste último derogado por Decreto Supremo N° 351/92). La Norma establece que **“los Efluentes Industriales Líquidos**, además de cumplir con los requisitos de calidad fijados en estas, no podrá introducir al cuerpo receptor características que contravengan la Norma Chilena NCh 1.333”. Para establecer el cumplimiento de los requisitos de calidad del agua señalada en la NCh 1.333, se considerará un radio de 500 metros aguas abajo de la descarga del efluente. En el caso de existir una bocatoma dentro de este radio, las condiciones deberán cumplirse en la entrada de la bocatoma. (Los requisitos para el vertido de **RILes** a cursos o masas de aguas superficiales están contenidas en el punto 6.1 de esta Norma).

“PROYECTO DE NORMA DE EMISIÓN PARA LA REGULACIÓN DE CONTAMINANTES ASOCIADOS A LAS DESCARGAS DE RESIDUOS LÍQUIDOS A AGUAS SUPERFICIALES”

El Proyecto de Norma a la fecha se encuentra en su trámite final en la Contraloría General de la República. Esta Norma de emisión establece la **Concentración Máxima Permitida** para contaminantes medidos en el efluente de la fuente emisora, descargados por los establecimientos emisores a los cuerpos de aguas superficiales, con y sin capacidad de dilución, de la República de Chile, sean continentales o marinos. En la Norma se **indica no utilizar como procedimiento de tratamiento la dilución de los residuos líquidos con aguas ajenas al proceso** incorporadas sólo con el fin de reducir las concentraciones. Para estos efectos, no se consideran aguas ajenas al proceso las aguas servidas provenientes del establecimiento emisor (punto 4.1.2). De vital importancia es destacar además, que las **fuentes nuevas deberán cumplir con los límites máximos permitidos establecidos en la presente norma, a partir de su entrada en vigencia**. Y que las **fuentes existentes se someterán a la norma de acuerdo al siguiente programa de cumplimiento:**

- ◆ Dentro del primer año de vigencia de la norma, los establecimientos existentes **deberán caracterizar todos sus residuos líquidos**, mediante los procedimientos de medición y control establecidos en la presente norma.
- ◆ Dentro del primer año de vigencia de la norma los establecimientos industriales y de servicios sanitarios existentes deberán presentar a la Superintendencia de Servicios Sanitarios o a la Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante, según el caso, un plan de cumplimiento de la presente norma en la forma en que dichas entidades lo establezcan por resolución o instructivo. Los establecimientos residenciales existentes presentarán dicho plan de cumplimiento ante el Servicio de Salud respectivo en la forma en que dicho servicio lo establezca. Este plan de

debe contener, a lo menos, los resultados de los análisis de sus residuos líquidos, de la captación, y un cronograma de las acciones o actividades a realizar para cumplir con los límites de vertido en el plazo señalado como sigue.

- ◆ Los **Límites Máximos Permitidos** de la norma, deben ser cumplidos a contar del quinto año de la entrada en vigencia de la misma.

DECRETO SUPREMO N° 745/1992, DEL MINISTERIO DE SALUD. "REGLAMENTO SOBRE LAS CONDICIONES SANITARIAS Y AMBIENTALES MÍNIMAS DE TRABAJO".

En este reglamento se establece que la acumulación, **tratamiento** y disposición final de residuos industriales debe contar con la autorización Sanitaria.

DECRETO SUPREMO N°351/1992, APRUEBA "REGLAMENTO PARA NEUTRALIZACIÓN Y DEPURACIÓN DE LOS RESIDUOS LÍQUIDOS INDUSTRIALES A QUE SE REFIERE LA LEY N° 3.133"

Este Reglamento en su Título I define y clasifica los establecimientos industriales para los efectos de la aplicación de la Ley N° 3.133 sobre "Neutralización de los Residuos provenientes de Establecimientos Industriales", según el "Clasificador Industrial Internacional Uniforme de todas las Actividades Económicas de las Naciones Unidas" (CIIU). Para los **Establecimientos de Extracción de Minerales Metálicos** el clasificador CIIU corresponde al N° 23230. El Artículo 2 de este Decreto establece que "**Los establecimientos que evacuan RILes con características que obligan a un proceso ulterior de neutralización y/o depuración, deberán dar estricto cumplimiento a las disposiciones de la Ley N° 3.133 y a las normas** establecidas en el

Reglamento. El Título II establece que los **Establecimientos Industriales no podrán vaciar RILes** u otras sustancias nocivas al riego o a la bebida en ningún acueducto, cauce natural o artificial, superficial o subterráneo, que conduzca aguas, o en vertientes, lagos, lagunas, depósitos de agua, o terrenos que puedan infiltrar la napa subterránea, sin la autorización del Presidente de la República, otorgada por decreto del Ministerio de Obras Públicas, previo informe favorable de la Superintendencia de Servicios Sanitarios. Además indica que para proceder a la instalación de los establecimientos cuyas faenas **generen RILes**, los interesados deberán presentar al Presidente de la República una solicitud de permiso o aprobación del sistema de depuración y/o neutralización que se propongan adoptar, por intermedio del Gobernador de la Provincia en donde se proyecte ubicar la descarga de los efluentes, o ante el Intendente de la Región cuando no se haya designado Gobernador en la Provincia. Tal autorización de evacuación de los **efluentes tratados** y la aprobación **del Sistema de Tratamiento de los RILes** se otorgará por decreto del Ministerio de Obras Públicas, previo informe favorable de la Superintendencia. De esta forma, los propietarios, administradores o empresarios de **establecimientos mineros o metalúrgicos** extractivos que vacíen **RILes** en cualquier cauce, natural o artificial, de dominio público o privado, además de cumplir con los requisitos que exige el Código de Aguas, deberán obtener la autorización del sistema de tratamiento de sus **RILes**, acompañando a su solicitud todos los antecedentes que permitan establecer que el sistema de tratamiento de tales residuos no presenta peligro de contaminación de las aguas ni de terrenos vecinos. (Según Art. 3) El Título III establece las facultades y procedimientos para las inspecciones antes, durante y después de ponerse en funcionamiento el sistema de tratamiento. En este último, **el interesado estará obligado a mantener, de su cargo, los controles de la calidad y cantidad de los efluentes tratados, así como los análisis o investigaciones adicionales que necesite efectuar la Superintendencia**, para conocer el grado de contaminación que producen sus efluentes y los

resultados de los sistemas de tratamiento. El Título IV establece que, toda modificación en el sistema de tratamiento deberá realizarse con conocimiento e informe favorable de la Superintendencia. El Título V establece las multas a los establecimientos que evacuen sus **RILes** en contravención a lo dispuesto en los artículos 1° y 2° de la Ley. El Título VI establece Disposiciones Varias, como la que los **establecimientos mineros o metalúrgicos extractivos** que necesiten construir tranques para la decantación de los relaves, no podrán utilizar para tal objeto, los cauces naturales o artificiales que conduzcan agua para la bebida o para el riego.

DECRETO CON FUERZA DE LEY N°1/1989, “DETERMINA MATERIAS QUE REQUIEREN AUTORIZACIÓN SANITARIA EXPRESA”.

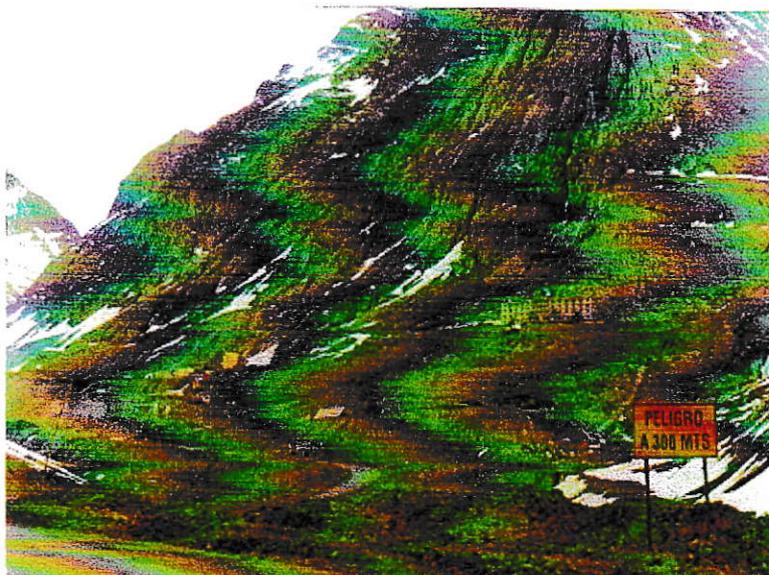
El artículo 1° dispone que se requieren autorización sanitaria expresa, el funcionamiento de obras destinadas a la provisión o purificación de agua potable de una población o a la evacuación, **tratamiento** o disposición final de desagües, aguas servidas de cualquier naturaleza y **residuos industriales o mineros**.

APÉNDICE III ANEXO FOTOGRÁFICO

Fotografía 1 "Explotación a cielo abierto - Mina Sur - Sur"



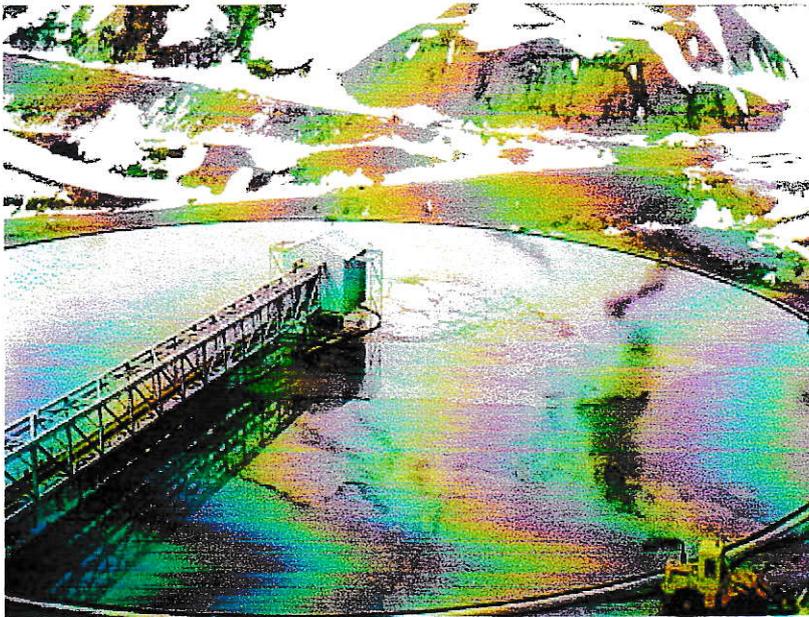
Fotografía 2 "Vista del Concentrador, Mina Subterránea R. Blanco"



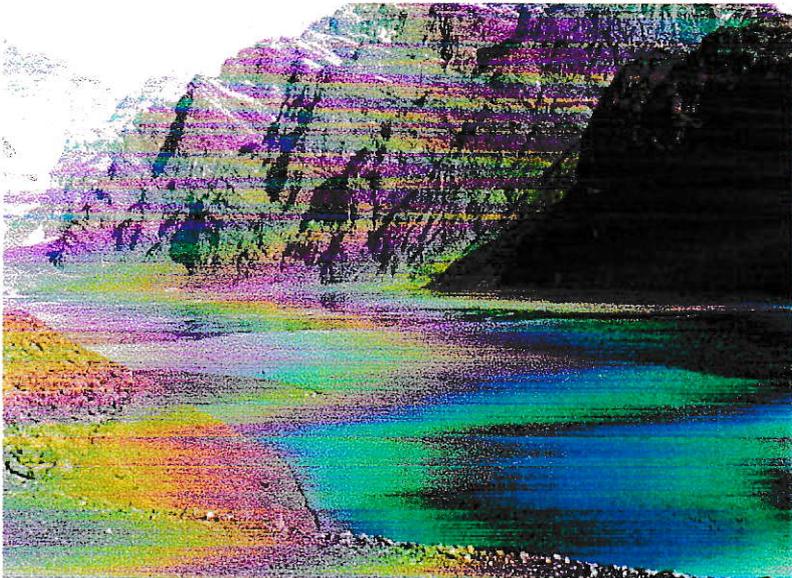
Fotografía 3 "Molino de Unitario - Concentrador"



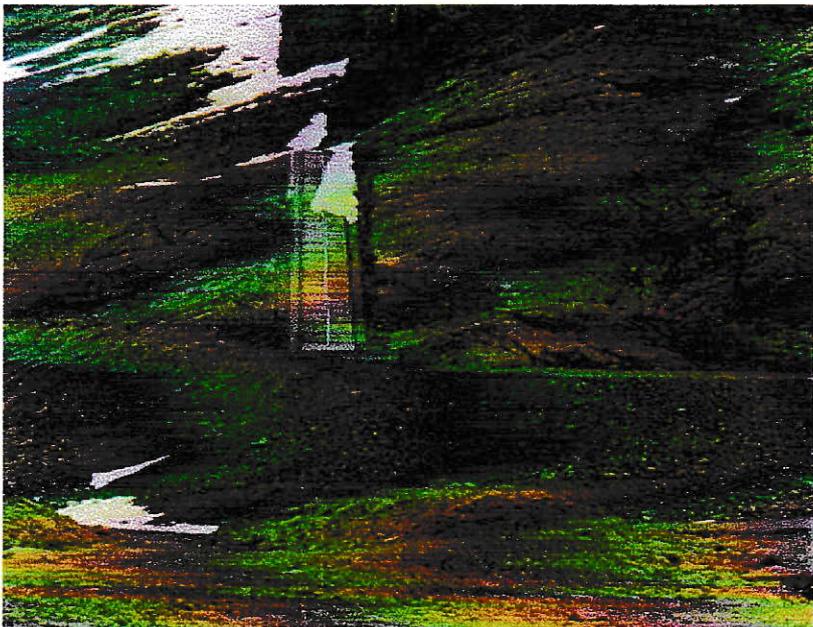
Fotografía 4 "Espesadores de Relaves N°2 - Concentrador"



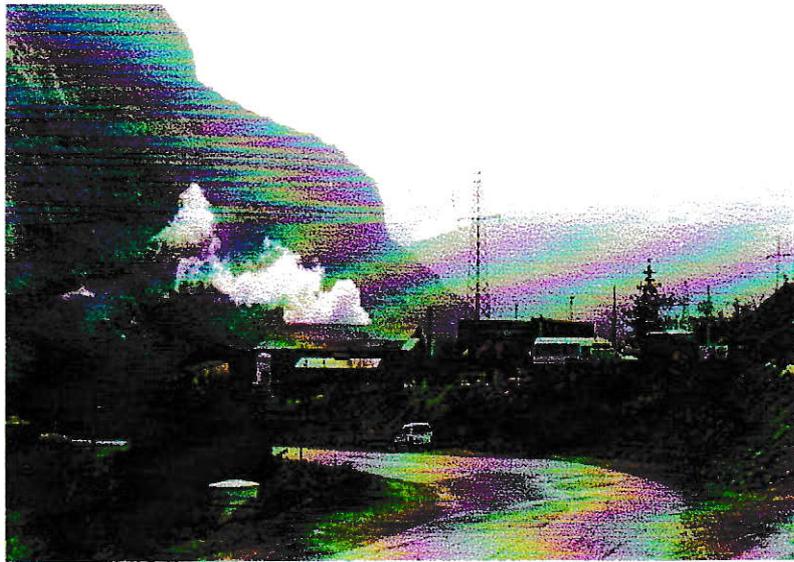
Fotografía 5 "Tranque de Relaves Los Leones"



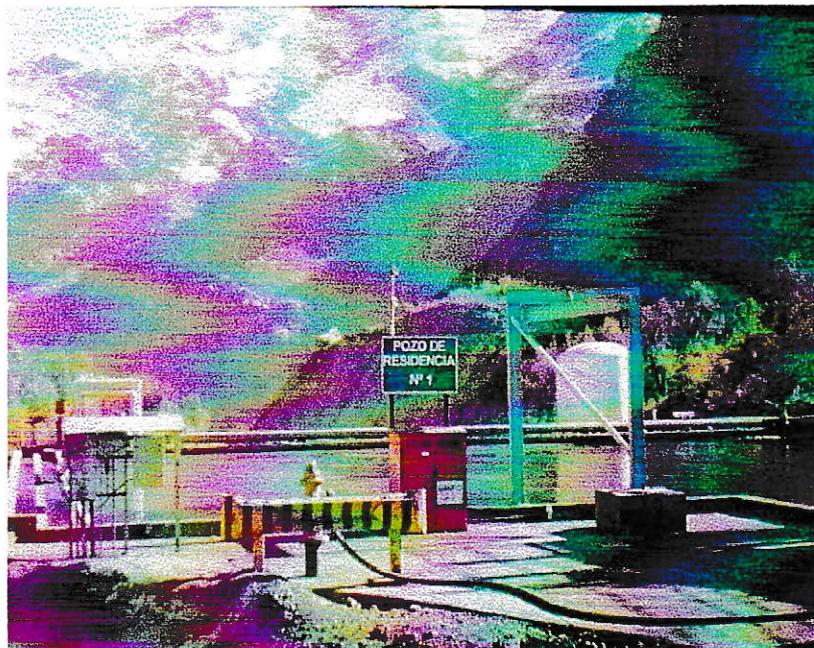
Fotografía 6 "Canaleta de Relaves a Tranque Huechún"



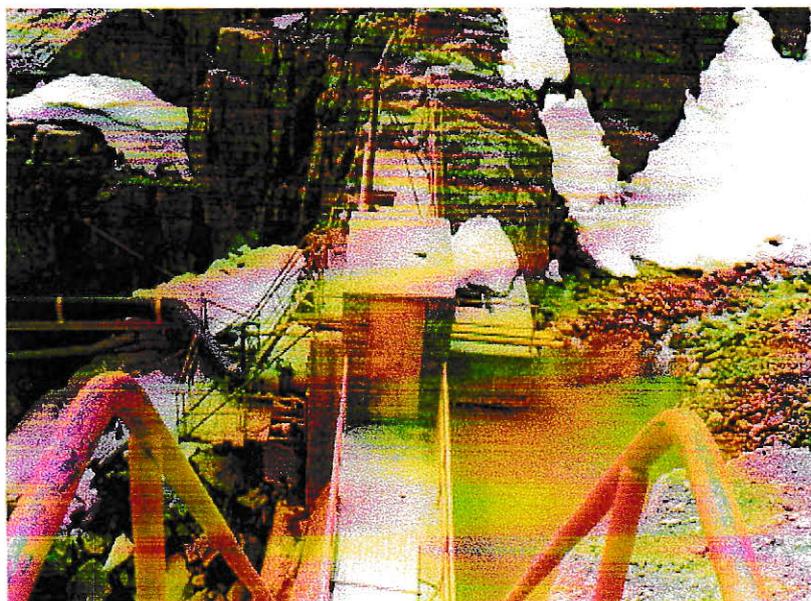
Fotografía 7 "Planta Operaciones Superficie"



Fotografía 8 "Pozo de Residencia N°1 – Planta Operaciones Superficie"



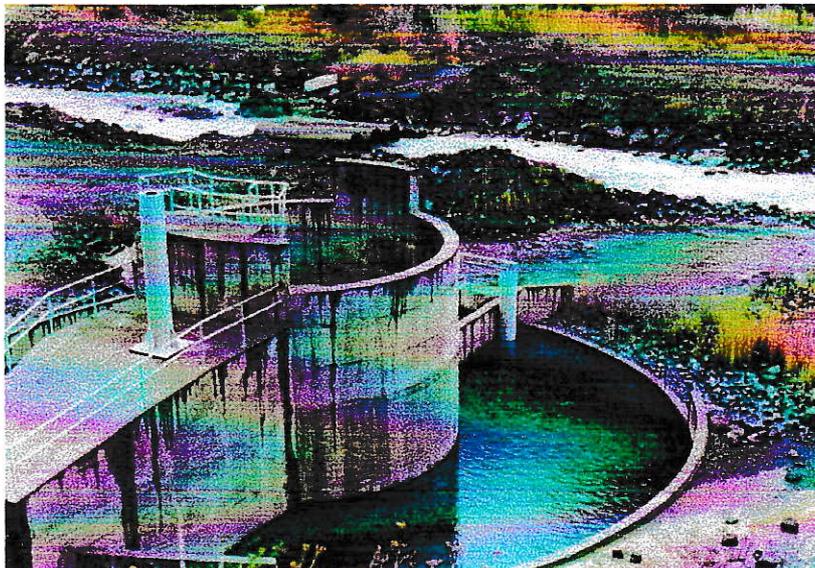
Fotografía 9 "Bocatoma Nueva Blanco - Concentrador"



Fotografía 10 "Laguna Turquesa - Concentrador"



Fotografía 11 "Descarga Aguas Claras - Tranque Los Leones"



Fotografía 12 "Efluente Mixto - Planta Operaciones Superficie"



BIBLIOGRAFÍA

- ◆ Pablo Anguita; Edgardo Floto (Editores), 1997. "Seminario Internacional; Gestión del Recurso Hídrico". Santiago de Chile, Diciembre 1996. Ministerio de Obras Públicas de Chile, Dirección General de Aguas, Directorio de Riego, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

- ◆ Humberto Peña T.; Carlos Salazar M. y Colaboradores, Septiembre 1999. "Política Nacional de Recursos Hídricos" (Documento de discusión). Dirección Nacional de Aguas; Ministerio de Obras Públicas, República de Chile.

- ◆ David R. Maidment; Larry W. Mays, 1994. "Hidrología Aplicada". M^o Graw – Hill.

- ◆ A. Casali, G.S Dobby, C. Molina, 1995. "Mineral Processing and Environment", (Volumen II).

- ◆ Fernando Montaya S, 1991. "Tratamiento y control de los contaminantes líquidos producidos por la minería del cobre". Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas; Departamento de Ingeniería Civil.

- ◆ Gerencia de Expansión - División Andina, 1997. "Proyecto de Expansión Andina".