

1 . Objetivos y Antecedentes del Estudio

1 . Objetivos y Antecedentes del Estudio

El presente estudio se realizó en un período de 39 meses entre octubre de 1999 y diciembre de 2002, por Dowa Engineering Co., Ltd. y Mitsui Mineral Development Engineering Co., Ltd. de acuerdo al convenio de cooperación suscrito de acuerdo a los Alcances de Trabajo (*Scope of Works*) correspondiente al estudio “Operación Compatible con el Medio Ambiente de Plantas de Procesamiento de Minerales mediante Biotecnología en la República de Chile”, suscrito el 4 de junio de 1999 entre la Empresa Nacional de Minería (ENAMI) de la República de Chile y la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA).

En el sector de la producción del cobre de la República de Chile, que produce al año aproximadamente 4,600,000 toneladas de cobre, siendo el primer productor a nivel mundial, la contaminación ambiental ocasionada por los efluentes del proceso se ha convertido en un tema de interés bajo los aspectos económico, social y político. El objetivo del presente estudio consiste en introducir y difundir en Chile, métodos de operación compatibles con el medio ambiente, aplicando técnicas de tratamiento de efluentes practicadas en Japón mediante el uso de bacterias. De acuerdo a este precepto, se instaló una planta modelo de tratamiento de efluentes de 100m³/día de capacidad en la planta Ovalle administrada por ENAMI, anexa al proceso de lixiviación de minerales de cobre, con la finalidad de realizar pruebas de tratamiento de efluentes que se generan en éste; y con ello, la realización de transferencia de tecnología correspondiente. Los detalles del contexto de estas pruebas y sus resultados se presentan en el capítulo 4 del presente informe.

La inversión en materia relacionada a la prevención de contaminación requiere de la estabilidad de las operaciones del proceso existente y del mejoramiento de su eficiencia. En la actual planta Ovalle coexisten por un lado, problemas de índole funcional, así como los relacionados con responsabilidad social, siendo éste concepto parte integrante de las políticas internas de ENAMI; y por otro, de índole técnico-medioambiental inherentes a sus operaciones. Con la finalidad de reconocer esta situación, en el capítulo 2 se presenta de modo sucinto la situación de la minería del cobre en Chile y las funciones de ENAMI; y en el capítulo 3 se detallan los resultados y las propuestas de mejoramiento como producto del diagnóstico operacional y medioambiental de los procesos en la planta Ovalle. Queda implícito que la principal propuesta del presente estudio está relacionada con aspectos medioambientales.

El objeto de la planta modelo citada consistió en verificar la aplicabilidad de la tecnología, sin embargo, no cuenta con la capacidad para tratar la totalidad del efluente generado. Razón por la cual, se propone un diseño y planeamiento de operaciones futuras tratando la totalidad de los efluentes a ser generados, ajustándose a la capacidad máxima del procesamiento de minerales por lixiviación consistente en 14,000 toneladas mensuales.

En el presente informe refiérase a esta planta como planta a escala cuya descripción se detalla en el capítulo 5.

En el capítulo 6 se presentan los análisis económico y financiero para la factibilidad de esta planta a escala considerando aspectos generales de la planta Ovalle. Debido a que los propósitos

del presente proyecto están relacionados con medidas de prevención de la contaminación, esta ampliación de la planta de tratamiento de efluentes no mejora la posición financiera *per se*. En consecuencia, este capítulo presenta un ejercicio de cuantificación de externalidades generadas con el mejoramiento ambiental. Es decir, se adiciona un análisis económico considerando beneficios sociales para la zona de influencia.

La construcción de la planta a escala irroga una gran inversión difícil de realizar en las actuales condiciones del sector productor de cobre que concierne a ENAMI. En consecuencia, a pesar que la propuesta del presente estudio recomienda construir una planta de tratamiento de efluentes a escala, se analizó el *modus operandi* compatible con el medio ambiente en las actuales condiciones de operación. Ello se describe en el capítulo 7.

Con el presente estudio se pudo constatar la aplicabilidad de la tecnología bacteriana para el tratamiento de efluentes del presente caso particular. Por ende es viable la difusión de ésta para operaciones similares. Este tema se trata en el capítulo 8, sin embargo, las operaciones a las cuales es posible aplicar los resultados obtenidos en la planta Ovalle -sin modificaciones- son prácticamente inexistentes en el país. Por tanto, es poco probable que se aplique la tecnología a otras operaciones de ENAMI, bajo la coyuntura actual en la cual existe tendencia a disminuir la producción de precipitados de cobre a partir del proceso de lixiviación, así como se ha observado en los últimos años. Debido a esta situación, se presenta adicionalmente un análisis de aplicabilidad de la tecnología bacteriana de un modo más amplio para el sector minero en general. La ejecución de estas propuestas es factible debido a la objetividad y experiencia que posee la contraparte chilena.

En el capítulo 9 se compilan las propuestas considerando los resultados del presente estudio, esperando ver plasmado el mejoramiento ambiental y la rentabilidad de la planta Ovalle con su aplicación.

2 . Situación de la Minería en Chile

2 . Situación de la Minería en Chile

2.1 Sinopsis de la Minería Chilena

Como se muestra en la Figura 2-1, Chile es un país minero que concentra sus actividades extractivas en las regiones II y III. Sus principales productos consisten en oro, plata, cobre y molibdeno, siendo las exportaciones del sector (US\$8,340 millones en el año 2000) el 47% del total (US\$17,700 millones en el año 2000). Especialmente, la participación del cobre asciende al 41.5% siendo su valor de US\$7,340 millones (año 2000), y como se observa en la Figura 2-2, ha incrementado su producción año tras año, llegando alcanzar la producción de 460 millones de toneladas en el año 2000, siendo el mayor productor contribuyendo el 35% de la producción mundial (1,323 millones de toneladas).

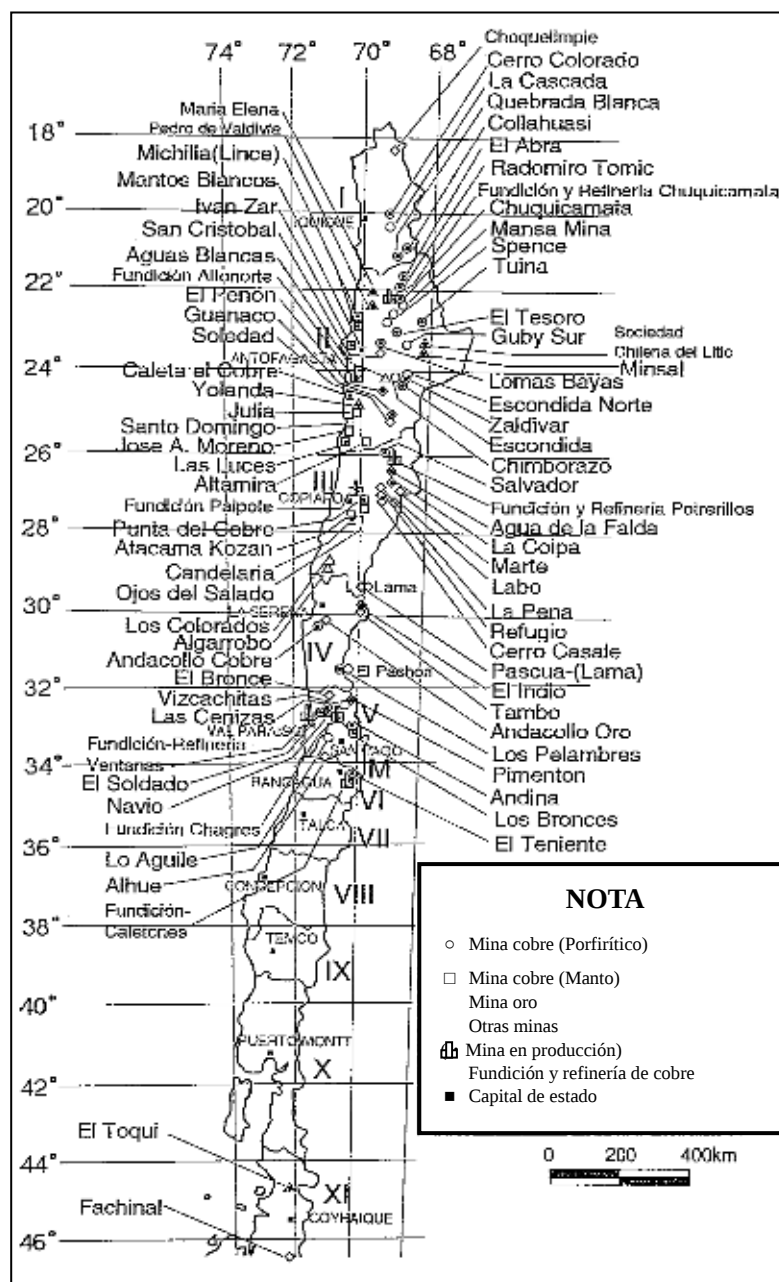


Figura 2-1 Ubicación de Minas en Chile

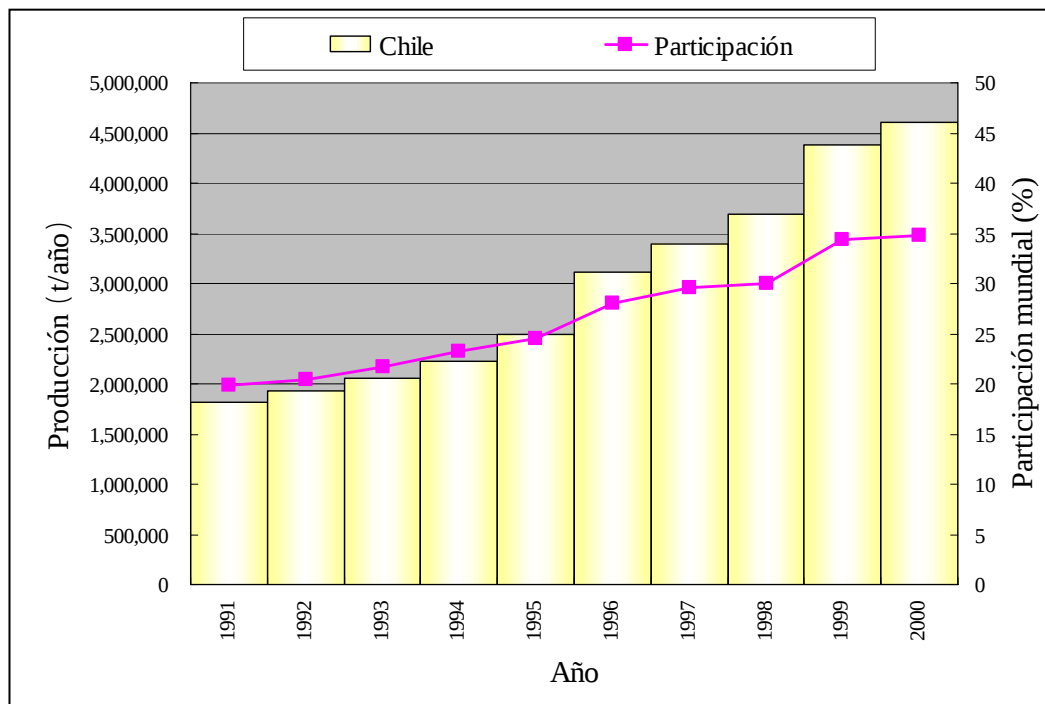


Figura 2-2 Evolución de Producción de Cobre

2.2 Organismos y Legislación Medioambiental en Chile

La cronología de la legislación medioambiental en Chile aunado a la tendencia internacional ha avanzado recientemente con el establecimiento de nuevas normas como el establecimiento de estándares para materiales sulfurosos y particulados en 1991, reglamentos relacionados a contaminación de aguas y la promulgación de la Ley 19.3000 “Ley de Bases Generales del Medio Ambiente” en 1994.

1916	• Ley de Neutralización de Residuos Provenientes de Establecimientos Industriales
1970	• Reglamento de Construcción y Operación de Tranques de Relaves
1991	• Reglamento del Funcionamiento de Establecimientos Emisores de Anhídrido Sulfuroso, Material Particulado y Arsénico en todo el Territorio de la República
1992	• Reglamento para la Neutralización y Depuración de los Residuos Líquidos Industriales (A que se refiere la Ley de Neutralización de Residuos Provenientes de Establecimientos Industriales de 1916)
1994	• Ley de Bases Generales del Medio Ambiente
1995	• Reglamento del Consejo Consultivo de la Comisión Nacional y de las Comisiones Regionales del Medio Ambiente • Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión • Reglamento que Fija el Procedimiento y Etapas para Establecer Planes de Prevención y Descontaminación
1997	• Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
1998	• Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Industriales Líquidos a Sistemas de Alcantarillado • Norma de Emisión para la Regulación del Contaminante Arsénico Emitido al Aire
2000	• Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados y las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales

Por otro lado, se encuentra en proceso de promulgación, legislación pertinente a “Normas de Emisión Subterránea”, “Normas de Emisión a Aguas Marítimas”, “Normas de Emisión para la Protección de Aguas Freáticas” y “Normas de Cierre de Minas”.

El principal organismo de gestión del medio ambiente en Chile es la Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA) citada en la anterior legislación.

Los proyectos nuevos en Chile deberán presentar un estudio de acuerdo al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) a la Comisión Regional del Medio Ambiente (COREMA, organismo dependiente de CONAMA o a ésta en caso el proyecto sea de ámbito multi-regional) de la jurisdicción para su aprobación, previo al inicio de las actividades.

El presente proyecto también ha sido materia del SEIA y debió presentar su estudio de impacto ambiental ante COREMA de La Serena, de la cual obtuvo su aprobación.

En la Figura 2-3 se muestra el organigrama de CONAMA y su relación con otras instituciones.

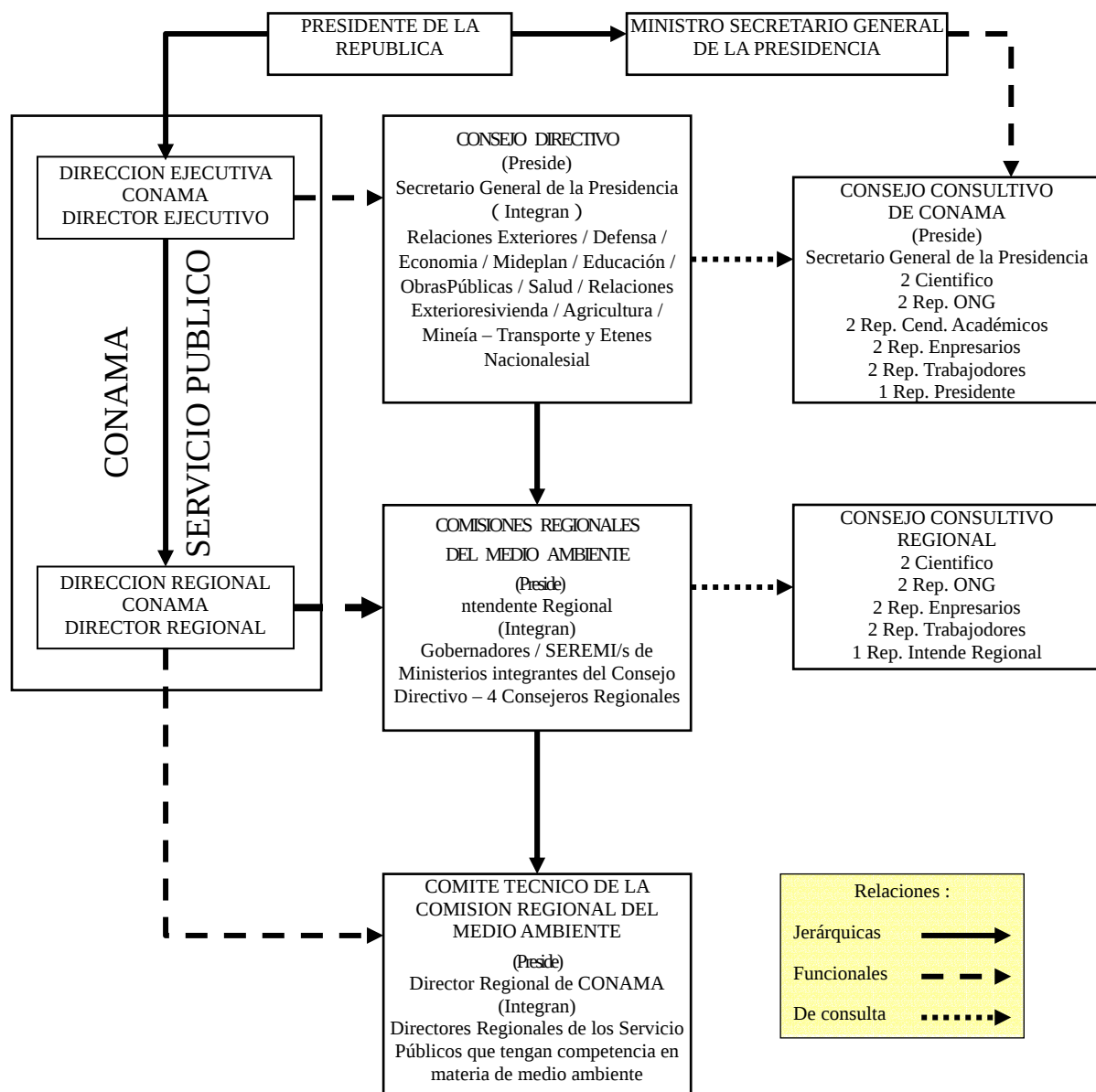


Figura 2-3 Organigrama de CONAMA y Su Relación con Otras Instituciones

2.3 Sinopsis de ENAMI

ENAMI (Empresa Nacional de Minería) es una empresa estatal chilena creada en 1960 mediante la fusión del entonces Caja de Crédito y Fomento Minero y Empresa Nacional de Fundiciones. A diferencia de su similar CODELCO (Corporación Nacional de Cobre de Chile), ENAMI no realiza explotación de minas, sino, cumple funciones de fomento para la pequeña y mediana minería. En forma específica se clasifican en las siguientes actividades:

(1) Crédito para el desarrollo minero

ENAMI otorga créditos a largo plazo para inversión y capital de trabajo, compartimiento del riesgo, y otros beneficios para el desarrollo de la actividad para la pequeña y mediana minería.

(2) Servicio de adquisición y procesamiento de minerales

Adquiere minerales crudos provenientes de la pequeña y mediana minería para procesarlos en sus plantas obteniéndose concentrados y precipitados de cobre que son enviados a sus fundiciones para su posterior procesamiento.

Cuadro 2-1 Capacidad de Procesamiento de las Plantas de ENAMI

Planta	Ubicación	Capacidad de Procesamiento (tms _{crudo} /mes)			Producto
		Oxido	Sulfuro	Total	
Taltal	II Región	12,000	15,000	27,000	Ppdo./Conc.
Matta	III Región	-	110,000	110,000	Concentrado
Vallenar	III Región	12,000	20,000	32,000	Ppdo./Conc.
El Salado	III Región	18,000	-	18,000	Precipitado
Ovalle	IV Región	14,000	11,000	25,000	Ppdo./Conc.
Total		56,000	156,000	212,000	

(3) Servicio de fundición y refinación de concentrados y precipitados de cobre

ENAMI cuenta con la refinería Ventanas y fundición Paipote para la fundición y refinación de concentrados y precipitados de cobre producidos en sus plantas y adquiridos de pequeños y medianos productores externos, para procesarlos en forma conjunta. Del mismo modo que las plantas, las fundiciones también adquieren concentrados y precipitados de terceros con precios sustentados, razón por la cual, requiere con urgencia reducir sus costos operativos acorde a las actuales cotizaciones del metal, no obstante, recientemente al asumir los costos de prevención de contaminación se ha visto incrementado sus costos.

Cuadro 2-2 Resultados de Operaciones en las Fundiciones y Refinería de ENAMI (año 2000)

	Ventanas	Paipote
Cu electrolítico	319,105 t	-
Anodo de Cu	-	77,639 t
Au electrolítico	5,937 kg	-
Ag electrolítico	105,401 kg	-
Acido sulfúrico	328,542 t	245,707 t

(4) Desarrollo tecnológico y otros

ENAMI ejecuta proyectos de desarrollo e investigación para el mejoramiento de procesos, aplicación de nueva tecnología, prevención de contaminación, etc. en forma independiente y en coordinación con terceros.

Comparando la actividad de ENAMI con su similar CODELCO que produce 1.5 millones de toneladas de cobre anualmente contribuyendo al 34% de la producción nacional, se tiene que sus fundiciones y refinería producen anualmente en total 320 mil toneladas representando apenas una quinta parte. Sin embargo, su importancia debida a sus funciones de índole social manteniendo activa a la pequeña y mediana minería y contribuyendo a la generación de empleo, es considerable.

En la Figura 2-4 se muestra los organigramas de los principales organismos relacionados con el Ministerio de Minería, en la Figura 2-5 la organización de ENAMI con sus principales dependencias.

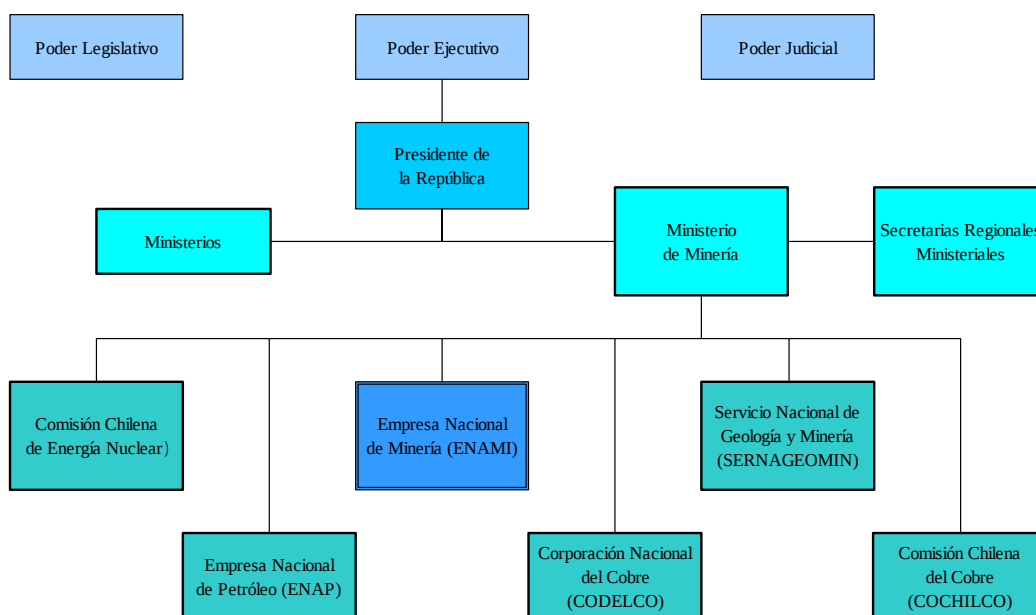


Figura 2-4 Organigrama del Ministerio de Minería

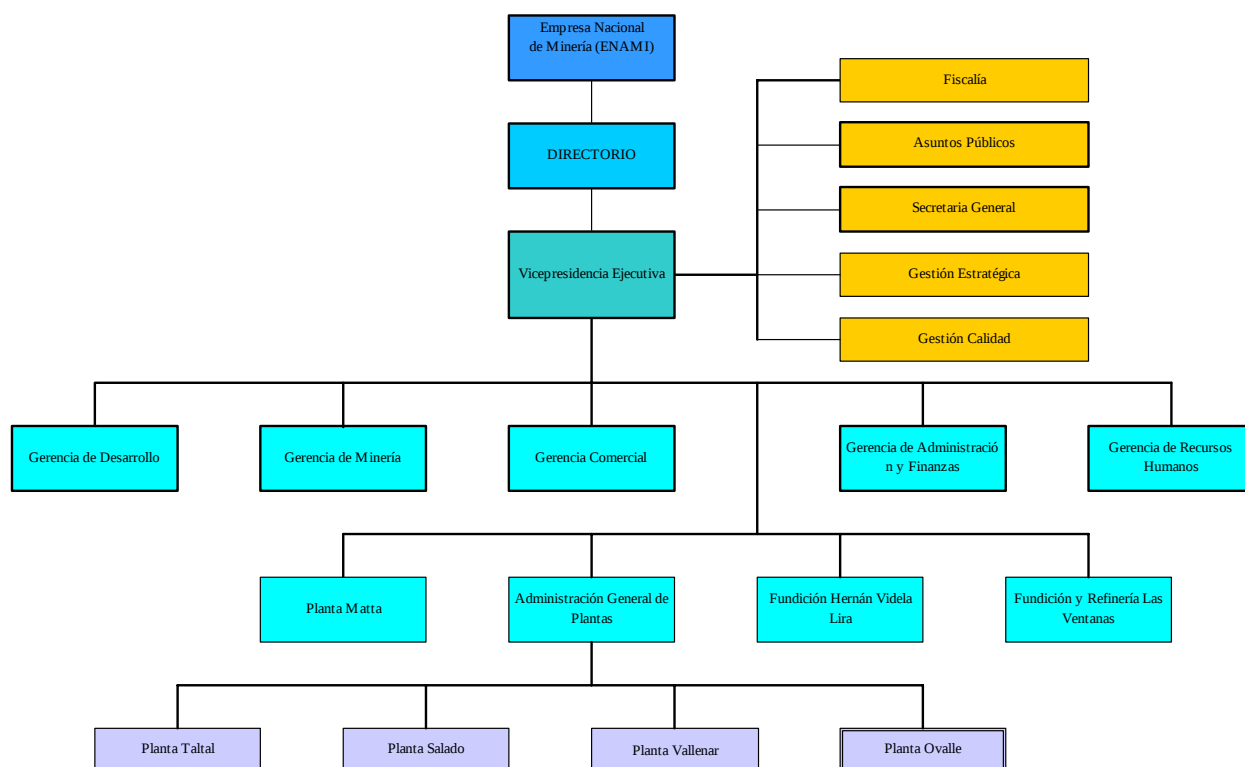


Figura 2-5 Organigrama de ENAMI

Fuentes: *Annual Report* ENAMI, 2000. Compendio de la Minera Chilena, 2000

3 . Diagnóstico Operacional y Ambiental de la Planta Ovalle

3. Diagnóstico Operacional y Ambiental de la Planta Ovalle

3.1 Descripción de la Planta Ovalle

3.1.1 Geografía

(1) Ubicación y modo de acceso

Se ubica aproximadamente a 8km (30°30' latitud sur, 71°06' longitud oeste) hacia el norte de la ciudad de Ovalle perteneciente a la comuna de Limarí localizado 70km al sur de la ciudad de La Serena (475km al norte de Santiago, aproximadamente 50 minutos en avión), capital de la IV Región. Se encuentra adyacente a la carretera 43 que une las ciudades de La Serena y Ovalle tomando 1.5 horas en automóvil desde La Serena. La altitud en el nivel de la planta es de 444m.

(2) Topografía

La región se denomina Cerro Negro situándose entre la región cordillerana al margen del litoral. La planta se ubica sobre terreno acondicionado hacia el flanco occidental del cerro sobre el estero.

(3) Hidrología

Al pie de la planta drena el estero El Ingenio, tributario del río Limarí, que drena en dirección noreste-sudoeste con un caudal entre 1 y 8m³/min. La cuenca del estero abarca una superficie de 241km² cuya naciente se ubica a 6km aguas arriba de la planta, confluyendo hacia el río Limarí aproximadamente 12km aguas abajo de la misma. Asimismo, el canal de Talhuén recorre las inmediaciones de la planta transportando aguas provenientes del embalse La Recoleta. Por otro lado, ligeramente aguas arriba de la planta hacia el margen izquierdo del estero El Ingenio existe un manantial que emana agua potable.

(4) Meteorología

Durante estiaje (entre los meses de octubre y marzo) amanece con densa neblina que va disipándose al transcurrir el día, con escasas precipitaciones durante toda la época. En cambio, durante la época de lluvias (entre los meses de abril y septiembre) presenta densa nubosidad que genera chubascos de corta duración. La precipitación máxima registrada en mayo de 1957 ha sido de 110mm en 24 horas, acaeciendo un fenómeno de inundación debida a una gran precipitación en el año 1997. La precipitación anual oscila entre 1 a 340mm, siendo el promedio a partir de 1993 de 10mm anual, exceptuando los registros del año 1997.

3.1.2 Reseña Histórica

- 1959: Constitución de la Compañía Minera de Panulcillo S.A. Inicio de producción de precipitados de cobre procesando minerales óxidos de cobre provenientes de sus minas mediante lixiviación por percolación e intercambio iónico hierro-cobre.
- 1999: Inicio de operaciones como planta de ENAMI (Empresa Nacional de Minería,

Planta Ovalle).(Arrendamiento de las instalaciones de la Compañía Minera de Panulcillo S.A. filial de ENAMI).

3.1.3 Producción

(1) Situación del proceso productivo

Actualmente procesa minerales óxidos y sulfurados de cobre. Desde el año 1998 en que la cotización del cobre cayó por debajo de 80¢/lb, se ha tornado difícil el abastecimiento del mineral, con la consecuente disminución en la tasa de operación afectando negativamente a la producción; no obstante, a pesar de las bajas cotizaciones, con la introducción de incentivos adicionales en la adquisición de minerales por parte de ENAMI a partir del año 2001, se ha visto mejoradas las operaciones y la producción.

En el Cuadro 3-1 se muestra la situación de producción.

Cuadro 3-1 Situación de la Producción en la Planta Ovalle de ENAMI

Item	Minerales Oxidos de Cobre	Minerales Sulfurados de Cobre
Minerales procesados	Crisocola: $\text{CuSiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, Malaquita: $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	Calcopirita: CuFeS_2 , Bornita: Cu_5FeS_4 , Covelina/Covelita: CuS , Calcocita: Cu_2S
Método de procesamiento	Proceso de cementación: Chancado → aglomeración → lixiviación → intercambio iónico hierro-cobre → precipitado de cobre (recuperación solamente de cobre)	Proceso de flotación: Chancado → molienda → flotación → concentrado de cobre Recuperación de cobre, oro y plata (no se recupera molibdeno ya que el mineral no lo contiene)
Capacidad de procesamiento	168,000t/año	84,000t/año (hasta segundo trimestre de 2002) 132,000t/año (a partir del incremento en segundo trimestre de 2002)
Abastecimiento de mineral crudo	Abastecimiento de pequeña y mediana minería de la circunscripción bajo el sistema de fomento de ENAMI sin explotar minas propias: Distancia de transporte de minerales: 3-120km (moda: 30km, promedio: 20-50km)	
Procesamiento (resultado 2000)	Mineral crudo: 42,365t/año (ley Cu 2.3%) Tasa de operación: 25.2%	Mineral crudo: 47,418t/año (leyes Cu 1.7%, Au 0.3g/t, Ag 3.5g/t) Tasa de operación: 56.4%
Producción (resultado 2000)	Precipitado de cobre: 894t/año (ley Cu 82.9%) (Recuperación: Cu 77.3%) (Contenido fino: Cu 741t/año)	Concentrado de cobre: 3,068t/año (leyes Cu 22.3%, Au 2.0g/t, Ag 88.3g/t) (Recuperación: Cu 84.3%, Au 42.1%, Ag ---) (Contenido fino: Cu 684t/año, Au 6.3kg/año, Ag 270.9kg/año)
Destino de la producción	Refinería Ventanas de ENAMI	

(2) Ranking de Producción

En el Cuadro 3-2 se muestra el ranking de producción de la planta Ovalle.

Durante el año 2000, la planta Ovalle produjo 1,425t en contenido fino de cobre, contribuyendo al 0.03% de la producción nacional (4.6 millones de toneladas finas). Empero, cumple una función de fomento de la pequeña y mediana minería bajo los preceptos de ENAMI.

Cuadro 3-2 Ranking de Producción de la Planta Ovalle de ENAMI
(Resultados año 2000)

Productores de Cobre	Producción			Número de Mina / planta
	Mil tmf/año	Participación %		
1. Planta Ovalle	(1.4)	(0.03)	(0.01)	(1)
2. Total ENAMI	11.4	0.3	0.1	4
3. Total CODELCO	1,612.4	34.9	12.2	6
4. Sector Privado	2,990.3	64.8	22.6	27
Total nacional: 2+3+4	4,614.1	100.0	34.9	36
Total mundial	13,230.0		100.0	

Notas:

- Producción: cifras correspondientes a producción en minas y plantas. 7,400tmf/año corresponde a precipitados de cobre producidos en las plantas de ENAMI, la diferencia entre cobre electrolítico (cátodo de cobre) producido a partir de minerales óxidos y concentrados de cobre a partir de minerales sulfurados.
- En las cifras del sector privado se excluye el 49% de participación de CODELCO en El Abra. En estas cifras del sector privado se incluye a la mina de mayor envergadura a nivel mundial, Escondida (minerales sulfurados: 175 mil t/día, ley Cu 2.1%; minerales óxidos 70 mil t/día, ley Cu 0.68%), cuya producción anual de concentrados es 2.02 millones de toneladas con 38.4% en ley de cobre y cobre electrolítico 140 mil toneladas con 99.99% en ley de cobre, contribuyendo con el 19.9% de la producción nacional y 6.9% de la producción mundial.
- Las cifras de producción de la planta Ovalle según los reportes de la administración central de ENAMI es 1,800 t/año. En el Cuadro 3-3 se muestra los valores de los resultados de operaciones del año 2000.

3.1.4 Medio Ambiente

El estero El Ingenio no presenta signos de contaminación aguas arriba de la planta Ovalle. Sin embargo, aguas abajo de la misma, se observa vasta contaminación con sedimentos de sulfato ferroso de coloración amarilla y aguas rojas debido a la presencia de hidróxido férrico. Esta situación se origina por las infiltraciones de la solución de descarte del proceso de lixiviación-intercambio iónico hierro-cobre dispuesta en las pozas de evaporación. Se infiere que esta solución de descarte con alta concentración de ión ferroso (Fe^{2+}) se infiltra por el lecho de las pozas de evaporación y emana hacia el estero El Ingenio, ocasionando la consecuente

contaminación. Por otro lado, esta contaminación se debe parcialmente al colapso de las pozas de evaporación debido a un movimiento sísmico de considerable intensidad ocurrida en el pasado.

Asimismo, debido a que estas aguas son parcialmente utilizadas para irrigación, y su calidad excede las normas para este propósito, la planta Ovalle ha sido materia de sanción por el organismo regulador de la actividad agrícola, por un monto ascendente en US\$4,500 (primera sanción: US\$1,500; segunda sanción: US\$3,000).

El organismo gestor del medio ambiente CONAMA exigiría la ejecución de medidas de prevención de contaminación necesarias.

Por su lado, los relaves de flotación del procesamiento de minerales sulfurados de cobre son dispuestos en su tranque, siendo reciclados las aguas de rebose sin emisión fuera del sistema, evitando así la contaminación.

3.1.5 Ubicación de la Planta Ovalle

En la Figura 3-1 se muestra la ubicación de la planta Ovalle y su contorno.

Cuadro 3-3 Resultados de Operaciones de Plantas de Procesamiento de ENAMI Año 2000

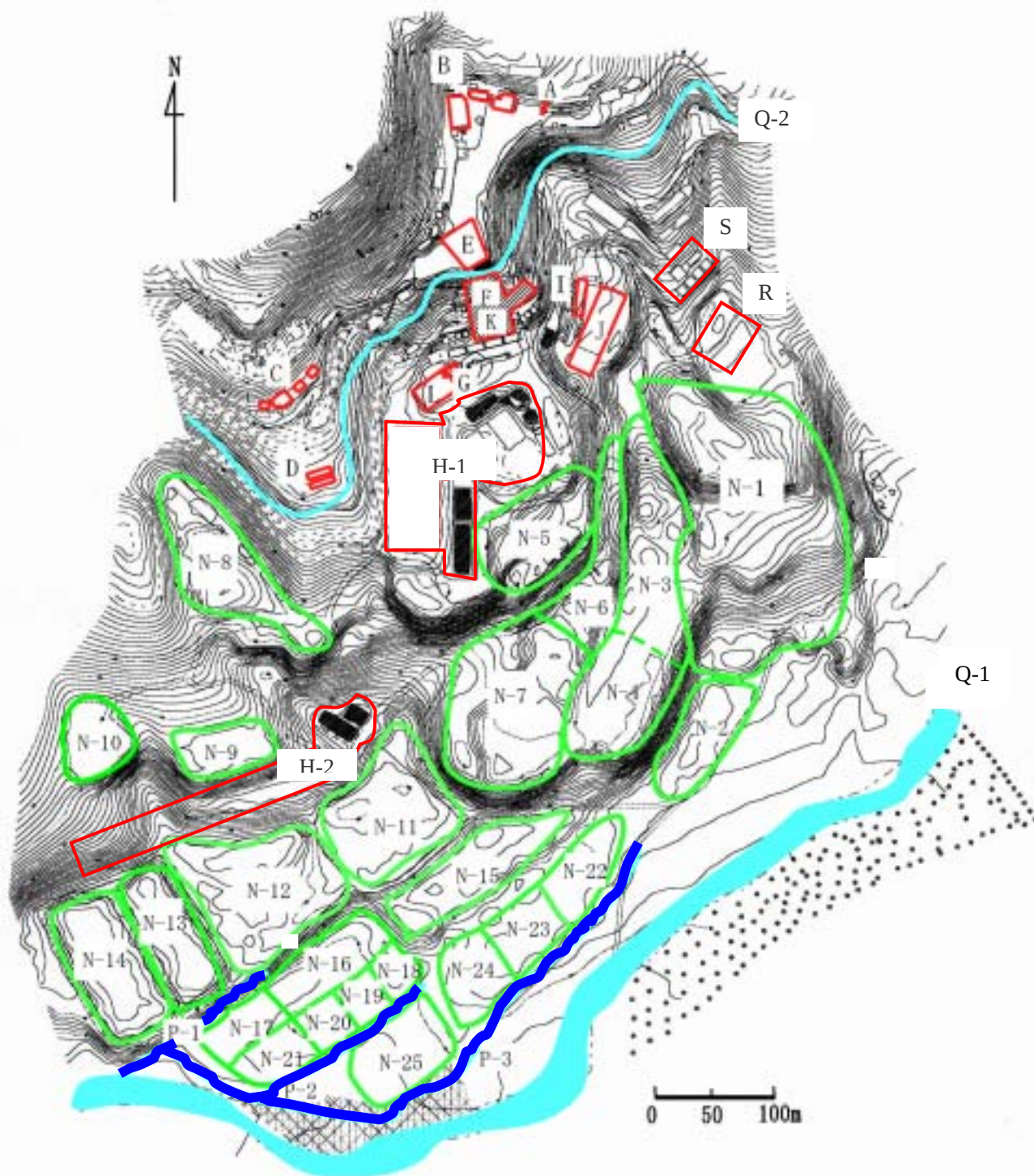
Fuente: MEMORIA ANUAL 2000

Item		Taltal	El Salado	Vallenar	Ovalle *7	Subtotal	M. A. Matta
1. Cálculo de Capacidad Instalada							
1) Minerales óxidos de cobre (crudo)	t-seca/año	144,000	148,000	144,000	168,000	604,000	0
2) Minerales sulfurado de cobre (crudo)	t-seca/año	180,000	0	240,000	84,000	504,000	1,320,000
Capacidad Instalada	t-seca/año	324,000	148,000	384,000	252,000	1,108,000	1,320,000
2. Recepción: abastecimiento de minas							
1) Minerales óxidos de cobre (crudo)	t-seca/año	55,754	116,710	32,424	61,530	266,418	Cierre: déficit mineral
2) Minerales sulfurado de cobre (crudo)	t-seca/año	121,009	0	11,721	47,570	180,300	
3. Procesamiento de Minerales							
1) Minerales óxidos de cobre (crudo) *1, *2	t-seca/año	71,155	116,710	35,397	53,173	276,435	
: Tasa de operación	%	49	79	25	32	61 *8	
2) Minerales sulfurado de cobre (crudo) *1, *3	t-seca/año	114,709	0	9,895	47,418	172,022	
: Tasa de operación	%	64	0	4	56	35	
Procesamiento 1) + 2)	t-seca/año	185,864	116,710	45,292	100,591	448,457	
3) Grava (ripios de lixiviación primaria) *4	t-seca/año	24,000	71,383	0	62,504	157,887	
4. Producto							
1) Precipitado de cobre de óxidos	t-seca/año	3,082	3,452	1,067	1,390	8,991	
Ley cobre	%	79.66	84.03	81.51	81.95	81.91	
Tonelaje cobre	t-seca/año	2,455	2,901	870	1,139	7,365	
Recuperación cobre	%	77.80	77.66	80.97	75.87	77.81	
2) Concentrado de cobre de sulfuros	t-seca/año	10,168	0	1,054	3,072	14,294	
Ley cobre	%	30.76	0	23.87	22.52	28.43	
Tonelaje cobre	t-seca/año	3,128	0	252	684	4,064	
Recuperación cobre	%	93.20	0	100.37	84.40	91.96	
5. Costos operativos							
1) Abastecimiento minerales de cobre (crudo)	US\$/t	2.42	5.33	7.07	4.10	4.00	
2) Trituración	US\$/t	1.62	1.91	9.30	1.94	2.54	
3) Flotación *5	US\$/t	8.92	0	6.16	10.73	9.38	
4) Lixiviación *6	US\$/t	21.9	22.30	11.36	17.27	19.81	
5) Procesamiento minerales óxidos : 1) +2) +4)	US\$/t	25.94	29.54	27.73	23.31	26.35	
	¢ /Cu-lb	34.1	53.9	51.2	49.4	44.9	
6) Procesamiento minerales sulfurados : 1) +2) +3)	US\$/t	12.96	0	22.53	16.77	15.92	
	¢ /Cu-lb	21.6		40.1	52.7	30.6	

Notas *1: Diferencia por merma entre recepción y procesamiento, *2: Trituración → Aglomeración → Lixiviación → Precipitación,

*3: Trituración → Molienda → Flotación → Filtración, *4: Se asume que los rípios son materia de lixiviación secundaria, sin embargo se desconoce la relación con los demás

*5: [Supuesto] Molienda+Flotación+Filtrado, *6: [Supuesto] Aglomeración+Lixiviación+Precipitación, *7: Existe incongruencia con los datos de obtenidos en la planta Ovalle, *



- A~L,R,S : Instalac. tratamiento y conexos
- N : Depósito relave/pozas evaporación
- P : Drenaje agua residual lixiviación
- Q-1 : Estero El Ingenio
- Q-2 : Canal de agua (Talhuen)

Nota) ver detalle de leyenda en página siguiente

Figura 3-1 Instalaciones de la Planta Ovalle

Leyenda de la Figura 3-1

- A: Ingreso a las Instalaciones (Garita de Control)
- B: Almacén de materiales
- C: Oficinas Administrativas
- D: Area de vegetación para prevención de contaminación
- E: Area de recepción de minerales: minerales óxidos y sulfurados
- F: Sección chancado: minerales óxidos y sulfurados
- G: Sección aglomeración: minerales óxidos
- H: Sección lixiviación: minerales óxidos
- H-1 Sección de lixiviación primaria (lixiviación a pilas) y pozas de solución lixiviente
- H-2 Sección de lixiviación secundaria y pozas de solución lixiviente
- I: Sección precipitación: minerales óxidos
- J: Sección secado de precipitados de cobre: minerales óxidos
- K: Sección molienda y flotación: minerales sulfurados
- L: Sección secado de concentrados de cobre: minerales sulfurados
- N: Sección depósito de relaves y pozas de evaporación: minerales óxidos y sulfurados
- N-1: Poza de sedimentación de relaves de flotación de cobre 1 (antigua)
- N-2: Poza de sedimentación de relaves de flotación de oro 1 (antigua)
- N-3: Poza de sedimentación de relaves de flotación de cobre 2 (actual)
- N-4: Poza de sedimentación de relaves de flotación de oro 2 (actual)
- N-5: Botadero de rípos de percolación (antiguo)
- N-6: Poza de evaporación de residuales de lixiviación agitada (antigua)
- N-7: Botadero de rípos de lixiviación en pilas 1 (antiguo)
- N-8: Botadero de rípos de lixiviación en pilas 2 (antiguo)
- N-9: Botadero de rípos de lixiviación en pilas 3 (actual)
- N-10: Botadero de rípos de lixiviación en pilas 4 (actual)
- N-11: Poza de evaporación de residuales de lixiviación en pilas 1 (actual)
- N-12: Poza de evaporación de residuales de lixiviación en pilas 2 (actual)
- N-13: Poza de evaporación de residuales de lixiviación en pilas 3 (en construcción)
- N-14: Poza de evaporación de residuales de lixiviación en pilas 4 (en construcción)
- N-15: Poza de evaporación de residuales de lixiviación en pilas 5 (antigua) posee parte rota
- N-16: Poza de evaporación de residuales de lixiviación en pilas 6 (actual) con infiltración
- N-17: Poza de evaporación de residuales de lixiviación en pilas 7 (actual) con infiltración
- N-18: Poza de evaporación de residuales de lixiviación en pilas 8 (actual) con infiltración
- N-19: Poza de evaporación de residuales de lixiviación en pilas 9 (actual) con infiltración
- N-20: Poza de evaporación de residuales de lixiviación en pilas 10 (actual) con infiltración
- N-21: Poza de evaporación de residuales de lixiviación en pilas 11 (actual) con infiltración
- N-22: Poza de sedimentación de relaves de flotación de oro 3 (antigua)
- N-23: Poza de sedimentación de relaves de flotación de oro 4 (antigua)
- N-24: Poza de sedimentación de relaves de flotación de oro 5 (antigua)
- N-21: Poza de evaporación de residuales de lixiviación en pilas 12 (antigua) con infiltración
- P : Canal de drenaje de infiltraciones de pozas de evaporación
- P-1: Canal de drenaje de infiltraciones de pozas de evaporación 1
- P-2: Canal de drenaje de infiltraciones de pozas de evaporación 2
- P-3: Canal de drenaje de infiltraciones de pozas de evaporación 3
- Q: Ríos, Canales de agua
- Q-1: Estero El Ingenio
- Q-2: Canal Talhuen
- R: Planta Modelo para tratamiento de solución de descarte
- S: Planta piloto para producción de sulfato de cobre a partir de solución rica de lixiviación

3.2 Diagnóstico de las Operaciones

Se requiere asegurar el mejoramiento de las utilidades mediante el incremento de la eficiencia en la producción, con la finalidad de generar recursos para el financiamiento de los costos de protección ambiental. Razón por la cual, a continuación se detallan los análisis relacionados al mejoramiento de ingresos y costos para la Planta Ovalle.

3.2.1 Comparación entre métodos de procesamiento de minerales de cobre

En la planta Ovalle se producen precipitados de cobre mediante lixiviación e intercambio iónico hierro-cobre de minerales óxidos; y concentrados de cobre mediante flotación de minerales sulfurados de cobre, respectivamente.

En el Cuadro 3-4 se compila información relacionada a minerales materia de procesamiento, diagramas de flujo del proceso, viabilidad de recuperar oro y plata, costos directos y la comparación de los métodos de procesamiento en función a la capacidad para minerales óxidos (cementación → pirometalurgia, ó SX-EW) y sulfurados (concentración → refinación {flotación → pirometalurgia → hidrometalurgia: fundición, refinación electrolítica}).

3.2.2 Minerales óxidos

(1) Procesamiento

Los minerales óxidos son procesados mediante chancado → aglomeración → lixiviación → precipitación para producir precipitados de cobre (cemento de cobre).

En la Figura 3-2 se muestra el diagrama de bloques y balance de materiales (resultados del año 2000).

(2) Resultado operacional

A partir de 1998 en que la cotización del cobre cayó por debajo de 80¢/lb, la producción ha disminuido debido a las dificultades en el abastecimiento del mineral crudo. En el Cuadro 3-5 se compila la correlación entre la tasa operación del procesamiento de minerales óxidos de cobre versus la cotización del cobre.

Cuadro 3-5 Tasa de Operación en el Procesamiento de Minerales Oxidos y Cotizaciones

Periodo	Meses	Cotización Cu* ¢/lb			Tasa de Operación Procesamiento Oxidos Cu**				
		Nivel	Rango	Prom.	<50 %	50% a 80%	80% a 100%	>100 %	Prom.
94.1 al 96.11	47	Alto	82 a 140	111.9	10mm [21 %]	18mm [38 %]	18mm [38 %]	1mes [2 %]	70,6
96.12 al 00.12	37	Bajo	63 a 89	76.3	27mm [73 %]	9mm [24 %]	1mes [3 %]	0mm [0 %]	40,2

Notas: *: LME Grade A Settlement (venta), **: entre []: % temporal por nivel de operatividad

(3) Análisis pro Incremento de Ingresos

Los incrementos del ingreso se explican mediante la siguiente fórmula por lotes.

$$\text{Ingreso}_{\text{Iote}} = \Sigma \{ \text{Cap.} \times A/100 \times B/100 \times (100 - C)/100 \times D/100 \times E/100 \} (100 - F)/100 \times G$$

En donde,

Cap.: Capacidad instalada para el procesamiento de minerales óxidos de cobre (t/mes, t/año)

A: Tasa de operación (%)

B: Ley de Cu soluble en el crudo (%)

C: Pérdidas (% merma)

D: Tasa de extracción del cobre (% lixiviación)

E: Tasa de precipitación del cobre (% intercambio con Fe)

F: Tasa de inoperatividad (%)

G: Ingreso calculado por ENAMI

(4) Análisis pro Reducción de Costos

Se analizó la racionalización de la fuerza laboral, ahorros de energía y de materiales.

(5) Análisis del Método de Procesamiento de Minerales Oxidos de Cobre

1) Método de Procesamiento de Minerales Oxidos de Cobre

Análisis de aplicación de extracción por solventes-electrodeposición (SX-EW) en reemplazo del método actual de precipitación, de acuerdo a la comparación de costos directos (en el siguiente cuadro se muestran los costos directos de cada método) que se muestra en el Cuadro 3-4 del acápite 3.2.1, el método de precipitación es considerablemente más oneroso respecto al SX-EW.

Sin embargo, debido a su mediana escala de producción, no podría asumir los altos costos de depreciación de una gran inversión que requiere la introducción de SX-EW; razón por la cual se justifica continuar con la aplicación del método de precipitación en la planta Ovalle.

Costos Directos (Objetivo):

Minerales óxidos	Precipitación	70-90¢/lb aprox
	SX-EW	30-50¢/lb aprox
Minerales sulfurados	Flotación-refinación / rajo abierto	40-60¢/lb aprox
	Flotación-refinación / socavón	50-70¢/lb aprox

No obstante, de existir la oportunidad de adquirir minerales óxidos a gran escala en forma estable, se deberá analizar la factibilidad de aplicar el método SX-EW.

En efecto, como método de procesamiento de solución rica (lixiviación), actualmente se ha puesto en marcha una planta piloto de producción de sulfato de cobre, sin embargo se requiere realizar un estudio de factibilidad haciendo énfasis en la investigación de mercado a largo plazo.

(6) Compilación

En el Cuadro 3-6 se muestra la recopilación de los mejoramientos requeridos y objetivos del procesamiento de minerales óxidos de cobre.

- Mejoramiento 1: incremento de ingresos (valorización de producción)

Incremento de tasa de operación: resultado año 2000 (Y): 25.2%; objetivo (X₁): 90%; máximo efectivo (X₂): 57.1%.

(Medidas): revisión del sistema de fomento para la adquisición de minerales crudos, explotación directa de minas por ENAMI, reducción de ley de corte para la adquisición del mineral, práctica estable de lixiviación secundaria, cotización óptima del cobre: mayor de 80¢/lb, etc.

Incremento de tasa de recuperación de cobre

Resultado año 2000 (Y): 77.3%; objetivo (X₁): 81.5%; máximo efectivo (X₂): 81.5%.

(Medidas): reducción de pérdidas de cobre (prevención de emisión de polvos, procesamiento hidrometalúrgico de finos); incremento de extracción de cobre (procesamiento con tamaño de partícula óptima, reciclaje de solución de descarte tratada al proceso de lixiviación; utilización de bacteria en lixiviación); incremento de tasa de precipitación (tasa de intercambio iónico).

Incremento de ley del precipitado

Resultado año 2000 (Y): 82.9%; objetivo (X₁): 83.0%; máximo efectivo (X₂): 83.0%.

(Medida): supervisión continua.

- Mejoramiento 2: reducción de costos

Resultado año 2000 (Y): 23.31US\$/t_{crudo}; objetivo (X₁): 22.14US\$/t_{crudo}; máximo efectivo (X₂): 22.14US\$/t_{crudo}.

(Medida): reducción de costos en 5%.

Se analizó el grado de mejoramiento calculando la diferencia entre los valores objetivo (90% de la capacidad instalada: 168,000t/año × 90% = 151,200t/año), resultado del año 2000 (año base: 42,365t/año de procesamiento) y máximo efectivo (57% de la capacidad instalada: 168,000t/año × 57% = 96,000t/año).

En cuanto a los resultados generales, a pesar de aumentar la tasa de operación hasta el 90% de la capacidad instalada, no ha sido posible evitar los resultados negativos, calculados con el sistema de valorización vigente. Tanto para el nivel objetivo (X₁: -735,949US\$/año) como para el máximo efectivo (X₂: -467,979US\$/año), los valores estimados resultaron ser negativos.

A continuación se muestra la compilación de los resultados. Los valores entre paréntesis corresponden a valores sin efectuar los mejoramientos.

Los efectos (contribución) de los mejoramientos se estimaron en +452,676US\$/año y +286,704US\$/año respectivamente para el nivel objetivo (X₁) y máximo efectivo (X₂).

Compilación de Resultados: Procesamiento de Minerales Oxidos (Unidad: US\$/año)

	Objetivo (X ₁)	Máx efect. (X ₂)	2000 (Y)	(X ₁) – (Y)	(X ₂) – (Y)
Proces. (t/año)	151,200	96,000	42,365		
Ingresos (A)	2,611,519	1,657,461	654,485	+1,957,034	+1,002,976
	(2,335,846)	(1,483,077)		(+1,681,361)	(+828,592)
Costos (B)	3,347,568	2,125,440	987,528	+2,360,040	+1,137,912
	(3,524,471)	(2,237,760)		(+2,536,943)	(+1,250,232)
(A) – (B)	-735,949	-467,979	-333,043	-402,906	-134,936
	(-1,188,625)	(-754,683)		(-855,582)	(-421,640)
Contribución	+452,676	+286,704			

Cuadro 3-4 Comparación entre Métodos de Procesamiento de Minerales de Cobre

1. Minerales materia de procesamiento: Principales minerales	Oxidos de Cobre		Sulfuros de Cobre
	Chisocola $\text{CuSiO}_3 \cdot \text{nH}_2\text{O}$, Malaquita $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$, etc. Nota: Es posible lixiviar sulfuros secundarios como: Calcocita, Covellita con uso de bacteria.		Calcopirita CuFeS_2 , Calcocita Cu_2S , Covellita CuS , etc.
2. Método de producción	Proceso de cementación	SX/EW (Extracción por solventes / electrodeposición)	Refinación de concentrado de cobre
3. Flujo de Producción	Extracción ↓ Alimentación mineral crudo ↓ Chancado Aglomeración Lixiviación Precipitación ↓ Precipitado de cobre ↓ Cu: aprox. 80 ~ 87% Fundición Conversion Electrólisis ↓ Cobre electrolítico : Cátodo de cobre Cu $\geq 99.97\%$ } Piro-metalurgia	Extracción ↓ Alimentación mineral crudo ↓ Chancado Aglomeración Lixiviación Extracción solvente Electrodeposición ↓ Cobre electrolítico : Cátodo de cobre Cu $\geq 99.97\%$ } Hidro-metalurgia	Extracción ↓ Alimentación mineral crudo ↓ Chancado Molienda Flotación ↓ Concentrado de cobre ↓ Cu: aprox. 27 ~ 40% Fundición Conversion Electrólisis ↓ Cobre electrolítico : Cátodo de cobre Cu $\geq 99.97\%$ } Piro-metalurgia
4. Viabilidad recuperación Au, Ag	×	×	○
5. Costos directos *1			
5-1 Extracción			
• Rajo abierto (A)	¢ /lb		Promedio 9 ~ 36, aprox. 25
	\$/t	○	Promedio 0.7 ~ 1.9, aprox. 1
• Subterránea (B)	¢ /lb	○	Promedio 11 ~ 53, aprox. 40
	\$/t		Promedio 1.4 ~ 30, aprox. 12
5-2 Procesamiento Mineral			
• Mineral de (A)	¢ /lb	○ : Chanc., Aglomer, Lixiv.	Promedio 9 ~ 34, aprox. 24
	\$/t		Promedio 0.5 ~ 1.8, aprox. 1
• Mineral de (B)	¢ /lb	○ : Chancado, Aglomeración, Lixiviación, Precipitación	Promedio 6 ~ 27, aprox. 14
	\$/t		Promedio 2 ~ 15, aprox. 5
5-3 Transporte	¢ /lb	○ : Precipitado cobre	Prom 0.5 ~ 8, aprox 3: conc Cu
5-4 Refinación			
• Pirometalurgia	¢ /lb	○	Promedio 8 ~ 32, aprox. 19
• Hidrometalurgia	¢ /lb	○	
5-5 Sub-producto	¢ /lb		Promedio -1 ~ -130, aprox. -22
(Au, Ag, Mo)			
Total Costo Directo			
• Mineral de (A)	¢ /lb	Promedio 25 ~ 60, aprox. 40	Promedio aprox. 50
• Mineral de (B)	¢ /lb	Supuesto 70 ~ 80	Promedio aprox. 65
6. Escala aplicación	Pequeña a mediana *2	Grande	Pequeña a grande

Nota *1: Compuesto por costo directo, intereses, depreciación, etc., *2: En caso de escala pequeña, no es posible asumir la inversión de una planta de SX-EW.

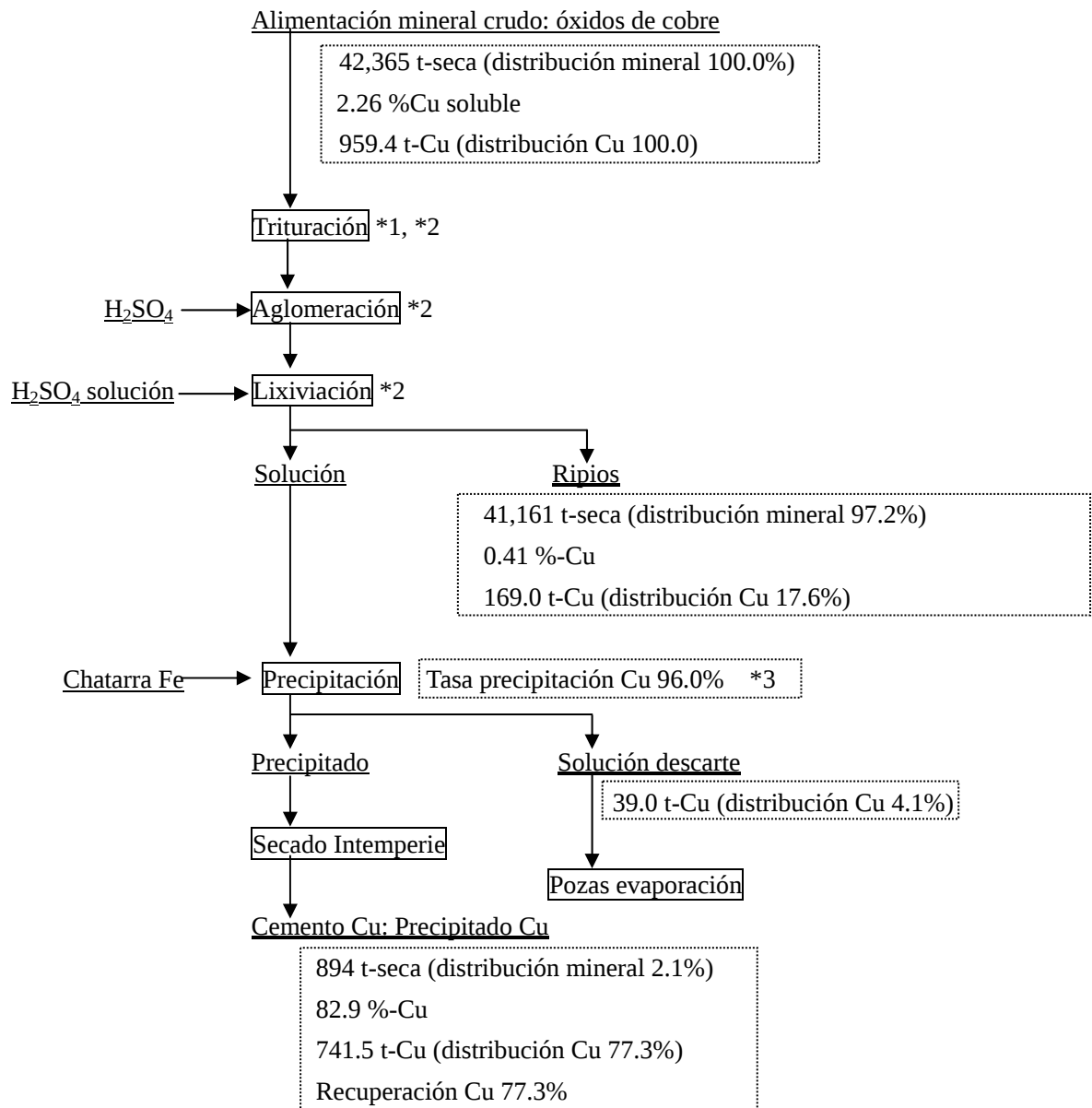


Figura 3-2 Diagrama de Bloques con Balance de Materia de Minerales Oxidos de Cobre 2000

Planta Ovalle, ENAMI

Nota *1: Se determina las condiciones de compra, para cada lote mediante pesado, muestreo y análisis.

*2: Pérdidas en Trituración, Aglomeración y Lixiviación

424 t-seca (distribución mineral 1.0%)

2.24 %-Cu

9.5 t-Cu (distribución Cu 1.0%)

*3: Pérdida en Precipitación

0.5 t-Cu (distribución Cu 0.1%)

Cuadro 3-6 Objetivos para el Procesamiento de Minerales Oxidos de Cu: Planta Ovalle, ENAMI

		Año objetivo Objetivo: X1	Actual situat. Max.: X2	Año 2000 Resultado: Y	Años 1994 ~ 2000 Resultados	Dif.: X1 - Y	Dif.: X2 - Y	Medidas o factores externos esperados ()
1. Tasa uso capacidad instalada: RCU	%	90.0	57.1	25.2	25.2 ~ 85.0: Prom.57.2	+64.8	+31.9	1) Incentive para proveedores de minerales a ENAMI
(1) Tonelaje mineral (ley de Cu)	t/año (Cu-%)	151,200 (idem der.)	96,000 (idem der.)	42,365 (2.3)	42,365 ~ 142,831: Prom.96,096 (1.9 ~ 2.3: Prom.2.1)	+108835 (±0)	+53,635 (±0)	2) Explotación de minas por ENAMI
(2) Capacidad	t/año	168,000	168,000	168,000	168,000	±0	±0	3) Disminución de ley de corte del mineral
								4) Operación estable en lixiviación secundaria
								5) Cotización de Cu >80 ~ 90 ¢ /lb()
2. Tasa recuperación Cu total (Fórmula) tasa recuperación Cu total = {100 - (pérdida Cu 1)} × (tasa lixiviación Cu)/100 × (tasa precipitación Cu)/100 - pérdida Cu 2	%	81.5	(idem izq.)	77.3	56.8 ~ 77.3: Prom.72.1	+4.2	+4.2	
(1) Distrib. pérdida Cu 1: chanc., aglom., lixiv.	%	0.5	(idem izq.)	1.0	0.9 ~ 1.1: Prom.1.0	-0.5	-0.5	1) Prevención de polvo, 2) Proceso húmedo para finos
(2) Tasa lixiviación Cu: (Distrib. Cu recup. por reciclo de solución descarte/tratada a circ. lixiviación) [Ref.: Distrib. Cu soluc. descarte]	%	86.3 (3.1) [1.0]	(idem izq.) (idem izq.) (idem izq.)	82.2 (0.0) [4.1]	60.3 ~ 82.2: Prom.76.7 (0.0) [2.9 ~ 4.1: Prom.3.8]	+4.1 (+3.1) [-3.1]	+4.1 (+3.1) [-3.1]	1) Optimización de tamaño partícula, etc.
(3) Tasa precipitación Cu	%	95.0	(idem izq.)	94.9	94.9 ~ 95.0: Prom.94.9	+0.1	+0.1	2) Reciclaje de solución descarte/tratada al circuito lixiv. : uso de bacteria, Fe ³⁺ , etc.
(4) Pérdida Cu 2 distrib.: precipitación	%	0.05	(idem izq.)	0.05	0.05	±0	±0	1) Gestión para operación estable
								1) Idem
3. Producto: precipitado Cu (cemento Cu)								
(1) Cantidad de precipitado Cu y ley de Cu	t/año	Cal. 3.415	Cal. 2.168	894	894 ~ 2,907: Prom.1,865	+2,521	+1,274	
(2) Cantidad de Cu	%	83.0	(idem izq.)	82.9	75.3 ~ 82.9: Prom.78.3	+0.1	+0.1	1) Gestión para operación estable
	t/año	Cal. 2.834	Cal. 1,799	741	741 ~ 2,261: Prom.1,448	+2,093	+1,058	
4. Ingreso [A]: estimado	US\$/año	2,611,519	1,657,461	654,485		+1,957,034	+1,002,976	
5. Costo producción [B]	US\$/año	3,347,568	2,125,440	987,528		+2,360,040	+1,137,912	
(1) Costo unitario producción (¢ /prod.Cu-lb)	US\$/t crudo	22.14 (Cal. 53.6)	(idem izq.) (Cal. 53.6)	23.31 (Cal. 60.5)		-1.17 (-4.8)	-1.17 (-4.8)	1) Reducción de costos en 5% en cada ítem
6. Utilidad bruta [A - B]	US\$/año	-735,949	-467,979	-333,043		-402,906	-134,936	
< Incremento monetario >	US\$/año	<+452,676>	<+286,704>					

3.2.3 Procesamiento de Minerales Sulfurados

(1) Procesamiento

Los minerales sulfurados de cobre son procesados mediante chancado → molienda → flotación para producir concentrados de cobre.

En la Figura 3-3 se muestra el diagrama de bloques (simplificado) y el balance de materiales (resultado del año 2000).

(2) Resultado Operacional

A partir de 1998 en que la cotización del cobre cayó por debajo de 80¢/lb, la producción ha disminuido debido a las dificultades en el abastecimiento del mineral crudo; no obstante a las bajas cotizaciones del cobre, posteriormente al año 2001 ENAMI ha recuperado hasta el 80% en la tasa de operación mediante esfuerzo propio. En el Cuadro 3-7 se compila la correlación entre la tasa operación del procesamiento de minerales sulfurados de cobre versus la cotización del cobre.

Cuadro 3-7 Tasa de Operación en el Procesamiento de Minerales Sulfuros y Cotizaciones

Periodo	Meses	Cotización Cu* ¢/lb			Tasa de Operación Procesamiento Oxidos Cu**				
		Nivel	Rango	Prom.	<50 %	50% a 80%	80% a 100%	>100 %	Prom.
94.1 al 96.11	47	Alto	82 a 140	111,9	1mes [2 %]	15mm [32 %]	22mm [47 %]	9mm [19 %]	82.5
96.12 al 00.12	37	Bajo	63 a 89	76,3	17mm [40 %]	20mm [48 %]	4mm [10 %]	1mes [2 %]	53.8

Notas: *: LME Grade A Spot (venta), **: entre []: % temporal por nivel de operatividad

(3) Análisis pro Incremento de Ingresos

Los incrementos del ingreso se explican mediante la siguiente fórmula por lotes.

$$\text{Ingreso}_{\text{lote}} = \sum \{ \text{Cap.} \times A/100 \times B/100 \times (100 - C)/100 \times D/100 \} (100 - E)/100 \times F$$

En donde,

Cap.: Capacidad instalada para el procesamiento de minerales óxidos de cobre (t/mes, t/año)

A: Tasa de operación (%)

B: Ley de Cu en mineral sulfurado (%)

C: Pérdidas (% merma)

D: Tasa de recuperación del cobre (%)

E: Tasa de inoperatividad

F: Ingreso calculado por ENAMI

(4) Análisis pro Reducción de Costos

Se analizó la racionalización de la fuerza laboral, ahorros de energía y de materiales.

(5) Compilación

En el Cuadro 3-8 se muestra la recopilación de los mejoramientos requeridos y objetivos del procesamiento de minerales sulfurados de cobre.

- Mejoramiento 1: incremento de ingresos (valorización de producción)

Incremento de tasa de operación: resultado año 2000 (Y): 56.4%; objetivo (X): 90%.

(Medidas): revisión del sistema de fomento para la adquisición de minerales crudos, explotación directa de minas por ENAMI, reducción de ley de corte para la adquisición del mineral, práctica estable de lixiviación secundaria, cotización óptima del cobre: mayor de 80¢/lb, etc.

Incremento de tasa de recuperación de cobre

Resultado año 2000 (Y): 84.3%; objetivo (X): 91.0%.

(Medidas): aplicación de circuito óptimo de molienda, aseguramiento del tiempo de flotación mediante optimización de la densidad de pulpa, etc.

Incremento de ley del concentrado

Resultado año 2000 (Y): 22.3%; objetivo (X): 30.0%.

(Medida): mejoramiento del circuito de limpieza e introducción de remolienda en el circuito. Asimismo, análisis de introducción de celdas tipo columna en el circuito de limpieza.

- Mejoramiento 2: reducción de costos

Resultado año 2000 (Y): 16.77US\$/tcrudo; objetivo (X): 15.93US\$/tcrudo

(Medida): reducción de costos en 5%.

Se analizó el grado de mejoramiento calculando la diferencia entre los valores objetivo (90% de la capacidad instalada: $84,000\text{t/año} \times 90\% = 75,600\text{t/año}$) y el resultado del año 2000 (año base: 47,418t/año de procesamiento).

En cuanto a los resultados generales, a pesar de aumentar la tasa de operación hasta el 90% de la capacidad instalada, no ha sido posible evitar los resultados negativos, calculados con el sistema de valorización vigente. Los valores estimados para el nivel objetivo (X: entre -188,940 y -253,305US\$/año) resultaron ser negativos.

A continuación se muestra la compilación de los resultados. Los valores entre paréntesis corresponden a valores sin efectuar los mejoramientos.

Los efectos (contribución) de los mejoramientos se estimaron entre +280,326 y +277 para el nivel objetivo.

Compilación de Resultados: Procesamiento de Minerales Sulfurado (Unidad: US\$/año)

	Objetivo (X)	2000 (Y)	(X) – (Y)
Proces. (t/año)	75,600	47,418	+28,182
Ingresos (A)	1,015,368 a 951,003 (798,546 a 736,585)	493,362	+522,006 a +457,641
Costos (B)	1,204,308 (1,267,812)	795,200	+409,108 (+2,536,943)
(A) – (B)	-188,940 a -253,305 (-469,266 a -531,227)	-301,838	-112,898 a +48,533
Contribución	+280,326 a +277,922		

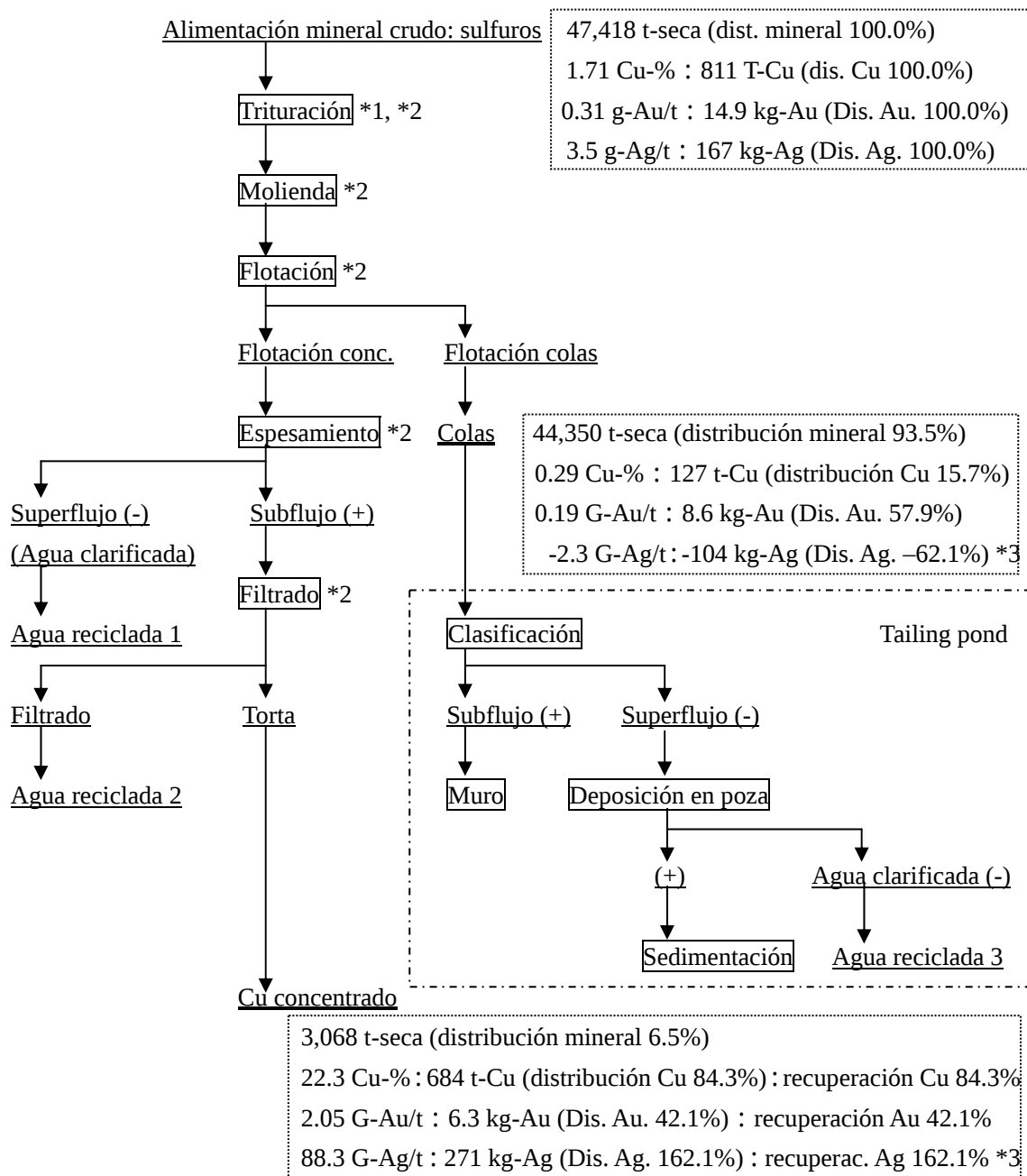


Figure 3-3 Diagrama de Bloques con Balance de Materia de Minerales Sulfuros de Cobre 2000
 Planta Ovalle, ENAMI

Note *1 : Se determina las condiciones de compra, para cada lote mediante pesado, muestreo y análisis.

*2 : Pérdidas deben ser nulas.

*3 : Se debe a tratamiento conjunto con minerales de alta ley de plata?

Cuadro 3-8 Objetivos para el Procesamiento de Minerales Sulfurados de Cu: Planta Ovalle, ENAMI

		Año objetivo	Año 2000 Resultado: Y	Años 1994 ~ 2000 Resultados	Dif.: X - Y	Medidas o factores externos esperados ()
1. Tasa uso capacidad instalada: RCU		%	90.0	42.3 ~ 95.5: Prom.69.2	+33.6	1) Incentivo para proveedores de minerales a ENAMI
(1) Tonelaje mineral (ley de Cu)		t/año (Cu-%)	75,600 (ídem der.)	35,572 ~ 80,196: Prom.58,128 (1.7 ~ 2.9: Prom.2.2)	+28,182 (±0)	2) Explotación de minas por ENAMI 3) Disminución de ley de corte del mineral
(2) Capacidad		t/año	84,000	84,000	±0	4) Cotización de Cu >80 ~ 90 ¢/lb()
2. Tasa recuperación						
(1) Cobre		%	91.0	84.3	+5.7	1) Adopción de circuito óptimo de molienda 2) Increm. tiempo flotac. / aumento densidad pulpa
(2) Oro		%	---	42.1	---	(ídem)
(3) Plata		%	---	162.1?	---	(ídem)
3. Producto: concentrado Cu						
(1) Cantidad concentrado Cu	1) Cant.					
	1) Ley	t/año	Calculado 3,898	2,749 ~ 5,698: Prom.4,419	+788	1) Mejoram. circuito limpieza, adopción remolienda
(2) Ley y cantidad Cu	2) Cant.	%	30.0	22.3	+7.7	2) Adopción de celdas tipo columna en limpieza
	2) Ley	t/año	Calculado 1,170	684	+473	
(3) Ley y cantidad Au	1) Ley	g/t	---	2.0	---	(ídem)
	2) Cant.	kg/año	---	6.3	---	
(4) Ley y cantidad Ag	1) Ley	g/t	---	88.3	---	(ídem)
	2) Cant.	kg/año	---	270.9	---	
4. Ingreso [A]: estimado (*1)		US\$/año	1,015,368 ~ 951,003	493,362	+522,006 ~ +457,641	desde ENAMI
5. Costo producción [B]						
(1) Costo unitario producción		US\$/año	1,204,308	795,200	+409,108	
		US\$/t crudo (¢ /prod.Cu-lb)	15.93 (Calculado 47.2)	16.77 (Calculado 52.7)	-0.84 (-5.5)	1) Reducción de costos en 5% en cada ítem
6. Utilidad bruta [A - B]						
< Incremento monetario >		US\$/año	-188,940 ~ -253,305	-301,838	+112,898 ~ +48,533	

Note *1: Proporción (+) del tonelaje de procesamiento: Objetivo [hipotético] 60 ~ 30% en caso de abastecimiento a tarifa, 40 ~ 70% en caso de abastecimiento con contrato especial, Resultado de Feb. 2000: 50%, 50%

3.3 Diagnóstico del Medio Ambiente

3.3.1 Objetivo

El objetivo del estudio de la situación del medio ambiente en los alrededores de la planta Ovalle, consiste en reconocer los orígenes de los problemas de contaminación.

3.3.2 Hidrología y Calidad de Agua

El estero El Ingenio se encuentra bordeando el margen oriental de la planta, fluyendo hacia el sudoeste para confluir con el río Limarí 40km aguas abajo (Ver Figura 3-4). Próximo a la planta (margen izquierdo del estero) existe un manantial que sirve como una de las pocas fuentes de agua potable en la zona.

Las precipitaciones pluviales de esta región montañosa de 600 a 1,000m de altura, oscilan entre 80 y 100mm/año; razón por la cual, se observa poca vegetación. Los valles y quebradas se presentan secos fuera de las estaciones de lluvias.

3.3.3 Resultados de Monitoreo de Aguas

Se han establecido los siguientes 9 puntos de monitoreo de calidad y caudal de aguas en los alrededores de la planta.

M-1: Estero El Ingenio (aguas arriba de la planta)

M-2: Manantial de agua potable

M-3: Agua de uso industrial (fuente río Talhuén)

M-4: Solución de descarte del proceso de producción de precipitado de cobre

M-4A: Infiltraciones de la poza de evaporación (aguas abajo)

M-4B: Infiltraciones de la poza de evaporación (aguas arriba)

M-5: Estero El Ingenio (500m aguas abajo de la planta)

M-6: Estero El Ingenio (2km aguas abajo de la planta)

M-7: Estero El Ingenio (5km aguas abajo de la planta)

Con la finalidad de realizar la evaluación del impacto ambiental, la contraparte chilena analiza mensualmente las muestras tomadas en estos puntos de monitoreo.

La calidad de aguas en los puntos M-1, M-2 y M-3 que se encuentran aguas arriba, son estables durante todo el año. Además, sobre los datos de la concentración de Fe-T no son problemáticos debido a que todos estuvieron entre 0 y 0.3 (por debajo de los valores estándar). Siendo alta la concentración del ión cloruro del punto M-2, infiriéndose que debe ser la influencia de esterilizadores clorados.

De los puntos M-4, M-4A y M-4B que son considerados fuentes de contaminación, particularmente M-4 (solución de descarte) presenta alta inestabilidad de calidad de aguas, con valores de concentración de Fe-T, que se constituye como catalizador de las bacterias *Thiobacillus ferrooxidans*, oscilan entre 9 y 39g/L. Este factor es de suma importancia para el

planeamiento de operaciones a futuro. Esta situación se debe a la inestabilidad en la tasa de operación del procesamiento de minerales óxidos de cobre por el déficit de abastecimiento de minerales crudos. Este factor es de suma importancia para el mantenimiento de la actividad considerando las operaciones de la planta de tratamiento bacteriano.

Asimismo, en M-4A y M-4B; se infiere que M-4A es una mezcla con M-4 y otras corrientes de agua circundante.

En cuanto a los puntos M-5, M-6 y M-7; durante los meses de abril a septiembre que corresponde a la estación de lluvias, las concentraciones de los componentes son diluidas; sin embargo, los puntos M-5 y M-6 superan los valores estándares de concentración de Fe-T, Cu, Al, Mn y SO_4^{2-} durante todo el año. Asimismo, los valores de Fe-T, Cu, Al, Mn y SO_4^{2-} en el punto M-7 se encuentran por debajo de los estándares, debido a la capacidad de asimilación natural del estero.

3.3.4 Medidas de Prevención de la Contaminación

(1) Estándares de Emisión / Normas de Calidad de Aguas para Riego

Cuadro 3-9 Estándares de Emisión de Residuos Líquidos / Normas de Calidad de Agua de Riego
(Relacionados a la Actividad Minera)

Parámetro Estandarizado	Unidad	Norma para el caso de emisión a alcantarillado	Norma para emisiones líquidas					Normas de Calidad de Agua de Riego
			(1) Emisión a ríos	(2) Emisión a ríos con capacidad de dilución	(3) Emisión a lagos	(4) Emisión a litorales protegidos	(5) Emisión a litorales no protegidos	
pH		5.5 - 9.0	6.0 - 8.5	6.0 - 8.5	6.0 - 8.5	6.0 - 9.0	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0
Temperatura		35	35	40	30	30	-	-
Sólidos totales	mg/L	300	80	300	80	100	700	-
Sólidos en suspensión	ml/L 1h	20	-	-	5	5	50	-
Al	mg/L	10	5	10	1	1	10	5
As	mg/L	0.5	0.5	1	0.1	0.2	0.5	0.1
B	mg/L	4	0.75	3	-	-	-	0.75
Cd	mg/L	0.5	0.01	0.3	0.02	0.02	0.5	0.01
CN ⁻	mg/L	1	0.2	1	0.5	0.5	1	0.2
Cl ⁻	mg/L	-	400	2,000	-	-	-	200
Cu	mg/L	3	-	-	-	1	3	0.2
Cu-T	mg/L	-	1	3	0.1	-	-	-
Cr-T	mg/L	10	-	-	2.5	2.5	10	0.2
Cr ⁶⁺	mg/L	0.5	0.05	0.2	0.2	0.2	0.5	-
Sn	mg/L	-	-	-	0.5	0.5	1	-
F	mg/L	-	1.5	5	1	1.5	6	1
Fe	mg/L	-	5	10	2	10	-	5
Mn	mg/L	4	0.3	3	0.5	2	4	0.2
Hg	mg/L	0.02	0.001	0.01	0.005	0.005	0.02	0.001
Mo	mg/L	-	1	2.5	0.07	0.1	0.5	0.01
Ni	mg/L	4	0.2	3	0.5	2	4	0.2
Pb	mg/L	1	0.05	0.5	0.2	0.2	1	5
Se	mg/L	-	0.01	0.1	0.01	0.01	0.03	0.02
SO_4^{2-}	mg/L	1,000	1,000	2,000	1,000	-	-	250
S^{2-}	mg/L	5	1	10	1	1	5	-
Zn	mg/L	5	3	20	5	5	5	2

En marzo de 2001 se publicó la norma de emisiones líquidas en el diario oficial conteniendo “los estándares para efluentes líquidos emitidos a cuerpos de agua con capacidad de dilución” (Cuadro 3-9). Sin embargo, aun no se define si los efluentes de la planta Ovalle serían regulados mediante esta norma ó la norma relacionada a emisiones subterráneas próxima a promulgarse.

En efecto, se otorga un plazo de adecuación de 5 años para el cumplimiento de los estándares de emisión para los efluentes líquidos de actividades existentes como la planta Ovalle, es decir, la aplicación de los mismos sería a partir del 2006.

Asimismo, comparando la calidad de aguas del estero El Ingenio, aguas abajo de la planta Ovalle con las normas de calidad de aguas de riego, se observa que los valores en M-5 y M-6 superan los valores para Fe-T, Cu, Al, Mn, Zn, Cd y SO_4^{2-} ; y en M-7 en los parámetros Mn y SO_4^{2-} . Es decir, se consideran que no son aptas para su uso en riego.

(2) Medidas de Prevención de Contaminación de Aguas

Es posible estimar la carga del efluente al estero El Ingenio mediante la diferencia de cargas de Fe-T entre los puntos M-1 y M-5, estimadas en el Cuadro 3-10.

Cuadro 3-10 Cálculo de Carga de Infiltraciones

	Fe ^T [mg/s] (M-5)-(M-1)	M-4	
		Fe ^T [mg/L]	Q [L/s]
Diciembre 99	39,088	29,550	1.32
Enero 2000	28,164	17,240	1.63
Febrero	44,379	-	-
Marzo	52,784	39,290	1.34
Abril	35,989	37,040	0.97
Mayo	84,746	25,340	3.34
Junio	87,145	24,830	3.51
Julio	34,820	14,570	2.39
Agosto	30,741	18,670	1.65
Septiembre	91,931	15,100	6.09
Octubre	56,415	11,140	5.06
Noviembre	30,871	16,000	1.93
Diciembre	20,256	19,590	1.03
Enero 2001	21,970	18,660	1.18
Febrero	22,245	28,620	0.78
Marzo	24,889	25,600	0.97
Abril	28,220	25,000	1.13
Mayo	81,895	14,390	5.69
Junio	3,130	15,000	0.21
Julio	33,741	23,470	1.44
Agosto	10,041	9,800	1.02
Septiembre	7,772	15,400	0.50
Octubre	16,559	17,110	0.97
Noviembre	33,970	12,150	2.80
Diciembre	60,910	10,700	5.69
Enero 2002	56,455	15,000	3.76
Febrero	127,686	18,000	7.09

Se infiere que el volumen de efluentes infiltrados hacia el cauce el estero El Ingenio desde la planta Ovalle, depende de la tasa de operaciones (RUIC: *Rate of Use of Installed Capacity*) del procesamiento de minerales óxidos de cobre y las precipitaciones pluviales; estimándose que alcanzan valores tan altos como 3 – 7L/seg y siendo el nivel normal de 1L/seg.

Asimismo, los materiales contaminantes que superan los valores estándares descritos arriba son: Fe, Cu, Al, Mn, As, Zn, Cd y SO_4^{2-} en M-4; Fe, Cu, Al, Mn, Zn, Cd y SO_4^{2-} en M-4A; y, Cu, Al, Mn, Zn, SO_4^{2-} en M-4B.

Además, siendo las normas de calidad de aguas para riego, valores más exigentes, en M-5 y M-6 superan los valores correspondientes a los parámetros Fe, Cu, Al, Mn, Zn, Cd y SO_4^{2-} ; y en M-7 los parámetros Mn y SO_4^{2-} .

Si bien no se conoce con exactitud las rutas de drenaje de estos contaminantes, M-4A y M-4B, se encuentran entre la parte inferior de la poza de evaporación y el estero El Ingenio, las infiltraciones son evidentes. De entre ellas, M-4B correspondería a efluentes de la planta con relativo bajo grado de contaminación, y M-4A, la mayor fuente de contaminación originada por M-4 contenido en las pozas de evaporación.

En consecuencia, se deberán analizar y ejecutar los planes de prevención de esta contaminación que genera la planta Ovalle, hasta la entrada en vigencia de la norma que será en el 2006.

Impermeabilización de las pozas de evaporación: se deberá prevenir la infiltración de los efluentes de planta, colocando capas impermeables como lonas de HDPE (*High Density Poly-Ethylene*) en el interior de las pozas de evaporación.

Refacción de la estructura de los muros de contención de las pozas de evaporación: se deberá asegurar la estabilidad de los muros de contención, refaccionando las partes colapsadas y deterioradas por la erosión.

Acondicionamiento de los alrededores de las pozas de sedimentación: ordenamiento, cobertura y vegetación de los sedimentos de la solución de descarte en las pozas de sedimentación.

Instalación de canales: prevención del drenaje de agua meteórica y otras hacia el interior de las pozas de sedimentación, instalando canales en los bordes de las pozas de sedimentación.

Verificación de la estabilidad de los precipitados de neutralización: se deberá verificar la estabilidad de los precipitados de neutralización, mediante pruebas de solubilidad y reológicas.

(3) Medidas para la Prevención de Contaminación de Suelos

Como contaminación de suelos en los alrededores de la planta Ovalle se tienen, sedimentos con contenido de hierro y metales pesados acumulados en la cuenca del estero El Ingenio, rípios de lixiviación, relaves de flotación y otras partículas. Especialmente, los sedimentos con alto contenido de hierro (hidróxido de hierro) se extienden ampliamente hasta el punto M-7.

En adelante, al ser tratado en su totalidad la solución de descarte de lixiviación, la contaminación de suelos aguas abajo no aumentaría; más bien se espera que los sedimentos naturales de arrastre de las aguas del estero, se irán acumulando paulatinamente hasta cubrir los contaminantes en su totalidad.

En consecuencia, es una operación que implica costos extremadamente altos e inversión de gran cantidad de tiempo. Por otro lado, se recomienda una solución pasiva esperando los efectos de rehabilitación natural.

(4) Medidas para la Prevención de Contaminación Atmosférica

Como factores de contaminación atmosférica en los alrededores de la planta Ovalle se podrían considerar los polvos generados en el proceso de conminución, neblina de ácido sulfúrico, sedimentos de las pozas de evaporación y los precipitados de neutralización.

Se deben prevenir la volatilización de estas partículas debido a que en las proximidades de la planta existen plantaciones de uva para vinos. Como medidas de prevención se cuentan las siguientes.

- Prevención de generación de polvo mediante aspersión de agua en las operaciones de chancado, aglomeración y transporte.

- Prevención de generación de neblina ácida mediante colocación de mallas sobre las pilas de lixiviación.

- Ordenamiento, cobertura y vegetación sobre rípios de lixiviación, relaves de flotación, sedimentos de evaporación y precipitados de neutralización.

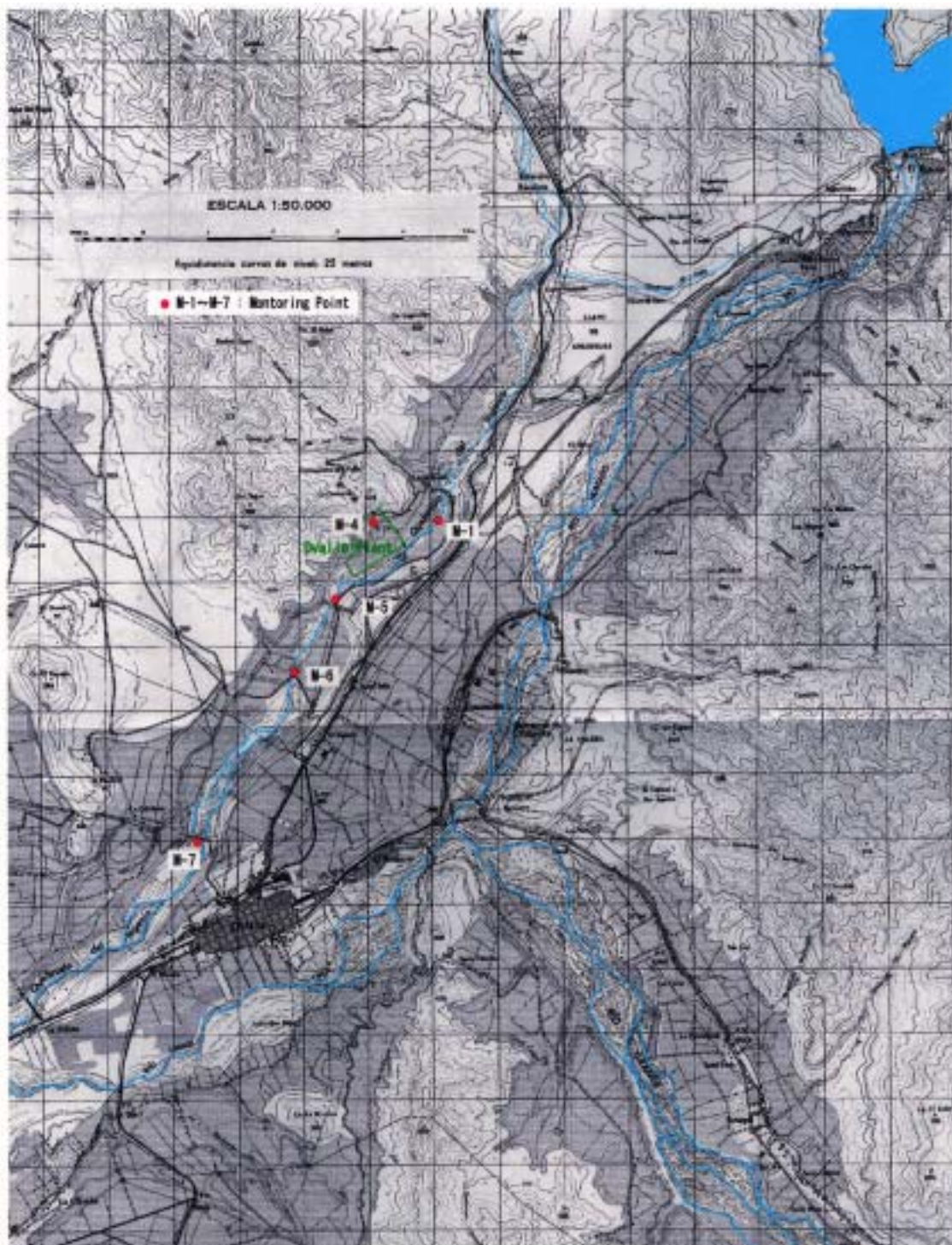


Figura 3-4 Mapa de Alrededores de la Planta Ovalle

4 . Transferencia de Tecnología en Metodología de Oxidación Bacteriana

4 . Transferencia de Tecnología en Metodología de Oxidación Bacteriana

4.1 Pruebas Básicas

4.1.1 Objetivos

Las pruebas básicas se realizaron de acuerdo a los siguientes objetivos.

- Recopilación de datos para el diseño de planta modelo de tratamiento de solución de descarte generado en el proceso de precipitación en la planta Ovalle.
- Transferencia de tecnología de oxidación bacteriana.

4.1.2 Contexto y Resultados

Se realizaron los siguientes estudios y pruebas en el laboratorio bioquímico de la planta El Salado y en Japón.

- Estudio de existencia de bacterias oxidantes
- Pruebas de oxidación bacteriana
- Pruebas de verificación de factores negativos para el cultivo de bacterias
- Pruebas de neutralización mediante uso de reactivos obtenidos localmente
- Pruebas de floculación y sedimentación de precipitados de neutralización
- Pruebas de secado de los precipitados de neutralización

De estos estudios y pruebas se obtuvieron los siguientes resultados.

- Factibilidad de tratar la solución de descarte real de la planta Ovalle con bacterias ferro-oxidantes obtenidas en Chile
- Recopilación de datos relacionados al diseño de los circuitos de oxidación, neutralización y secado de la planta modelo
- Determinación de utilizar las cepas de Andacollo como bacterias ferro-oxidantes para el arranque de la planta modelo

4.2 Descripción y Construcción de Planta Modelo

4.2.1 Construcción de Planta Modelo

El diseño, envío de los equipos y materiales necesarios hasta Chile y la supervisión del montaje de la planta modelo de acuerdo al Alcance de Trabajo (*Scope of Works*), suscrito entre los gobiernos de Chile y Japón en julio de 1999, estuvo a cargo de la misión japonesa; y por su parte la contraparte chilena se encargó del transporte local, obras civiles de los cimientos, construcción y montaje.

4.2.2 Descripción de la Planta Modelo

(1) Flujo del Proceso

En la Figura 4-1 que se muestra a continuación se muestra el diagrama de flujo.

(2) Fundamentos de Diseño

A continuación se describen los fundamentos de diseño de la planta modelo.

1) Especificaciones de la solución de descarte de lixiviación

En el Cuadro 4-1 se muestra los parámetros de la solución de descarte de la planta Ovalle a ser alimentada a la planta modelo, determinados entre las partes, basados en los datos recopilados durante el primer estudio in situ.

Cuadro 4-1 Especificaciones de la Solución de Descarte

pH	Fe ²⁺ (g/L)	T-Fe (g/L)	Cu (g/L)	Mn (g/L)	Zn (g/L)	Al (g/L)
3.7	30	30	0.26	0.97	0.24	9.7

2) Capacidad de Tratamiento de la Planta Modelo

Se estableció como objetivo, la capacidad de tratamiento de la planta modelo en 100m³/día.

3) Velocidad de Oxidación

La velocidad de oxidación se estableció en 1.0g/L-h.

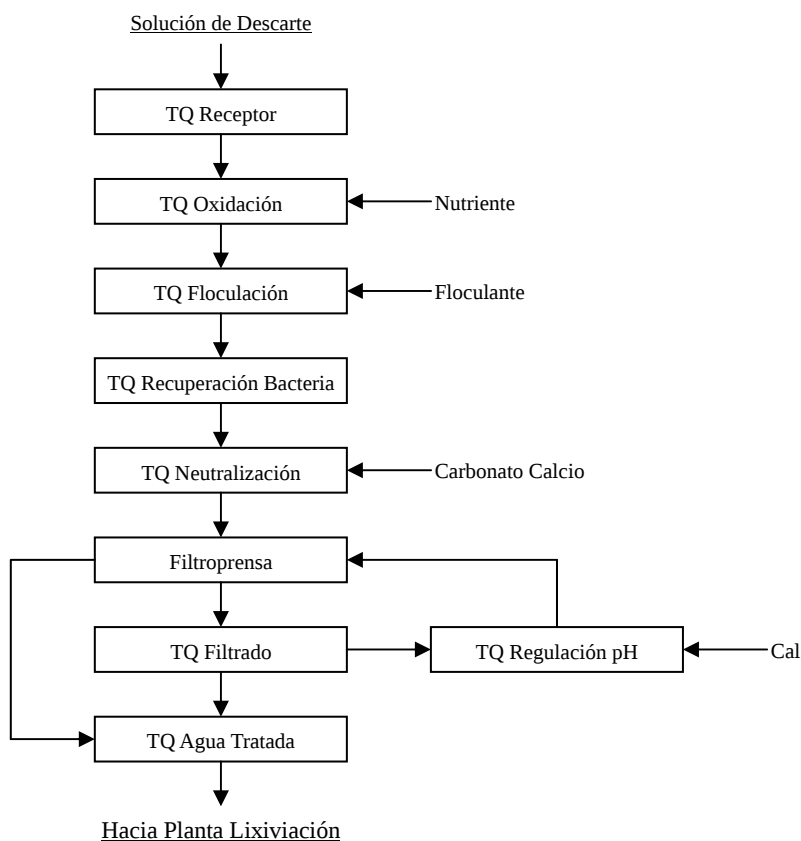


Figura 4-1 Diagrama de Flujo del Proceso: Planta Modelo

4.3 Resultados de Pruebas en Planta Modelo

4.3.1 Objetivos

Las pruebas en planta piloto se realizaron de acuerdo a los siguientes objetivos.

- Recopilación de datos para el estudio de factibilidad para el escalamiento de la planta modelo, capaz de tratar la totalidad de la solución de descarte en función a la capacidad de procesamiento de minerales en la planta Ovalle.
- Transferencia de tecnología de oxidación bacteriana.

4.3.2 Resultados

(1) Calidad de Solución de Descarte

En el siguiente cuadro se muestra los resultados de la calidad de la solución de descarte, durante las pruebas en planta modelo. Estos resultaron menos concentrados que los valores de diseño.

Cuadro 4-2 Resultados de Análisis de Solución de Descarte durante Pruebas en Planta Modelo

Fecha	pH	Fe ²⁺ (g/L)	Fe-T (g/L)	Cu (mg/L)	Mn (mg/L)	Zn (mg/L)	Al (mg/L)	Cd (mg/L)	Pb (mg/L)	As (mg/L)	Mg (mg/L)
Prom	-	-	-	101	466	208	2770	1.56	0.75	17.1	3190
Máx	-	-	-	253	837	484	4949	2.90	1.30	30.0	3807
Mín	-	-	-	28	251	106	1588	0.78	N.D.	7.0	2590

(2) Condiciones de Operación en Planta Modelo

Se alcanzaron los objetivos establecidos bajo las condiciones que se describen en el siguiente cuadro.

Cuadro 4-3 Condiciones de Operación en Planta Modelo

Item	Condición / Resultado
Volumen de tratamiento (solución de descarte)	• Capacidad de tratamiento mayor de 100m ³ /día • Capacidad estimada: 176m ³ /día
Lodos de bacteria	• ¼ del volumen de tratamiento
Adición de nutriente	• Concentración con respecto a la solución de descarte: 2.5mg/L
Adición de floculante polimérico	• Concentración con respecto a la solución de descarte: 5mg/L
pH de neutralización con carbonato de calcio	• pH de neutralización: 3.5-4 • Consumo promedio: 17g/L
pH de neutralización con cal apagada	• pH de neutralización: 8-9 • Consumo promedio: 12g/L

(3) Resultados de Operaciones en Planta Modelo

- 1) Los costos de reactivos se estimaron en 115US\$/día al tratar 100m³/día de solución de descarte.
- 2) De los resultados de pruebas realizadas por la contraparte chilena, el reciclaje de solución tratada en planta modelo al proceso de lixiviación no afecta negativamente a la extracción del cobre. Asimismo, se demostró que la utilización de solución oxidada en planta modelo mejora la extracción del cobre.
- 3) Se generaron 12.5tmh/día (8.5m³/día) de torta de filtración al tratar 100m³/día de solución de descarte. La humedad de esta torta resultó ser de 47.5%.

(4) *Modus Operandi* de la Planta Modelo en Adelante

Se propone a continuación el *modus operandi* de la planta modelo bajo el concepto de uso

eficiente y económico. Sin embargo, para ello se requiere de complementos en accesorios que se citan en el capítulo 5.

- 1) Establecimiento al máximo volumen de tratamiento (citado arriba) de acuerdo a su calidad (estimada).
- 2) El valor estimado de precipitados de neutralización con carbonato de calcio (torta de filtración) a generarse al tratar $176\text{m}^3/\text{día}$ de solución de descarte es de $10.7\text{tms}/\text{día}$. Si la humedad de torta fuese 47.5%, el valor estimado sería $20.4\text{tmh}/\text{día}$. En consecuencia, se adhiere $9.7\text{t}/\text{día}$ de agua al sedimento que salen del sistema. Esta cantidad de agua representa más del 5% del volumen de solución de descarte tratada en la planta modelo. Esta cantidad servirá para mitigar parcialmente la acumulación de metales en el sistema y al metabolismo bacteriano. Por ende, se infiere que no es rigurosamente necesario neutralizar la 1/10 parte de la solución tratada con cal apagada para regular su pH. El proceso de regulación de pH será necesario solamente en los casos de exceso de Zn, Mn y otros elementos nocivos para la actividad bacteriana.
- 3) No es necesario neutralizar totalmente al Fe con carbonato de calcio, ya que se ha demostrado mediante las pruebas de lixiviación, que en cantidades adecuadas de sulfato ferroso mejora la extracción del cobre contenido en el mineral. Asimismo, es más económico no neutralizar en su totalidad. No obstante, si se requiriera clarificar la solución tratada ó prevenir atoros en las tuberías de reciclaje hacia el proceso de lixiviación, será necesario neutralizar totalmente al Fe regulando el pH a 4.0.

4.4 Situación Actual y Proyección Futura de la Planta Modelo

Durante el último estudio in situ se verificaron los siguientes aspectos:

(1) Situación Actual

Previamente la solución rica de lixiviación era distribuida a los procesos de precipitación y producción de sulfato de cobre, asimismo, la solución de descarte del proceso de precipitación distribuida a la planta modelo y las pozas de evaporación. Actualmente, se ha paralizado la producción de sulfato de cobre y se ha dejado de enviar la solución de descarte a las pozas de evaporación. En consecuencia, parte de la solución de descarte es tratada en la planta modelo y reciclada al circuito de lixiviación, y el resto reciclado también al circuito de lixiviación sin tratamiento. Razón por la cual, las concentraciones de Fe y metales pesados han aumentado considerablemente. En la Figura 4-17 se muestra los datos de calidad de aguas registrados recientemente.

A continuación se muestra los datos de operación de la planta modelo como volumen de tratamiento y volumen de reciclaje al circuito de lixiviación.

- Volumen de solución de descarte: $220\text{m}^3/\text{día}$
- Volumen de tratamiento en planta modelo: $50\text{m}^3/\text{día}$
- Volumen de reciclaje directo al circuito de lixiviación: $170\text{m}^3/\text{día}$
- Concentración de Fe^{2+} en la alimentación al tanque de oxidación: 57.3g/L

- Concentración de Fe^{2+} a la salida del tanque de oxidación: 0.9g/L

Como se muestra arriba, la concentración de Fe^{2+} está próxima al valor de saturación, no obstante, la oxidación bacteriana se encuentra vigente.

(2) Proyección Futura

Los costos de operación de la planta modelo incluyendo los costos de mano de obra oscilan entre US\$13,000 y US\$15,000; requiriéndose su reducción. Se está realizando pruebas en planta para modificar el reactivo de neutralización del actual carbonato de calcio a soda cáustica. Los objetivos de estas pruebas consisten en producir sulfato férrico comerciable como floculante inorgánico, a partir de hidróxido férrico, sin contenido de yeso, disolviéndolo en ácido sulfúrico.

4.5 Items de Transferencia de Tecnología

Se realizaron actividades de transferencia de tecnología en los siguientes temas relacionados con oxidación bacteriana.

(1) Metodología de cultivo de bacterias ferro-oxidantes

- 1) Cultivo en líquido
- 2) Cultivo en petri
- 3) Cultivo (almacenamiento) iterativos (subcultura)

(2) Metodología de cuantificación de bacterias ferro-oxidantes

- 1) Cuantificación directa
- 2) Cuantificación de incubación

(3) Pruebas de oxidación continua utilizando bacterias ferro-oxidantes

- 1) Cultivo en masa de muestras bacterianas
- 2) Elaboración de portadores
- 3) Metodología, establecimiento de condiciones de pruebas, toma e interpretación de datos

(4) Pruebas de neutralización

- 1) Elaboración de curvas de neutralización
- 2) Requerimiento de neutralizante y generación de sedimentos
- 3) Pruebas de sedimentación
- 4) Pruebas de secado

(5) Pruebas en planta mediante planta modelo de tratamiento de solución de descarte

- 1) Establecimiento de condiciones
- 2) Metodología de análisis
- 3) Toma e interpretación de datos



1) Efluente proceso precipitación



2) Proceso oxidación bacteriana



3) Tanque oxidación bacteriana



4) Solución oxidada



5) Torta filtoprensa



6) Lodo bacteria y sedim. neutralización



7) Soluciones descarte y tratada



8) Reutilización en circuito lixiviación

5 . Planeamiento de la Planta a Escala de Tratamiento de Solución de Descarte

5 . Planeamiento de la Planta a Escala de Tratamiento de Solución de Descarte

5.1 Condiciones Previas para el Análisis de Planta a Escala

5.1.1 Capacidad de Tratamiento de la Planta a Escala

La generación de solución de descarte del proceso de lixiviación de la planta Ovalle es de 250m³/día para un nivel de procesamiento de 6,000t/mes de mineral crudo. La capacidad de procesamiento de esta planta es de 14,000t/mes, es decir, se generaría aproximadamente 600m³/día de solución de descarte si se operara hasta este nivel. Sin embargo, debido a la caída de los precios del cobre en los últimos años, el abastecimiento de los minerales se ha reducido drásticamente. Razón por la cual, actualmente se procesa aproximadamente 6,000t/mes, siendo el máximo abastecimiento estimado en 8,000t/mes.

Por ello, el análisis de capacidad de la planta a escala se hará teniendo en cuenta estos aspectos, es decir, se analizará para 2 casos: uno para 8,000t/mes y otro para 14,000t/mes de procesamiento de minerales. En el Cuadro 5-1 se muestra los volúmenes de generación de solución de descarte para cada caso.

Cuadro 5-1 Volumen de Generación de Solución de Descarte por Caso

	Procesamiento de minerales	Generación de solución de descarte
Situación actual	6,000 t/mes	250 m ³ /día
Caso 1	8,000 t/mes	330 m ³ /día
Caso 2	14,000 t/mes	600 m ³ /día

5.1.2 Características de la Solución de Descarte

Los datos de las concentraciones de Fe²⁺ obtenidas de las pruebas en planta modelo varían ampliamente como se muestra en el Cuadro 5-2.

Cuadro 5-2 Parámetros de Diseño: Características de Solución de Descarte (Unidad: g/L)

pH	Fe ²⁺	Fe-T	Cu	Mn	Zn	Al
3.3	17.02	20.66	0.108	0.507	0.208	2.77

5.1.3 Cinética de Oxidación

Se ha determinado como 1.0g/L-h, considerando los resultados de cinética de oxidación, en el tanque A de las pruebas en planta modelo.

5.1.4 Generación de Sedimentos

Se ha determinado como 8.54m³/día en volumen o 12.46tmh/día en peso para 100m³/día de

tratamiento, considerando los resultados de las pruebas en planta modelo, citadas en el capítulo 4.

Asimismo, la humedad promedio es de 47.5%.

5.1.5 Flujo del Proceso de Tratamiento

De los resultados de las pruebas en planta modelo, la planta a escala prescindirá del proceso de regulación de pH. De lo anterior el diagrama de flujo simplificado de la planta a escala es como se muestra en la Figura 5-1.

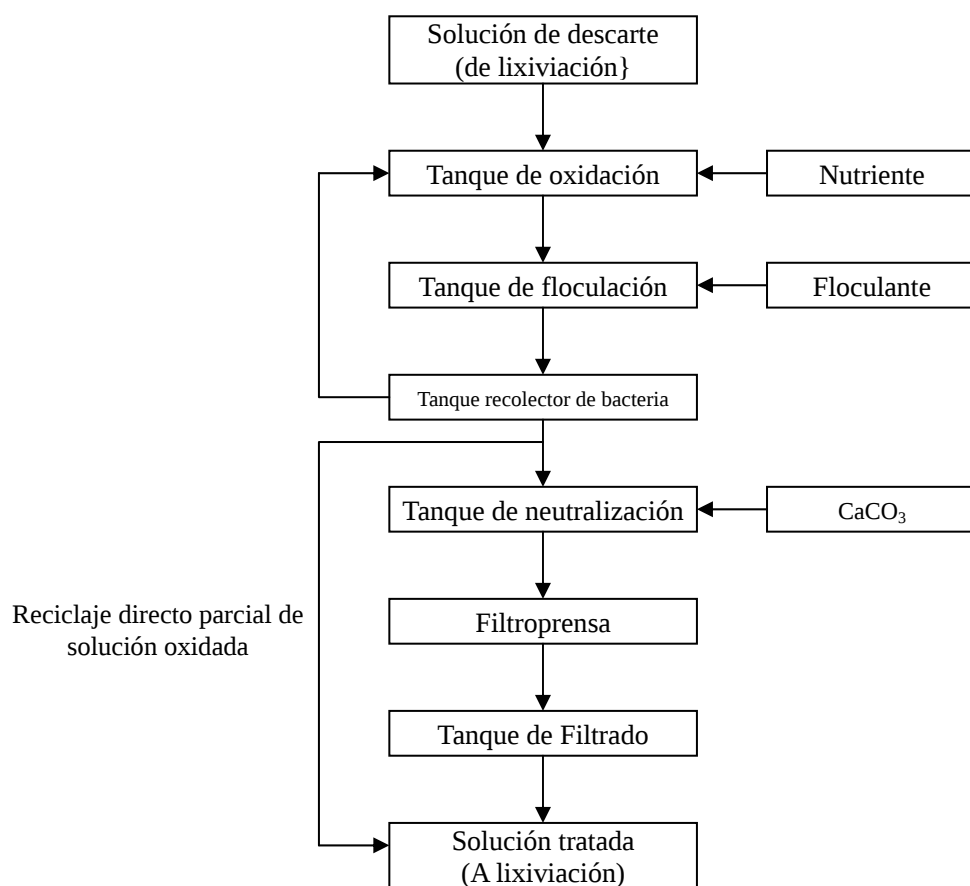


Figura 5-1 Flujo Simplificado de la Planta a Escala

5.1.6 Capacidad de Tratamiento de la Planta Modelo

Los parámetros de diseño para la planta modelo fueron los valores que se muestran en el Cuadro 5-3, sin embargo, la concentración de Fe^{2+} actualmente ha resultado ser casi la mitad de lo esperado, siendo solamente de 17.02g/L.

Cuadro 5-3 Parámetros de Diseño de Planta Modelo: Características de Solución de Descarte (Unidad: g/L)

pH	Fe ²⁺	Fe-T	Cu	Mn	Zn	Al
3.7	30	30	0.26	0.97	0.24	9.7

Asimismo, la generación de la torta de filtración ha resultado ser menos de la mitad estimada para la planta modelo, siendo el total generado entre los lodos de bacteria excedentes y los precipitados de neutralización y regulación de pH, de 12.46tmh/día del 31.5tmh/día original. En consecuencia, del análisis de la capacidad de generación de la solución de descarte actual, se ha verificado la viabilidad de tratar hasta 176m³/día en planta modelo realizando ampliaciones relativamente simples. Estas ampliaciones consisten en intercambiar las bombas de alimentación de la solución de descarte y de reciclaje de solución tratada al circuito de lixiviación con otras de mayor capacidad de flujo.

Cuadro 5-4 Modificaciones en Planta Modelo

No.	Denominación	Planta Modelo Existente			Planta Modelo Adaptada	
		Especificaciones	Potencia (KW)	Unid.	Especificaciones	
P1	Bomba de solución de descarte	Tipo: bomba centrífuga Capacidad: 84L/min×20mH Material: superficie contacto: SUS316,SCS14	1.5	1	Requiere modificación: Adaptación para capacidad de 176m³/día. En consecuencia: 123L/min×20mH × 2.2kw Asimismo, requiere adaptación de tubería y flujómetro.	
P10	Bomba de descarga de neutralización	Tipo: bomba centrífuga Capacidad: 100L/min×20mH Material: superficie contacto: SUS316,SCS14	2.2	1	Requiere modificación: Se requiere una capacidad de 1200L/min debido al déficit de capacidad del tanque de solución filtrada por la descarga de 32m³ en filtroprensa. Asimismo, deberá cumplir la función de enviar directamente la solución tratada al circuito de lixiviación, debido al desuso de circuito de regulación de pH. En consecuencia: 1200L/min×45mH × 2.2kw Asimismo, requiere adaptación de tubería.	

5.1.7 Capacidad Requerida de las Instalaciones

Del análisis del acápite 5.1.6 es posible aumentar la capacidad de tratamiento a 176m³/día con modificaciones simples a la planta modelo. En consecuencia, la capacidad adicional complementaria se muestra en el siguiente cuadro.

Caso 1: procesamiento de minerales: 8,000t/mes (en función a la máxima capacidad de abastecimiento de mineral)	154 m ³ /día
Caso 2: procesamiento de minerales: 14,000t/mes (en función a la capacidad instalada de la planta de procesamiento de minerales)	424 m ³ /día

En el siguiente acápite se presenta el diseño conceptual para cada caso.

5.2 Diseño Conceptual de la Planta a Escala

5.2.1 Caso1 (procesamiento de minerales: 8,000t/mes (en función a la máxima capacidad de abastecimiento de mineral))

Como se muestra en el acápite 5.1.7, el caso 1 requiere el complemento de capacidad de $154\text{m}^3/\text{día}$ (capacidad de tratamiento total: $330\text{m}^3/\text{día}$), y por otro lado, que la capacidad del filtro prensa se abastece sin necesidad de modificación; por ende es suficiente una ampliación adyacente a la actual planta modelo, logrando economía y facilidad de operación. En consecuencia, se analizó una modificación de la planta modelo existente sin recurrir a una nueva construcción.

(1) Análisis de Capacidad de los Equipos

Se analizaron las capacidades de cada uno de los equipos de la actual planta modelo, con el objeto de obtener los requerimientos de ampliación, modificación o adición de éstos. Los resultados se muestran en el Cuadro 5-5. (Los equipos que requieren ampliación están denotados con la letra “N” en su respectiva numeración.)

Cuadro 5-5 Lista de Equipos de Ampliación: Caso 1

No.	Denominación	Especificaciones	Potencia (KW)	Unidades	Observaciones
	(Proceso de Oxidación)	Tipo: cilíndrico			
P1	Bomba de solución de descarte	Tipo: bomba centrífuga Capacidad: 230L/min×20mH Material: superficie contacto: SUS316,SCS14	2.2	1	Modificación del equipo instalado en planta modelo.
T2-N	Tanque de oxidación	Tipo: cilíndrico (con deflectores) Capacidad: 75 m ³ Material: FRP Dimens.: 4290 ϕ ×5900H		2	
T4-N	Colector de bacteria	Tipo: cilíndrico Dimens.: 2600 ϕ ×2500H Material: FRP Accesorio: rastra	0.75	1	
B1-N	Soplador de oxidación	Tipo: soplador roots (aire forzada) Capacidad: 12.95 m ³ /min×7000mmAq Material: FC, etc.	30 0.2	1	
T5-N	Tanque de almacenamiento de bacteria	Tipo: cilíndrico (con deflectores) Capacidad: 1.8 m ³ Material: FRP Dimens.: 1300 ϕ ×1650H		1	

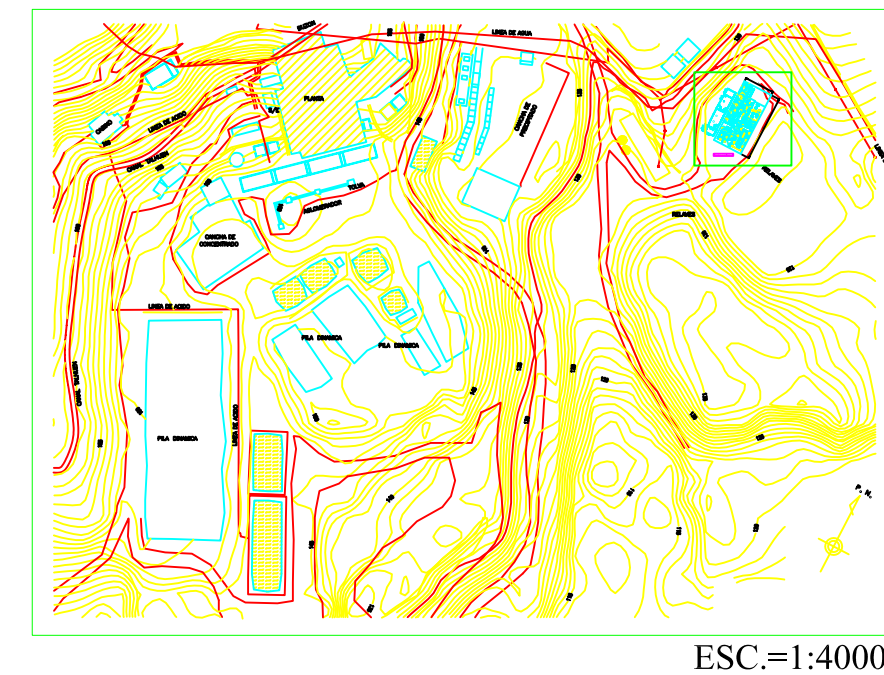
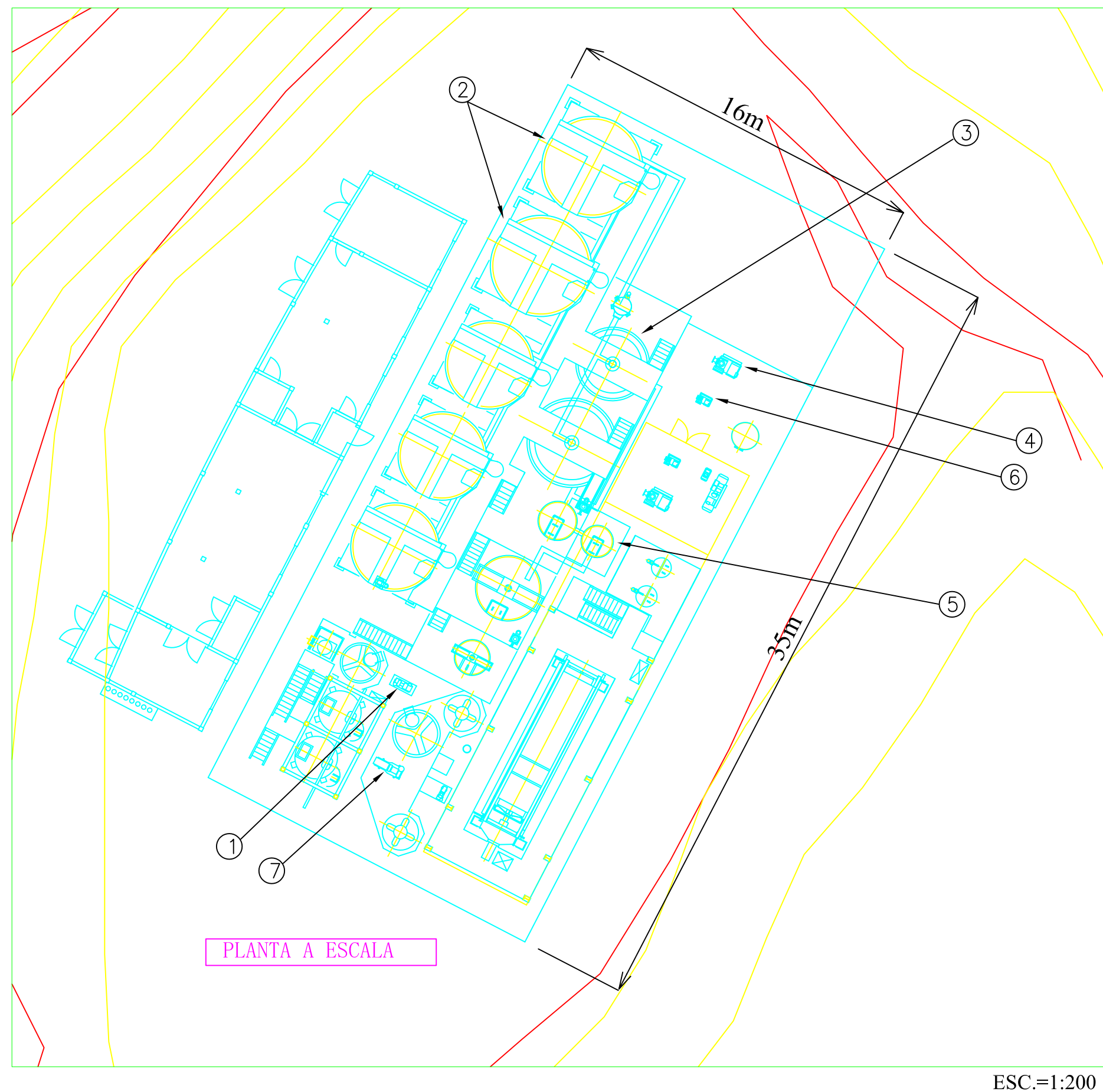
No.	Denominación	Especificaciones	Potencia (KW)	Unidades	Observaciones
M2-N	Agitador para tanque de almacenamiento de bacteria	Tipo: impulsor de paleta Material: superficie contacto: SUS316 Uso: prevención de sedimentación Otros: marcha blanca	1.5	1	
P3-N	Bomba de alimentación de bacteria	Tipo: bomba centrífuga Capacidad: 300L/min×40mH Material: superficie contacto: FC+R/L	11	1	Adaptación de la bomba del circuito de regulación de pH de la planta modelo.
	(Proceso de Neutralización)				
T11-N	Tanque de neutralización	Tipo: cilíndrico (con deflectores) Capacidad: 6.4 m ³ Material: FRP Dimens.: 1350 φ ×5150H		1	
B2-N	Soplador de neutralización	Tipo: soplador roots Capacidad: 0.67 m ³ /min×6000mmAq Material: FC, etc.	3.7	1	
P10	Bomba de descarga de neutralización	Tipo: bomba centrífuga Capacidad: 1200L/min×45mH Material: superficie contacto: SUS316,SCS14	22	1	

(2) Flujo del Proceso

En la Figura 5-2 adjunta se muestra el flujo del proceso incluyendo a la planta modelo.

(3) Plan de Distribución en Planta

En la Figura 5-3 adjunta se muestra el plan de distribución en planta simplificado incluyendo a la planta modelo.



1	P 1	Bomba de Solución de Descarte (Modificación)
2	T 2 - N	Estanques de Oxidación (Nueva)
3	T 4 - N	Espesador Recuperador de Bacterias (Nueva)
4	B 1 - N	Compresor de Oxidación (Nueva)
5	T 1 1 - N	Estanques de Neutralización (Nueva)
6	B 2 - N	Compresor de Neutralización (Nueva)
7	P 1 0	Bomba de Transporte Post Neutralización (Modificación)

Figura 5-3 Distribución en Planta de la Planta a Escala (Caso 1)

5.2.2 Caso 2: procesamiento de minerales: 14,000t/mes (en función a la capacidad instalada de la planta de procesamiento de minerales)

Como se muestra en el acápite 5.1.7, el caso 2 requiere el complemento de capacidad de 424m³/día (capacidad de tratamiento total: 600m³/día), y por otro lado, se requiere adicionar un filtro prensa y ampliación del circuito de oxidación; por ende consiste de una ampliación mayor que una extensión de la planta modelo existente. En consecuencia, se ha analizado la construcción de la ampliación sobre un área próxima a la actual planta modelo.

(1) Análisis de Capacidad de los Equipos

Se analizaron las capacidades de cada uno de los equipos de la actual planta modelo, con el objeto de obtener los requerimientos de ampliación, modificación o adición de éstos. Los resultados se muestran en el Cuadro 5-6.

Cuadro 5-6 Lista de Equipos de Ampliación: Caso 2

No.	Denominación	Especificaciones	Potencia (KW)	Unidades	Observaciones
T2	Tanque de oxidación	Tipo: sección rectangular (4 compartimientos) Capacidad: 413 m ³ Material: RC+FRP/L		1	
T4	Colector de bacteria	Tipo: cilíndrico Dimens.: 4800 ϕ × 2500H Material: FRP Accesorio: rastra	1.5	1	
B1	Soplador de oxidación	Tipo: soplador roots (aire forzada) Capacidad: 37.2 m ³ /min×7000mmAq Material: FC, etc.	75 0.75	1	
T11	Tanque de neutralización	Tipo: cilíndrico (con deflectores) Capacidad: 20.4 m ³ Material: FRP		1	
F1	Alimentador de neutralizante	Tipo: alimentador sinfin (tolva: 10m ³) Capacidad: 3500kg/h Material: SS Accesorio: aire comprimido, filtro de saco	3.7 0.75	1	
B2	Soplador de neutralización	Tipo: soplador roots Capacidad: 2.2 m ³ /min×6000mmAq Material: FC, etc.	7.5	1	
FP1	Filtro prensa	Tipo: automática Capacidad: área de filtración: 203 m ² Material: marco y placa: PP, lecho: FC+R/L, etc. bandeja de goteo: SUS316	5.5	1	

(2) Flujo del Proceso

En la Figura 5-4 adjunta, se muestra el flujo del proceso incluyendo a la planta modelo.

(3) Plan de Distribución en Planta

En la Figura 5-5 adjunta, se muestra el plan de distribución en planta simplificado incluyendo a la planta modelo.

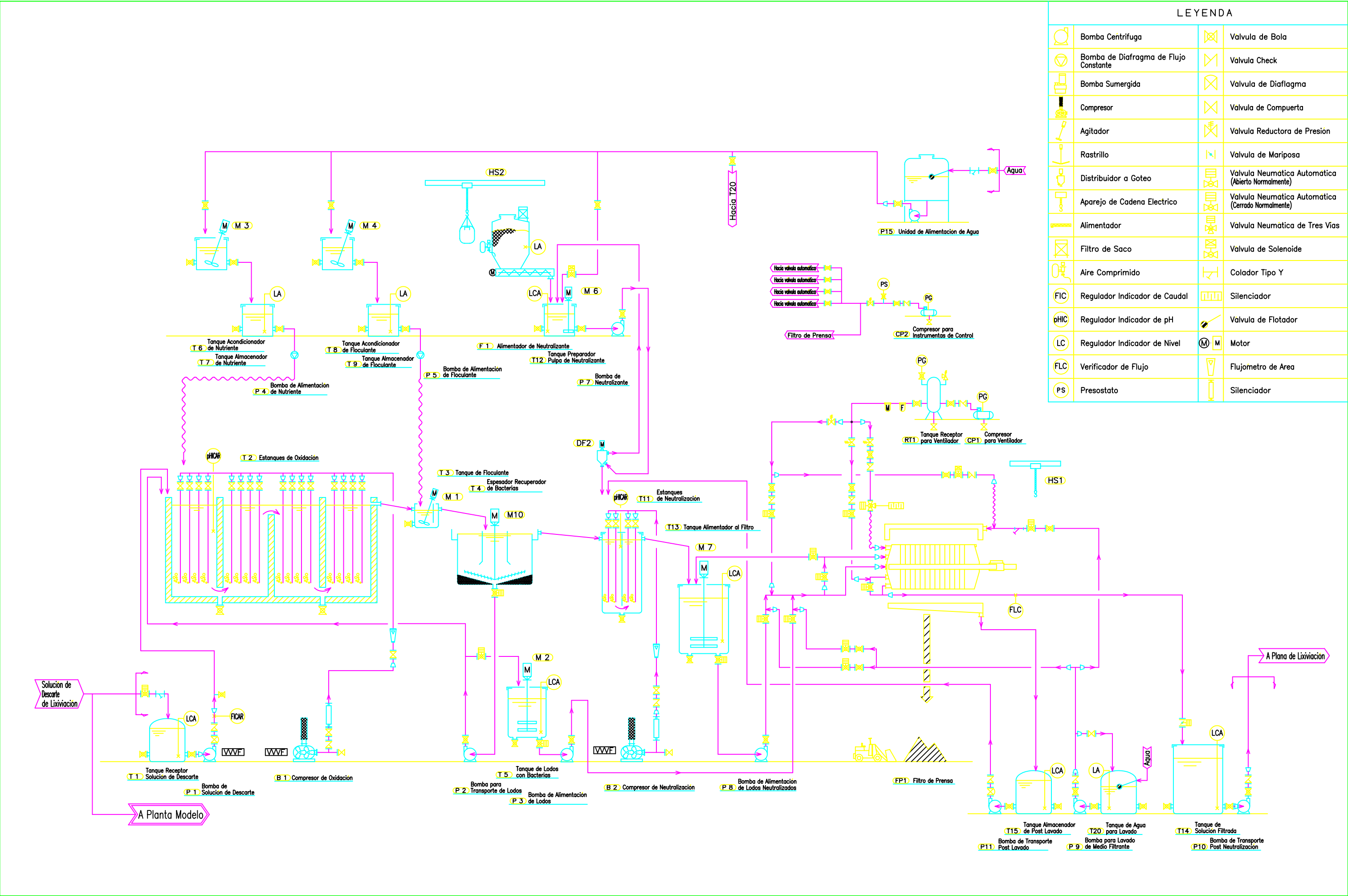
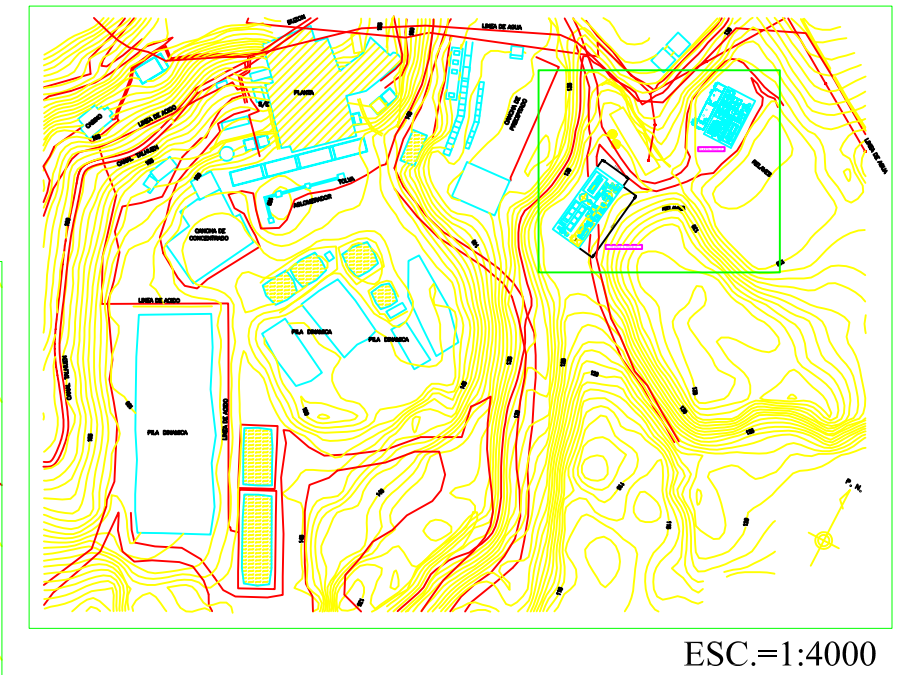
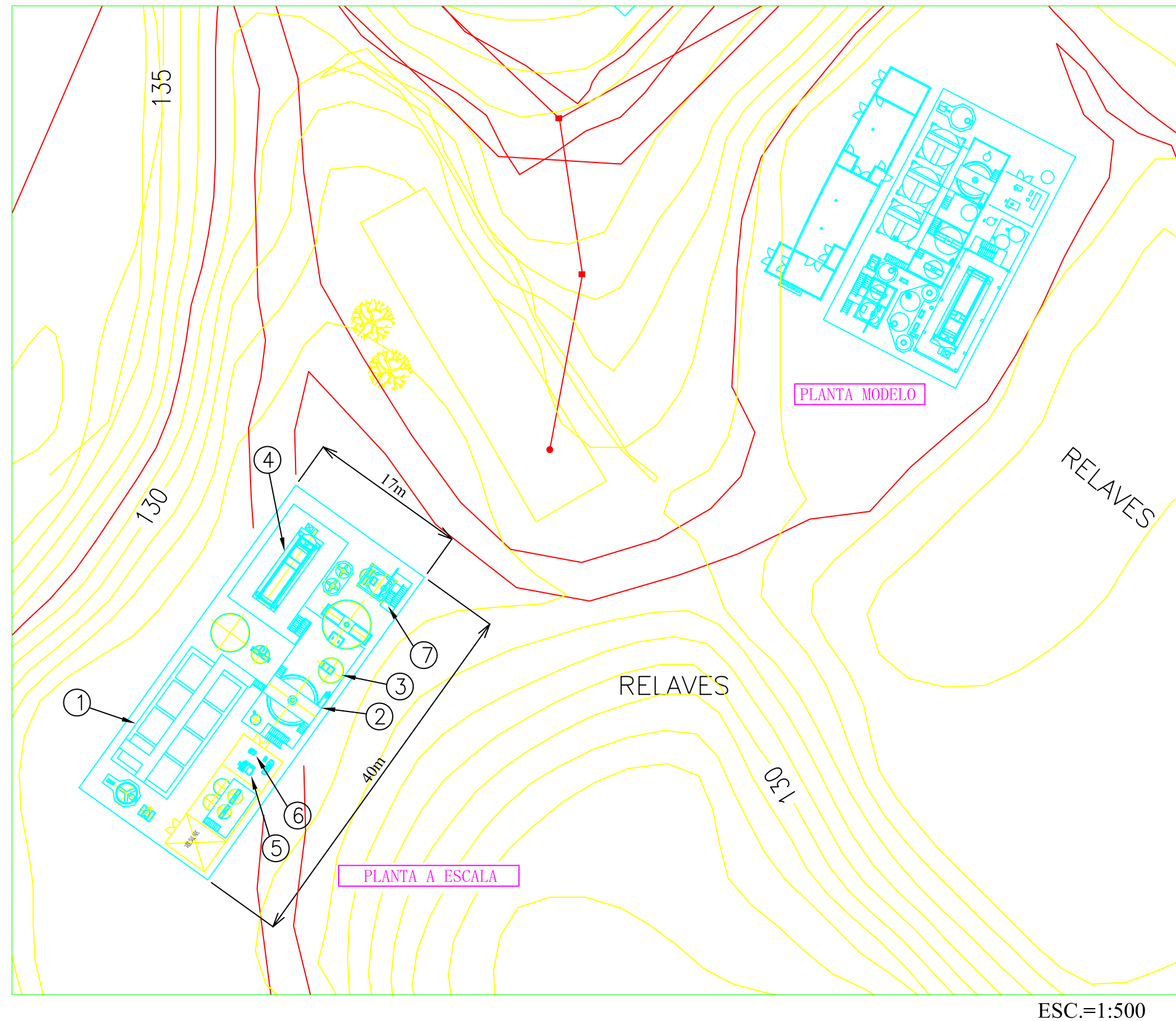


Figura 5-4 Diagrama de Flujo de la Planta a Escala (Caso 2)



1	T 2	Estanques de Oxidación
2	T 4	Espesador Recuperador de Bacterias
3	T 1 1	Estanques de Neutralización
4	FP 1	Filtro de Prensa
5	B 1	Compresor de Oxidación
6	B 2	Compresor de Neutralización
7		Instalación de Alimentación de Neutralizante

Figura 5-5 Distribución en Planta de la Planta a Escala (Caso 2)

5.3 Cálculo de Costos

Se estimaron la inversión para la infraestructura y los costos de operación basados en los resultados del análisis anterior. Para el Caso 1, se estimaron los costos requeridos en la ampliación de la planta modelo. Asimismo, se estimaron los costos de adecuación para el aprovechamiento máximo de la planta modelo.

5.3.1 Costos de Infraestructura

A continuación se detalla la estimación de los costos de infraestructura.

(Unidad: US\$)

	Adecuación de planta modelo para alcanzar la máxima capacidad de tratamiento 176m ³ /día	Caso 1: capacidad de tratamiento 330m ³ /día	Caso 2: capacidad de tratamiento 600m ³ /día
Equipos	35,000	282,000	1,245,000
Sistema eléctrico	4,000	47,000	354,000
Movimiento tierras	0	48,000	416,000
Construcción	0	22,000	110,000
Total	39,000	399,000	2,125,000

5.3.2 Costos de Operación

A continuación se muestra la estimación de los costos operativos.

(Unidad: US\$/año)

	Adecuación de planta modelo para alcanzar la máxima capacidad de tratamiento 176m ³ /día	Caso 1: capacidad de tratamiento 330m ³ /día	Caso 2: capacidad de tratamiento 600m ³ /día
Reactivos	67,000	126,000	228,000
Electricidad	26,000	38,000	83,000
Mano de obra	40,000	40,000	40,000
Mantenimiento	49,000	58,000	96,000
Total	182,000	262,000	447,000

Para los valores del reactivo se emplearon los siguientes datos. Ver capítulo 4 para los requerimientos de reactivos.

Carbonato de calcio: 0.0589 US\$/kg

Nutriente: 4.61 US\$/kg

Floculante: 4.428 US\$/kg

El costo de electricidad se estableció en 0.052US\$/KwH

Los costos de mano de obra corresponden a valores vigentes en la planta modelo.

Los costos de mantenimiento se establecieron como el 3% del costo de la infraestructura (equipos + sistema eléctrico). Para el caso de la planta modelo se estableció su costo en US\$1,600,000.

6 . Estudio de Factibilidad de la Planta a Escala de Tratamiento de Solución de Descarte

6 . Estudio de Factibilidad de la Planta a Escala de Tratamiento de Solución de Descarte

6.1 Antecedentes

La planta Ovalle de ENAMI produce como uno de sus productos principales, precipitados de cobre a partir de minerales óxidos. El proceso consiste de precipitación con intercambio iónico cobre-hierro de la solución rica obtenida mediante lixiviación ácida; generando en él, residuos líquidos con alto contenido de sulfato de hierro. Este residuo líquido (en adelante solución de descarte), es tratado mediante su disposición en las pozas de evaporación, de modo que la parte líquida es evaporada a la atmósfera y la sólida sedimentada. Sin embargo, debido a que parte de esta solución es infiltrada hacia el subsuelo y luego emanada al estero El Ingenio que cursa alrededor de la planta, es causante de contaminación de aguas y suelos.

Comúnmente, esta inconveniencia es resuelta mediante la impermeabilización de las paredes de las pozas de evaporación, no obstante, para el caso de Ovalle, sería una solución parcial, ya que se encuentra en una zona expuesta a riesgos sísmicos y desbordamiento de las aguas del estero. En consecuencia, se realizaron pruebas de aplicabilidad del tratamiento de la solución de descarte mediante oxidación bacteriana y neutralización, a través de pruebas piloto en una planta modelo construida durante el presente estudio. Como resultado de estas pruebas se constató la viabilidad de su aplicación lográndose transferir la tecnología de operación compatible con el medio ambiente, en el procesamiento de minerales óxidos de la planta Ovalle, obteniéndose sedimentos estables fisicoquímicamente y la posibilidad de reciclaje de la solución tratada hacia el circuito de lixiviación.

Por otro lado, como iniciativa propia de la contraparte chilena, se instaló una planta piloto, anexa al proceso de lixiviación para la producción de sulfato de cobre pentahidratado a partir de la solución rica de lixiviación, con la finalidad de disminuir la generación de solución de descarte, así como de diversificar su producción.

En efecto, el estudio de factibilidad se realizó para los siguientes niveles de procesamiento de minerales óxidos de cobre, incluyendo el escalamiento de la planta modelo de tratamiento de solución de descarte:

- 6,000tms/mes de mineral crudo.
- 8,000tms/mes de mineral crudo.
- 14,000tms/mes de mineral crudo.

Con el incremento del procesamiento por encima de los 6,000tms/mes, debido al incremento del volumen a tratar de ésta, se requiere invertir en la ampliación de la planta de tratamiento de solución de descarte.

La evaluación tanto privada como social, se realizó bajo “Normas y Procedimientos para la Presentación de Antecedentes de Proyectos de Inversión de CODELCO-Chile y de ENAMI para el año 2003”, considerando los efectos del diagnóstico de operaciones y ambientales del presente estudio.

6.2 Procedimiento de Aprobación de Proyectos

Los proyectos de ENAMI son elaborados de acuerdo a las normas internas y evaluados por el directorio su viabilidad económica y técnica. Luego, son elevados simultáneamente a COCHILCO y MIDEPLAN para su aprobación. De ser aprobada por estas instituciones, a través del Ministerio de Hacienda son presentados al Congreso como parte del presupuesto del Ministerio de Minería correspondiente al período fiscal. De una parte COCHILCO enfatiza la factibilidad técnica y financiera basada en la estimación del precio del cobre; y de otra MIDEPLAN, la compatibilidad con otros sectores de la actividad económica dentro del marco de desarrollo sustentable de los recursos naturales.

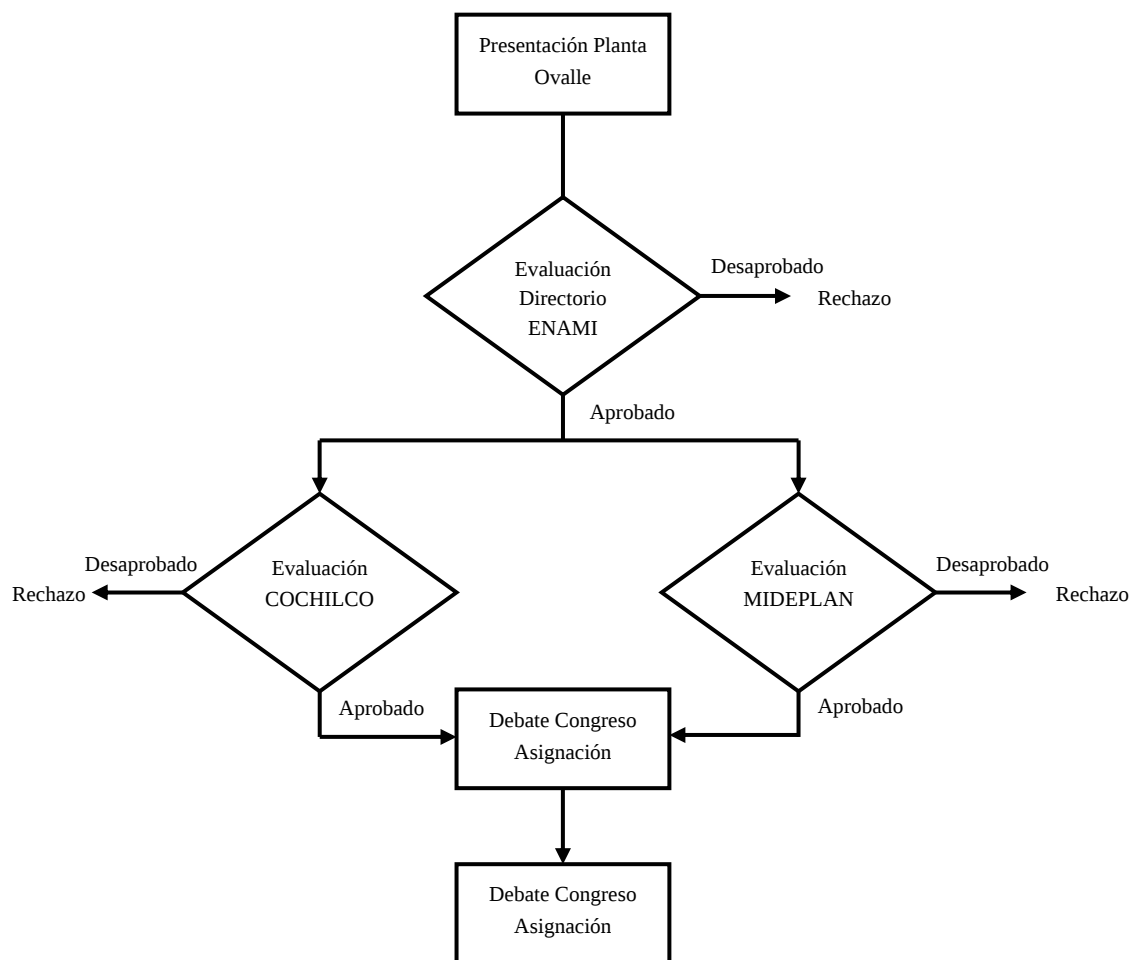


Figura 6-1 Procedimiento de Aprobación de Proyectos en ENAMI

6.3 Producción y Mercado

6.3.1 Oferta y Demanda

A continuación se describe la situación del mercado de precipitado de cobre y sulfato de cobre pentahidratado producidos en el procesamiento de minerales óxidos de la planta Ovalle.

(1) Precipitado de Cobre

La ley de cobre de este producto oscila entre 65 y 85%, y para su comercialización requiere darle valor agregado mediante tratamiento pirometalúrgico. A pesar de su alta ley con respecto al aproximadamente 25% que posee el concentrado -que se trata en forma conjunta en el proceso de fundición-, es un producto no muy apreciado debido a su baja composición en azufre, siendo inadecuado para la reacción exotérmica que se requiere.

Sin embargo, en las fundiciones de ENAMI es adicionado en pequeñas proporciones a los hornos convertidores PS (*Pierce-Smith*), cumpliendo la función de regular la temperatura de operación, aparte de contribuir en la recuperación del cobre. La capacidad de asimilación en la refinería Ventanas es de 5,000tms/año, y en Paipote 6,000tms/año. Aunado este total de 11,000tms/año, los requerimientos de terceros, es posible estimar la demanda interna chilena en aproximadamente 12,200tms/año. Asimismo, siendo un producto no transable, inferir que esta demanda es la total.

En contrapartida, la estructura de la oferta del precipitado de cobre está constituida por las plantas de ENAMI, pequeños y medianos productores sustentados y productores independientes. La oferta del precipitado de cobre ha disminuido correlacionado a la cotización del cobre.

Durante el año 2000, ENAMI abarcó el 62% de la oferta, y la diferencia de 38% por terceros. Asimismo, es posible estimar la capacidad de producción de las plantas de ENAMI en 11,800tms/año, del 45% en la tasa de operación reportada en el mismo período. Sin embargo, debido a la reducción del abastecimiento de minerales crudos por parte de la pequeña y mediana minería de las respectivas circunscripciones, se ha visto reducidas las tasas de operación en sus plantas, como efecto de las bajas cotizaciones del cobre.

Por otro lado, en la planta El Salado, que cubre el 24% de la oferta de precipitados de cobre, se está planeando el cambio de proceso hacia la aplicación del método extracción por solventes - electrodeposición (*SX-EW*), con la finalidad de producir cobre electrolítico. Cuenta con una planta de *SX-EW* de 55t/mes capacidad instalada, la cual ha logrado producir cobre de 99.996% de pureza.

En consecuencia, de mantenerse la capacidad de asimilación del precipitado de cobre en las fundiciones de ENAMI y de plasmarse la reducción de producción de éste en la planta El Salado, es posible estimar que un plan de incremento de producción de precipitados de cobre en la planta Ovalle, es factible. Es decir, es posible desarrollar una demanda para las 3,200tms/año, capacidad máxima de producción de precipitado de cobre de la planta Ovalle.

(2) Sulfato de Cobre Pentahidratado

La fórmula química de este producto es $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, siendo su contenido de cobre de 26% en peso. En la planta Ovalle se producen actualmente 40tm/mes, siendo exportados a Rumania a través de un agente a un precio ex-work de 98¢/lb_{Cu}. Su costo de producción asciende a 280US\$/tmsulfato y se reporta un mercado potencial de 100tm/mes.

La demanda mundial se estima en 200,000tm/año y las $\frac{3}{4}$ partes tienen uso agrícola, siendo la mayor parte como pesticidas. Asimismo, se informa que existen más de 100 productores¹⁾. Además, se aplica como electrolito para la refinación de cobre, material de recubrimiento en la galvanización de cobre, activador de flotación de plomo, zinc, cobalto y oro, elaboración de matrices de impresión de cobre, materia prima para pinturas antioxidantes y pigmento para vidrios, entre otros usos.

6.4 Plan de Ejecución

El plan de ejecución consiste de un año de construcción y 15 años de operación de la planta a escala de tratamiento de descarte; por ende, un proyecto de 16 años. De acuerdo al cálculo de reservas mineras explotables son para 11.1 años de operación; no obstante, en el presente proyecto se considera que se irán descubriendo minerales explotables constantemente de modo que sea posible continuar las operaciones sin interrupción.

Por otro lado, se ha excluido del presente análisis los efectos del cierre de la faena, ya que aun no se han establecido las normas de cierre de minas y ésta no afectará en la comparación de los tres casos a tratados.

La valorización de los ingresos de la planta Ovalle se basa en las normas internas de ENAMI, considerándola como una planta maquiladora que otorga valor agregado a los minerales crudos que procesa.

Asimismo, se incluye un análisis del valor agregado desde la extracción del mineral crudo hasta su conversión en cobre metálico comercial. Es decir, la cadena de producción incluyendo los procesos previos y posteriores a la planta Ovalle, con el objeto de verificar su participación en ella.

En la Figura 6-2 se muestra el diagrama de flujo del procesamiento de minerales óxidos de cobre del presente plan de ejecución.

¹⁾ Fuente: Technical Department, Copper Development Association Inc., U.K. “Uses of Copper Compounds”.

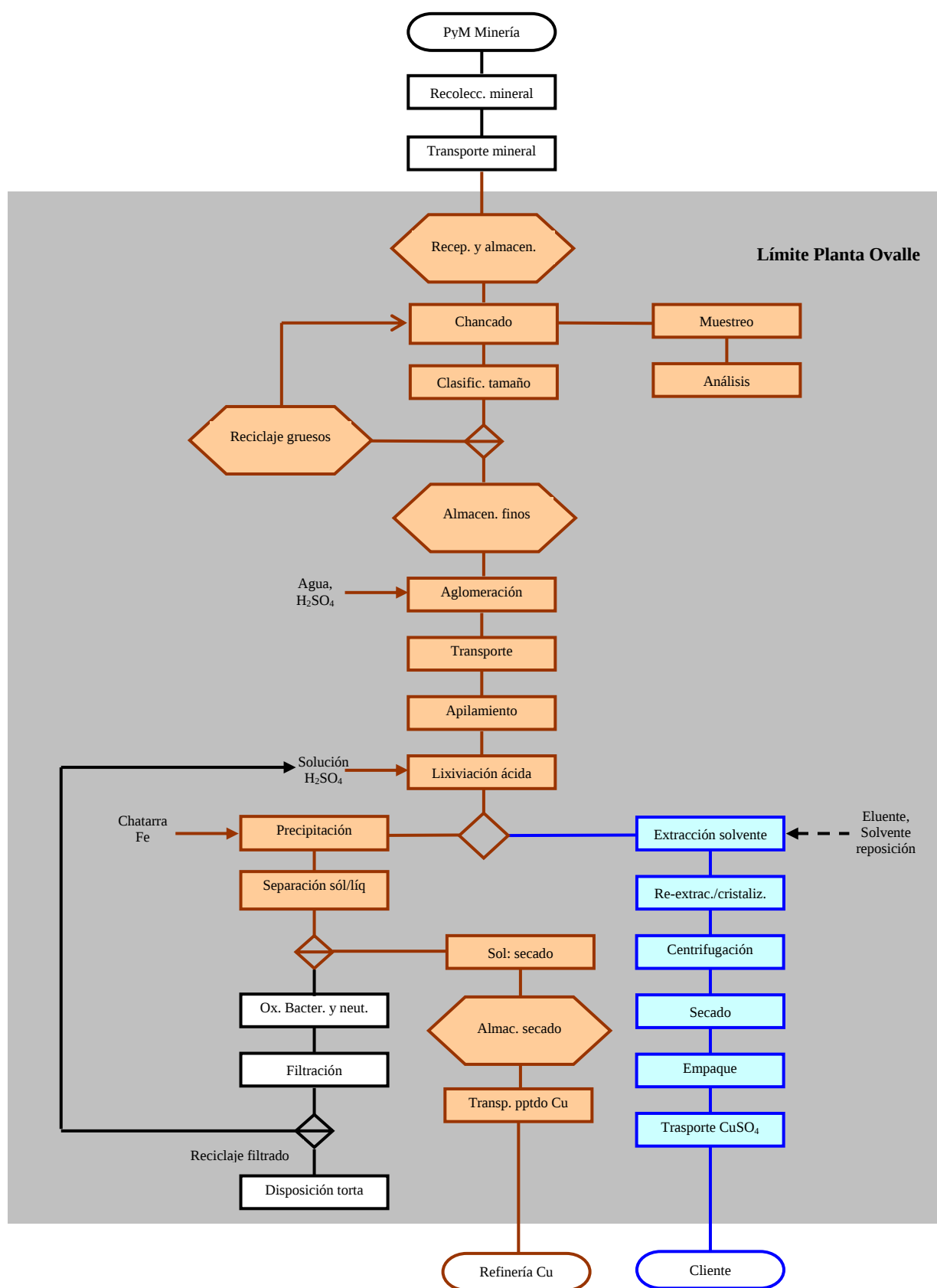


Fig. 6-2 Futuro Procesamiento de Minerales Oxidos de Cobre en la Planta Ovalle

6.5 Análisis Financiero

Se obtuvieron los VAN y TIR de los flujos de caja descontados al 14%.

Los resultados del análisis financiero se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 6-1 Resultados del Análisis Financiero

Proyecto Caso	Cotización Cu (¢/lb)	Inversión inicial (mil US\$)	Cash cost* (¢/lb)	VAN _{14%} (mil US\$)	TIR (%)
6,000tms sin proyecto	68.2180	139	63.03	-3,484	irracional
6,000tms mejorado	68.2180	139	59.43	-2,998	irracional
6,000tms mejorado	80.00	139	59.43	-2,913	irracional
6,000tms mejorado	92.00	139	59.43	-2,818	irracional
6,000tms mejorado	102.00	139	59.43	-2,740	irracional
8,000tms mejorado	68.2180	499	52.70	-3,114	irracional
8,000tms mejorado	80.00	499	52.70	-2,999	irracional
8,000tms mejorado	92.00	499	52.70	-2,868	irracional
8,000tms mejorado	102.00	499	52.70	-2,761	irracional
14,000tms mejorado	68.2180	2,225	43.93	-3,776	irracional
14,000tms mejorado	80.00	2,225	43.93	-3,567	irracional
14,000tms mejorado	92.00	2,225	43.93	-3,331	irracional
14,000tms mejorado	102.00	2,225	43.93	-3,137	irracional

* Cash Cost correspondiente al primer año del proyecto (Costos operativos menos depreciación y costos financieros) 【unidad en ¢/lb contenido Cu precipitado 】)

Como se observa en el anterior cuadro, todos los casos resultaron ser inviables. Se lograría una reducción del cash cost de aproximadamente 26% al aumentar la productividad del actual 6,000tms/mes a 14,000tms/mes; no obstante, no es suficiente para alcanzar el punto de equilibrio económico. La principal problemática consiste en los altos costos originados con la introducción de la planta de tratamiento de solución de descarte. Asimismo, del resultado del análisis de sensibilidad a la cotización del cobre, se observa que la fluctuación de este factor influye escasamente a los ingresos de la planta Ovalle bajo el vigente sistema de valorización de las operaciones. A pesar de un incremento en la cotización del cobre tan alto como del 50%, los efectos en el VAN fueron apenas entre 9 y 17%. Obviamente, el análisis del TIR resulta irrelevante.

Por otro lado, de acuerdo a las condiciones de adquisición de minerales óxidos y precipitados de cobre de ENAMI, el costo del mineral crudo según la tarifa base sería 17.31¢/lb; del mismo modo, los cargos por fundición y refinación, respectivamente 3.18¢/lb y 8.80¢/lb. En el siguiente cuadro se compila estos valores en forma conjunta con los cash cost de la planta Ovalle.

Cuadro 6-2 Valor Agregado en el Proceso de Producción de Cobre Metálico

	6,000tms/mes	8,000tms/mes	14,000tms/mes
Tarifa base mineral crudo (¢/lb)		17.31	
Cash Cost planta Ovalle (¢/lb)	59.43	52.70	43.93
Cargo fundición (¢/lb)		3.18	
Cargo refinación (¢/lb)		8.80	
Total (¢/lb)	88.72	81.99	73.22

Los valores totales del cuadro anterior son prácticamente los *cash cost* del proceso total para la obtención del cobre electrolítico en ENAMI; no obstante la diferencia con respecto a la metodología de análisis financiero descrito arriba, es posible inferir que la factibilidad de las operaciones del procesamiento de minerales óxidos de cobre en la planta Ovalle, depende de la tasa de operaciones. Es decir, la cotización del cobre requerida para un nivel de procesamiento de 6,000tms/mes es de 88.72¢/lb y para un nivel de 14,000tms/mes sería de 73.22¢/lb.

Asimismo, cabe hacer énfasis en que, los cargos por fundición para el precipitado de cobre de 3.18¢/lb es relativamente alto con respecto al correspondiente valor para el concentrado en función al contenido de cobre metálico de 1.00¢/lb. Esta diferencia de 2.18¢/lb es un factor que afecta considerablemente la continuidad de la producción de precipitados de cobre. Por otro lado, del presente análisis del valor agregado, se reconoció que la participación de costos de la planta Ovalle oscila entre 60 y 67% del total.

6.6 Análisis Económico

El análisis económico consiste en la evaluación social según las “Normas y Procedimientos para la Presentación de Antecedentes de Proyectos de Inversión de CODELCO-Chile y de ENAMI para el año 2003”, considerándose en él los conceptos de precios y tasa de descuento sociales; asimismo, la cuantificación de las externalidades del proyecto en la zona de influencia, resultado de aplicar una operación compatible con el medio ambiente en la planta Ovalle.

Como precios sociales se ajustaron los valores de ingresos generadores de divisas y costo de mano de obra semi-calificada con factores de 1.04 y 0.65 respectivamente. En consecuencia, los ingresos por las ventas de sulfato de cobre pentahidratado a Rumania y los costos de mano de obra directa para la producción fueron ajustados con sus correspondientes factores.

Además, se ajustaron los resultados del análisis financiero con una tasa de descuento social del 10%.

Por otro lado, se estimaron cuantitativamente, las externalidades producto del mejoramiento de la calidad de aguas y suelos post ejecución del plan de remediación de pasivos ambientales ocasionadas por las actividades pasadas en la planta Ovalle al cauce del estero El Ingenio.

En cuanto a la ejecución de este plan de remediación, se requiere una inversión total de US\$1,251,300. Sin embargo, las obras inherentes directamente al mejoramiento del estero son: impermeabilización de pozas de evaporación, disposición de sedimentos de hierro y restauración de suelos contaminados; es decir una inversión de US\$460,800.

A continuación se compilan las externalidades materia de adición.

- Valor actual neto de la externalidad producto de la revalorización de las 200Ha de terreno en la cuenca del estero El Ingenio.
- Anualidad de la externalidad pro mineros de la zona de influencia, producto de la permanencia de las operaciones de procesamiento de minerales óxidos en la planta Ovalle.
- Anualidad de la externalidad pro usuarios de agua en la cuenca del río Limarí, producto de la racionalización del recurso hídrico, mediante la reutilización de solución tratada en el circuito de lixiviación.

En el siguiente cuadro se compila la valorización de las externalidades.

Cuadro 6-3 Valorización de Externalidades

Externalidad (economía externa)	Año 0 (mil US\$)	Años 1 al 15 (mil US\$/año)
Producto del mejoramiento ambiental	800,000	0
Pro mineros de la zona de influencia*		
6,000tms/mes, 92.00¢/lb	0	122
6,000tms/mes, 102.00¢/lb	0	411
8,000tms/mes, 92.00¢/lb	0	162
8,000tms/mes, 102.00¢/lb	0	548
14,000tms/mes, 92.00¢/lb	0	284
14,000tms/mes, 102.00¢/lb	0	960
Producto de la racionalización del recurso hídrico**		
6,000tms/mes	0	168
8,000tms/mes	0	230
14,000tms/mes	0	202

* Los valores de la externalidad varían en función al nivel de procesamiento de mineral crudo y cotización del cobre.

** Los valores de la externalidad varían en función al nivel de procesamiento de mineral crudo.

En el siguiente cuadro se muestra los resultados del análisis económico.

Cuadro 6-4 Resultados del Análisis Económico

Proyecto Caso	Cotización Cu (¢/lb)	Inversión inicial (mil US\$)	Cash cost* (¢/lb)	VAN _{10%} (mil US\$)	TIR (%)
6,000tms c/externalidad	68.2180	600	54.31	-776	53.68%
6,000tms c/externalidad	80.00	600	54.31	-672	47.44%
6,000tms c/externalidad	92.00	600	54.31	370	irracional
6,000tms c/externalidad	102.00	600	54.31	2,671	irracional
8,000tms c/externalidad	68.2180	960	48.13	-92	irracional
8,000tms c/externalidad	80.00	960	48.13	51	24.92%
8,000tms c/externalidad	92.00	960	48.13	1,445	153.14%
8,000tms c/externalidad	102.00	960	48.13	4,516	407.54%
14,000tms c/externalidad	68.2180	2,686	39.92	105	11.10%
14,000tms c/externalidad	80.00	2,686	39.92	364	13.68%
14,000tms c/externalidad	92.00	2,686	39.92	2,814	33.88%
14,000tms c/externalidad	102.00	2,686	39.92	8,197	72.64%

* Cash Cost correspondiente al primer año del proyecto (Costos operativos menos depreciación y costos financieros) 【unidad en ¢/lb contenido Cu precipitado 】)

En el cuadro anterior se observa que los resultados para un nivel de procesamiento de 6,000tms/mes arrojaron valores negativos del VAN para escenarios de cotización del cobre menores al 80.00¢/lb; siendo socialmente inviables. En cambio, a cotizaciones mayores de 92.00¢/lb, arrojaron valores positivos de VAN y valores irracionales de TIR. Ello se debe a que el caso no requiere una inversión inicial alta ya que no se realiza la ampliación de la planta de tratamiento de solución de descarte, y se supera el punto de equilibrio económico durante la vida del proyecto. Según estos resultados, para cotizaciones del cobre menores de 80.00¢/lb, se deberá optar por ejecutar las obras de remediación de pasivos ambientales y suspender las

operaciones; en cambio, para escenarios con cotizaciones mayores al 92.00¢/lb, son factibles socialmente.

Del mismo cuadro, para niveles de procesamiento de 8,000tms/mes, bajo cotizaciones del cobre por encima del 80.00¢/lb, los valores del VAN son positivos y TIR anómalamente grandes. Este resultado se debe a los altos beneficios al inicio del proyecto, por los efectos de las externalidades y la superación del punto de equilibrio económico durante la vida del proyecto. En consecuencia es socialmente factible para cotizaciones del cobre mayores de 80.00¢/lb.

Del mismo modo, para procesamiento a capacidad instalada total de 14,000tms/mes, los valores del VAN fueron positivos y TIR mayores a la tasa de descuento social, para todos los escenarios analizados. Ello se debe a que se alcanza el punto de equilibrio económico durante la vida del proyecto. Es posible beneficiarse de la economía de escala y es ampliamente viable desde el punto de vista social. Obviamente, a mayores cotizaciones del cobre las condiciones mejoran extensamente. Efectivamente, del análisis del retorno de la inversión, se tuvo que el retorno de la inversión se obtendría entre 2 años y 13 años de operaciones.

6.7 Efecto Económico para Productores de Precipitado de Cobre

Con el objeto de reconocer la conveniencia del productor de precipitados de cobre, y del sistema de valorización de ENAMI; se analizó el valor agregado en producirlos a partir de minerales óxidos de cobre.

Los valores agregados del precipitado de cobre resultaron menores a los *cash cost* de la planta Ovalle. Asimismo, que el productor de precipitados no obtiene beneficios de una supuesta mejora de los precios del cobre, ya que la valorización de ENAMI favorece relativamente a los productores de los minerales crudos.

En consecuencia, de acuerdo a las condiciones vigentes, y de continuar sin modificación la valorización por parte de ENAMI, es más beneficioso abastecer minerales crudos sin otorgarle valor agregado que en forma de precipitado. Es decir, el procesamiento de minerales óxidos para producir precipitados de cobre es una actividad que no genera valor agregado.

6.8 Conclusiones del Análisis Económico-Financiero

A continuación se compilan las conclusiones y propuestas de los resultados del análisis económico-financiero.

6.8.1 Mejoramiento del procesamiento de minerales óxidos de cobre

A pesar que según el análisis convencional mediante los indicadores financieros VAN y TIR, arrojaron resultados inviables, se observa que, con la aplicación de los mejoramientos del proceso sería posible reducir considerablemente los *cash cost*. Por otro lado, de la evaluación social considerando las externalidades a las operaciones de la planta Ovalle, se obtuvo que incluso a bajas cotizaciones del cobre sería factible una operación procesando 14,000tms/mes.

6.8.2 Aseguramiento del abastecimiento estable de minerales óxidos de cobre

El mejoramiento descrito arriba no sería posible con un abastecimiento estable de los minerales óxidos de cobre. Para su consecución se requiere establecer vínculos de cooperación con las minas de la zona de influencia y/o desarrollar zonas de extracción propias de ENAMI. Sin embargo, para ello será necesario analizar la modificación estatutaria de los objetivos de la institución.

Por otro lado, de los resultados del análisis del valor agregado se reconoció que en términos del contenido de cobre, el costo de abastecimiento del mineral crudo es de 17.31¢/lb, con una participación del 20% en el costo total del proceso de producción del cobre electrolítico. En consecuencia, una eventual reducción de costos será factible en cuanto este costo unitario fijo se convierta en variable. Esta situación sería posible también con la explotación directa de minas como parte de las actividades de la Compañía Minera Panulcillo.

Si bien el principal objeto de ENAMI consiste en el fomento de la pequeña y mediana minería, en la coyuntura actual de bajas cotizaciones del cobre viendo disminuir el abastecimiento de minerales crudos; se propone analizar la introducción de una política de “generación de empleo basado en el desarrollo regional” sustentable con la original “fomento a la pequeña y mediana minería”. Especialmente, en zonas donde prácticamente no son viables otras actividades sino la minería, desarrollar sus propios prospectos de explotación con la finalidad de generar mayor empleo en éstas.

6.8.3 Escalamiento de la planta de tratamiento de solución de descarte

Como resultado del presente análisis se tiene que es imprescindible la ampliación de las operaciones en la planta Ovalle. Por ende, con el incremento del procesamiento de minerales óxidos de cobre, se tendría una mayor generación de solución de descarte; razón por la cual se requeriría un escalamiento de la planta de tratamiento.

Asimismo, mediante el reciclaje de la solución tratada en esta planta al circuito de lixiviación sería posible racionalizar el consumo de agua en el proceso. Su efecto a la planta Ovalle es poca, no obstante sería una gran externalidad en beneficio de los usuarios de agua en la cuenca del río Limarí.

6.8.4 Restauración de pasivos ambientales

Los problemas de contaminación de aguas y suelos ocasionados por la no-práctica de una operación compatible con el medio ambiente en el pasado, requieren ser resueltos mediante las obras de restauración de suelos. Estas obras deberán ejecutarse en forma independiente a los planes de escalamiento de la planta de tratamiento de solución de descarte. Los beneficios esperados de este mejoramiento son considerables para los habitantes de la cuenca del estero El Ingenio.

6.8.5 Incremento de producción del sulfato de cobre pentahidratado

El incremento de la producción del sulfato de cobre contribuirá a reducir la generación de solución de descarte y a la diversificación de productos en la planta Ovalle. Este incremento deberá ser analizado con un estudio de mercado a largo plazo.

6.8.6 Estudio de factibilidad para la comercialización de sedimentos

Se recomienda realizar un estudio para la comercialización de los sedimentos generados en el tratamiento de solución de descarte. A la vez que contribuiría con mayor diversificación de productos en la planta Ovalle, desarrollaría una fuente de financiamiento de los costos de preservación ambiental generada en la planta de tratamiento.

6.8.7 Análisis de modificación en el sistema de valorización de productos y procesos

De los resultados del análisis del valor agregado para la producción del cobre electrolítico, se reconoció que la participación del costo para el procesamiento del precipitado de cobre abarca la mayor parte del costo total. Por ende, se infiere que el sistema de distribución de los ingresos debería ser modificado acorde a la participación en los costos. Especialmente, la tarifa para el precipitado de cobre y la valorización de maquila para los procesos de producción de éstos a partir de minerales óxidos en las plantas de ENAMI (incluyendo a la planta Ovalle).

En la siguiente Figura se muestra la interrelación de las propuestas con los beneficios esperados.

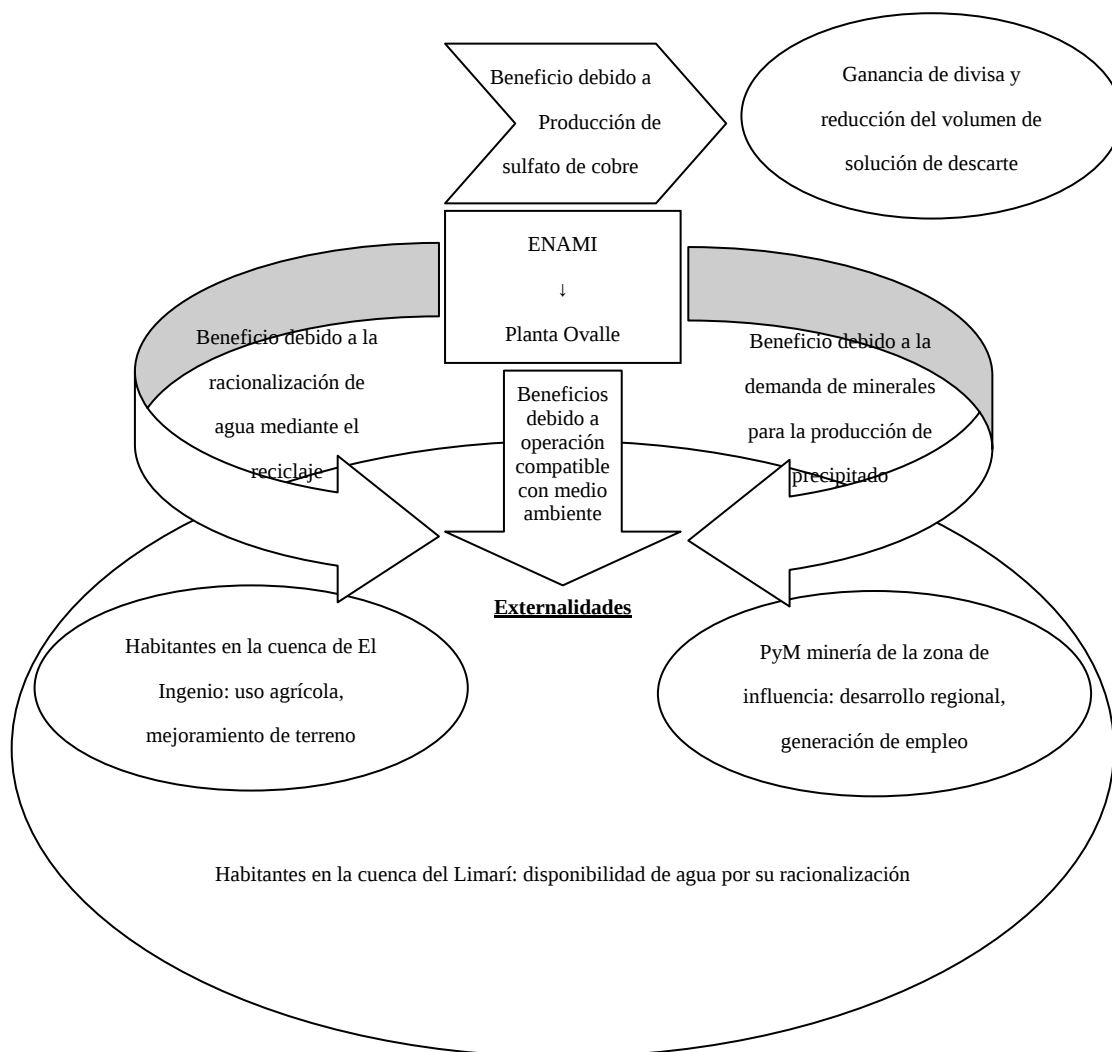


Figura 6-3 Interrelación Propuesta-Beneficio

7 . Plan de Operación Compatible con el Medio Ambiente en Planta Ovalle

7 . Plan de Operación Compatible con el Medio Ambiente en Planta Ovalle

En el acápite 7.1 se presenta la mejor opción del *modus operandi* citado en el capítulo anterior considerando los efectos hacia el medio ambiente. Y a continuación, en el acápite 7.2 el *modus operandi* de acuerdo a la situación actual de ENAMI.

7.1 Óptima Operación

Del análisis económico-financiero del capítulo anterior, el *modus operandi* óptimo del procesamiento de minerales óxidos de cobre resultó inviable para niveles de procesamiento actual de 6,000t/mes (para el rango de cotización del cobre entre 68.2180¢/lb y 92.00¢/lb) y máximo posible a mediano plazo de 8,000t/mes (para el rango de cotización del cobre entre 68.2180¢/lb y 80.00¢/lb); sin embargo, fueron socialmente factibles para mejores cotizaciones del cobre en cada caso: nivel de procesamiento de 6,000t/mes entre 92.00¢/lb y 102.00¢/lb; 8,000t/mes entre 80.00¢/lb y 102.00¢/lb; y en todo el rango de análisis para el caso del nivel de procesamiento de 14,000t/mes. Es decir, se concluyó que de mantenerse el nivel actual de procesamiento de 6,000t/mes, se debería ejecutar un plan de ampliación parcial de la planta modelo; de lograr un incremento de la producción mediante el procesamiento de 8,000t/mes, una ampliación mayor en planta modelo; y de operando a 14,000t/mes, capacidad total de la planta de procesamiento de minerales óxidos de cobre, construir la planta de tratamiento de solución de descarte a escala de modo que sea factible económica y ambientalmente. En la Figura 7-1 se compila el proceso de operación.

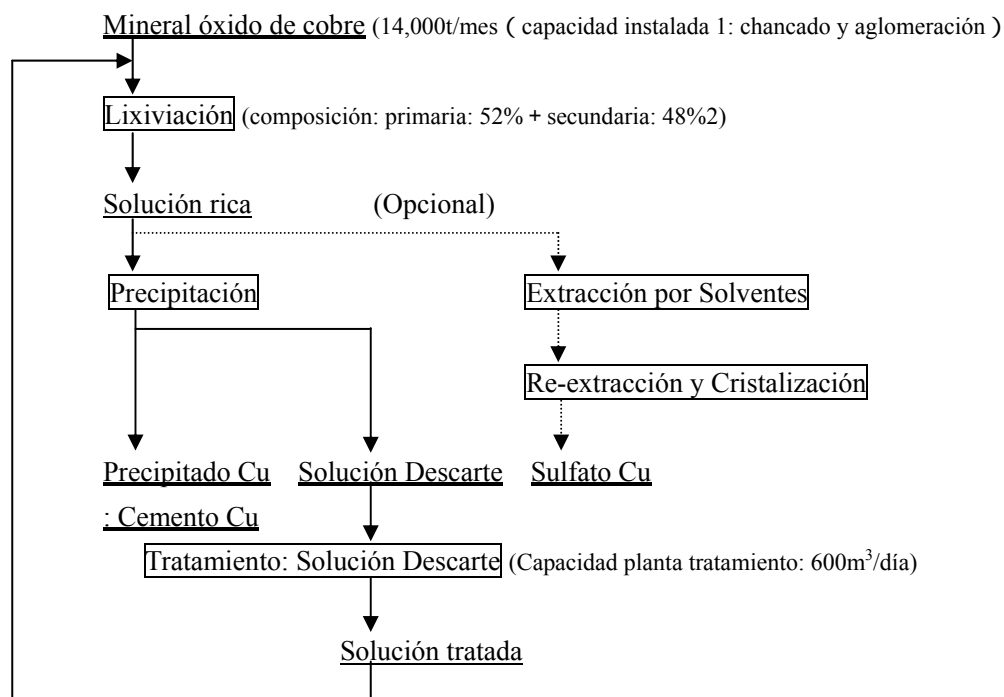


Figura 7-1 Procesamiento Compatible con el Medio Ambiente: Oxidos de Cobre

En efecto, para el caso del procesamiento de minerales sulfurados se concluye que el nivel óptimo de procesamiento es de 7,000t/mes de acuerdo a la capacidad instalada.

7.2 Metodología de Operación Coyuntural

Para la alternativa óptima descrita en el anterior acápite, se requiere analizar la situación considerando factores internos y externos al proceso, ya que en la actual coyuntura es difícil el abastecimiento del mineral crudo, así como por la necesidad de inversión para el tratamiento de solución de descarte del procesamiento de minerales óxidos. Se deberá analizar el *modus operandi* de acuerdo a la situación y posibilidades actuales, considerando los impactos ambientales, mediante la introducción de una nueva política de ENAMI basado en la racionalización de los recursos.

7.2.1 Política de Operación de ENAMI (2002.03)

Las nuevas políticas de operación de ENAMI para la planta Ovalle a considerar son las siguientes:

(1) Procesamiento de minerales óxidos de cobre

No generación de nueva contaminación: prevención de infiltración-emanación de la solución de descarte (reciclaje de solución de descarte no tratada y solución tratada al circuito de lixiviación).

Inviabilidad de realizar nuevas inversiones bajo la actual situación de endeudamiento: aplazamiento de la construcción de planta a escala de tratamiento de solución de descarte.

Operación máxima en planta modelo a pesar de incurrir en costos adicionales de prevención de contaminación: verificación de la capacidad de tratamiento (nominal: 100m³/día).

Incremento de procesamiento de minerales óxidos de cobre: máximo 8,000t/mes (volumen de solución de descarte: 330m³/día); promedio 6,000t/mes (volumen de solución de descarte: 250m³/día).

Análisis de reducción de solución de descarte: producción de sulfato de cobre a partir de la solución rica de lixiviación e introducción del proceso SX-EW; sin embargo, el análisis de la última opción deberá ser aplazada por el momento.

Análisis de recuperación del cobre contenido en la solución de descarte: reciclaje de solución de descarte no tratada y solución tratada al circuito de lixiviación.

Mejoramiento de ingresos de la planta Ovalle: producción de sulfato de cobre a partir de la solución rica de lixiviación.

(2) Procesamiento de minerales sulfurados de cobre: mantenimiento de las operaciones actuales.

7.2.2 Análisis del Método de Procesamiento

Se analizó en función a las posibilidades tanto para el procesamiento de minerales óxidos como sulfurados de cobre. En el Cuadro 7-1 se muestra los métodos analizados.

7.2.3 Estudios de Caso

Se analizaron los *modus operandi* factibles como estudios de caso.

7.2.4 Modus Operandi Coyuntural

Se analizó la modalidad de operación compatible con el medio ambiente, considerando las actuales circunstancias y de acuerdo a la nueva política de ENAMI, como un estudio de caso que se detalla a continuación.

(1) Procesamiento de minerales óxidos

1) Condiciones pre-establecidas

Procesamiento promedio (capacidad real): 6,000t/mes (72,000t/año) (tasa de operación: 43%); Procesamiento promedio (capacidad ideal): 8,000t/mes (96,000t/año) (tasa de operación: 57%)

Generación de solución de descarte: 250m³/día (procesamiento real): volumen de solución de descarte que requiere tratamiento

Volumen de tratamiento de solución de descarte en planta modelo: 176 m³/día (capacidad máxima)

2) Prioridad de tratamiento

A continuación se describe los procesamientos de minerales sobre la capacidad real de 6,000t/mes (generación de 250m³/día de solución de descarte) descrito en el cuadro 7-1
lixiviación → precipitación (cementación) → planta modelo (reciclaje a circuito de lixiviación) (+ solución de descarte sin tratamiento (reciclaje a circuito de lixiviación)) + (lixiviación → extracción por solventes → re-extracción / cristalización (sulfato de cobre)) . Las opciones se analizaron de acuerdo al grado de prioridad de tratamiento.

Lixiviación → precipitación: volumen de solución de descarte tratada: Am³/día

Se ha estimado la capacidad de tratamiento de solución de descarte en la planta modelo en 176m³/día, debido fundamentalmente a la disminución de la concentración de hierro.

La solución tratada se retornará al circuito de lixiviación. Asimismo, los sedimentos generados en el tratamiento de la solución de descarte, serán dispuestos en tranques para posteriormente ser cubiertos. Los tranques deberán ser impermeabilizados ya que los sedimentos podrían contener elementos tóxicos como arsénico.

Lixiviación → extracción por solventes → producción de sulfato de cobre (opcional): reducción de solución de descarte debido a la producción de sulfato de cobre: Bm³/día

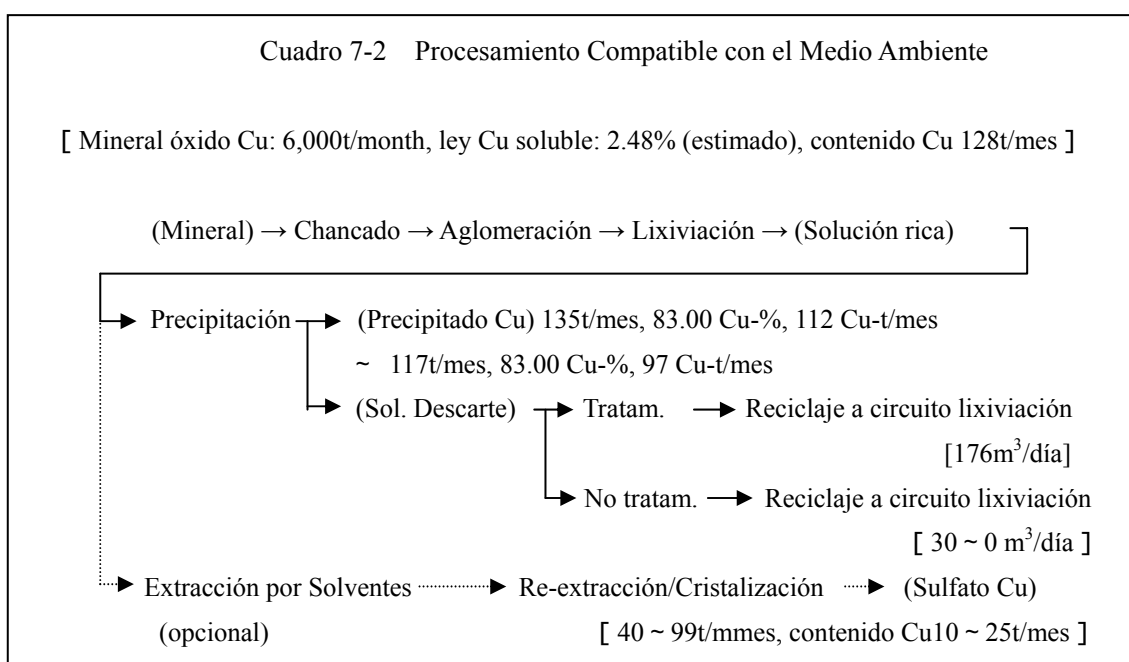
Un nivel de producción de sulfato de cobre de 40t/mes representa una reducción de 30m³/mes de solución de descarte: se estima 30 Bm³/día. A pesar que la producción de sulfato de cobre se encuentra en prueba, una mayor producción reducirá el volumen de la solución descrita a continuación, y aumentaría la recuperación de cobre. No obstante,

se requiere realizar un estudio de mercado y de factibilidad y para el sulfato de cobre a largo plazo.

Lixiviación → precipitación: volumen de retorno de solución de descarte al circuito de lixiviación: $C \text{ m}^3/\text{día}$: $250 \text{ m}^3/\text{día}$ – solución tratada (A) – reducción para la producción de sulfato de cobre (B)

Del cálculo resulta: $C = 74 - B \text{ m}^3/\text{día}$. Es decir, de mantenerse el nivel de producción actual de sulfato de cobre de 40t/mes: $B = 30 \text{ m}^3/\text{día}$ y $C = 44 \text{ m}^3/\text{día}$. Al aumentar la producción hasta $B = 99 \text{ t/mes}$, la reducción de solución de descarte resultará: $B = 74 \text{ m}^3/\text{día}$ y $C = 0 \text{ m}^3/\text{día}$.

En el Cuadro 7-2 se muestra el *modus operandi* coyuntural para el procesamiento de minerales óxidos de cobre.



(2) Procesamiento de minerales sulfurados

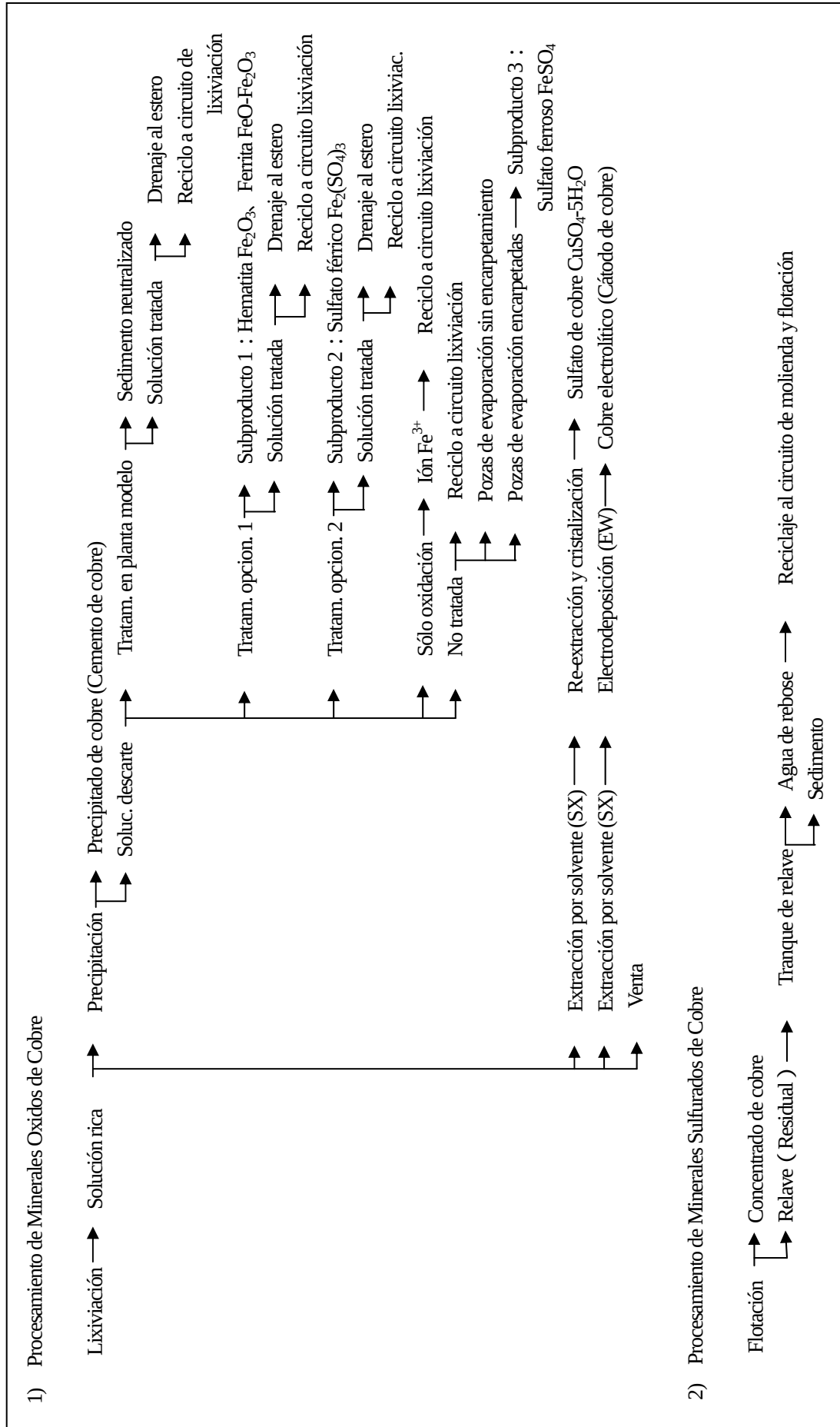
Mantenimiento del procesamiento existente.

Procesamiento objetivo: 9,900t/mes (118,800t/año) (tasa de operación: 90%)

7.3 Plan de Operación Compatible con el Medio Ambiente

En la Figura 7-2 se muestra los diagramas de flujo para la adecuación al procesamiento considerando la prevención de contaminación a partir de un procesamiento causante de contaminación.

Cuadro 7-1 Sinopsis de Metodologías de Procesamiento : Planta Ovalle, ENAMI



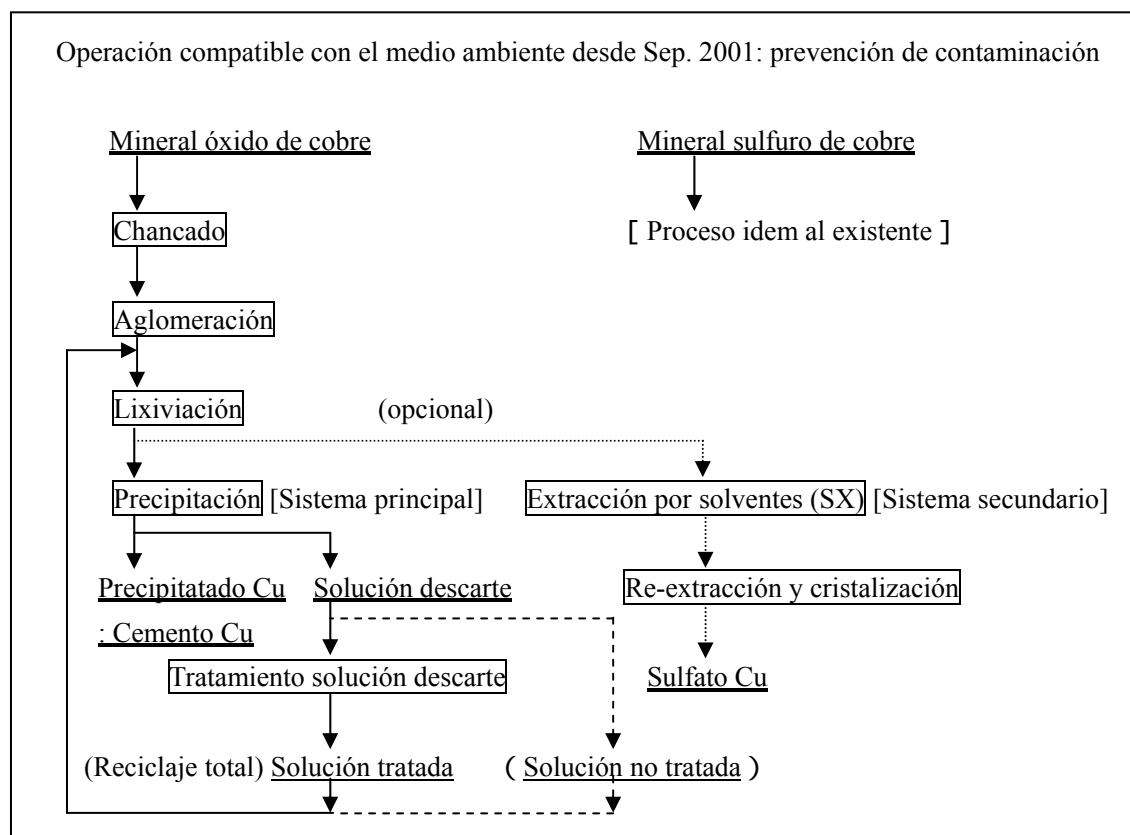
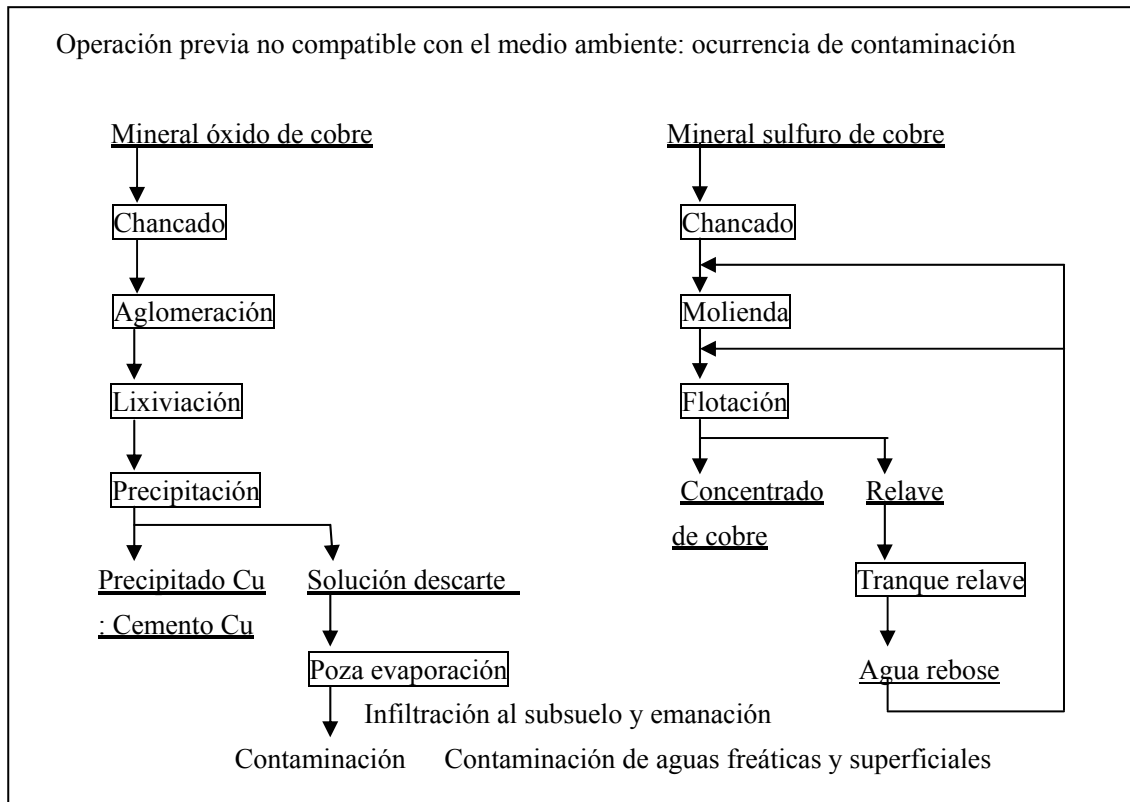


Figura 7-2 Adecuación hacia el Proceso Compatible con el Medio Ambiente

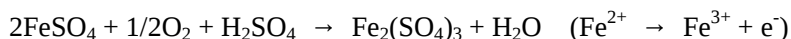
8 . Aplicabilidad de Oxidación Bacteriana en Chile (Plan Maestro)

8 . Aplicabilidad de Oxidación Bacteriana en Chile (Plan Maestro)

Se analizó la aplicabilidad y difusión de la oxidación bacteriana, materia del presente proyecto, en Chile.

8.1 Descripción de la Oxidación Bacteriana

La técnica bacteriana que hace referencia el presente plan consiste en la aplicación del metabolismo del *Thiobacillus ferrooxidans* que oxida en medio ácido, regulado con ácido sulfúrico, al ión ferroso en férrico. La reacción química del proceso de oxidación se estima como sigue:



En efecto, estas bacterias autotróficas obtienen energía de la reacción de oxidación al mismo tiempo que fijan en su organismo el CO_2 del medio.

En efecto, esta tecnología bacteriana es compatible con el medio ambiente, siendo además económicamente eficiente comparado con técnicas de oxidación química.

8.2 Condiciones Requeridas para la Aplicación de Tecnología

A continuación se describe las condiciones requeridas para el metabolismo del *Thiobacillus ferrooxidans*, y consecuentemente la aplicación de la tecnología.

Acidez dada mediante presencia de ácido sulfúrico: es posible una mezcla de ácidos, sin embargo, se prefiere el dominio del ión sulfato con respecto a otros aniones. Asimismo, la presencia de halógenos inhibe el metabolismo de las bacterias, por tanto las concentraciones de éstos deberán ser menores a los límites que se presentan abajo.

Rango de pH: entre 1.3 y 4.5 (valor ideal: 2.5).

Rango de temperatura: entre 10 y 37 °C (rango ideal: entre 30 y 35 °C): se ha detectado su actividad a temperaturas menores de 10 °C.

Medio aeróbico.

Existencia de portadores de bacteria en el medio: ión ferroso (Fe^{2+}), azufre (S), ácido tiosulfúrico ($\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_3$), etc.

En el siguiente cuadro se muestra los inhibidores del metabolismo bacteriano.

Alta sensibilidad, baja resistencia	Relativa resistencia	Alta resistencia
Hg, Ag, Mo, Te, Se, U, cianuro (CN^-), compuestos orgánicos de flúor	Sn, As, ión nitrato (NO_3^-), compuestos monómeros de cloro*	Zn, Ni, Co, Cu, Mn, Al, Cd, Cr

Observación: mediante cultivo iterativo es posible mejorar la resistencia hasta cierto grado.

* Comúnmente en concentraciones menores a 1g/L; sin embargo, es posible mejorar la resistencia hasta 10g/L mediante proceso de aclimatación.

8.3 Campo de Aplicación

Existen cuatro posibles campos de aplicación para la tecnología de oxidación bacteriana en Chile.

- (1) Tratamiento de solución de descarte originado en los procesos de producción de precipitados de cobre (método de cementación).

Estas soluciones al ser depositadas en pozas de evaporación sin el debido tratamiento de impermeabilización, infiltran al subsuelo ión ferroso en solución, que posteriormente emanan hacia la superficie ocasionando contaminación de aguas y suelos. Del mismo modo que la técnica aplicada en planta Ovalle, estas soluciones deberán ser tratadas mediante oxidación bacteriana con el fin de oxidar al ión ferroso (Fe^{2+}) en férrico (Fe^{3+}) y posteriormente separarlos en forma de hidróxido ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) mediante neutralización. De ese modo se logrará el mejoramiento de la calidad ambiental en sus operaciones. No existen casos de aplicación similares en Japón.

- (2) Drenaje ácido de roca (DAR) originado en minas (en actividad y abandonadas)

Contaminación originada por elementos tóxicos contenidos en el drenaje ácido de roca de minas en acuíferos y aguas superficiales. La técnica consiste en la eliminación mediante co-precipitación de elementos tóxicos (arsénico trivalente y pentavalente, cadmio bivalente, etc.) disueltos en forma conjunta con alto contenido de ión ferroso (Fe^{2+}) a bajos valores de pH, mediante el uso de oxidación bacteriana y neutralización. Del mismo modo que oxida al ión ferroso en férrico (Fe^{3+}) es capaz de oxidar otros elementos como al arsénico (de As^{3+} a As^{5+}) y aprovechar las bajas solubilidades de sus elementos oxidados en medio ácido. En Japón se cuentan como ejemplos de aplicación, tratamiento de DAR en antiguas minas de Sakubara y Matsuo entre otras. En la Figura 8-1 se muestra el proceso de tratamiento. El recuadro “oxidación bacteriana” de la figura corresponde a la presente tecnología.

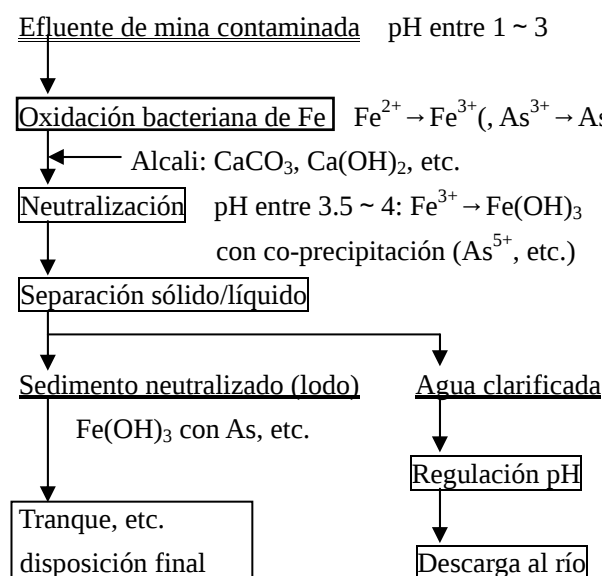


Figura 8-1 Aplicación de Oxidación Bacteriana para el Tratamiento de DAR

(3) Productos intermedios de refinación (humos de fundición)

Contaminación originada por humos de fundición conteniendo altas concentraciones de metales (Cu, etc.) y elementos tóxicos (As, Cd, etc.) afectando la calidad de aguas freáticas y superficiales mediante su disolución; y calidad de suelos mediante deposición. A través de la recuperación de metales y separación de elementos tóxicos tratando los humos es posible lograr el mejoramiento de la calidad ambiental. El caso de la refinería de Kosaka es la aplicación representativa en Japón. En la Figura 8-2 se muestra el diagrama de flujo del proceso de tratamiento de humos en la refinería de Kosaka. El recuadro “oxidación bacteriana” corresponde a la aplicación de la presente tecnología.

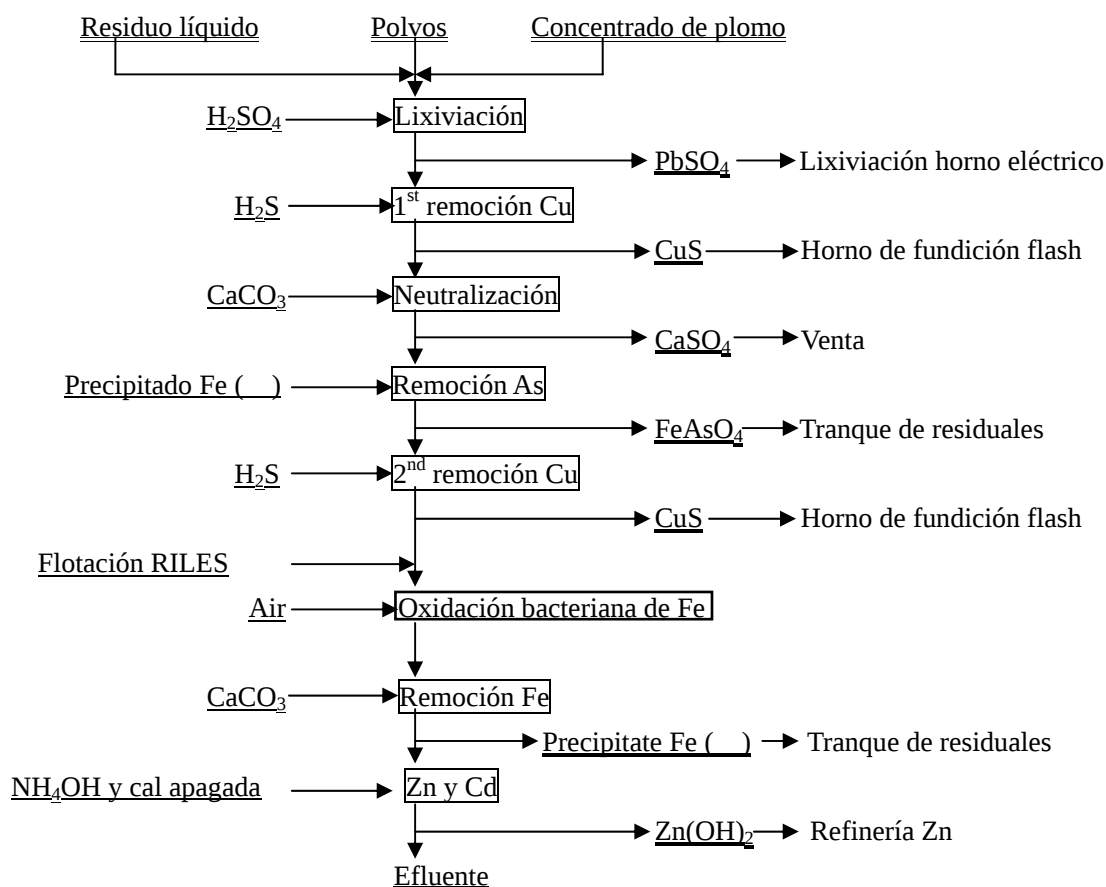


Figura 8-2 Aplicación de Oxidación Bacteriana en Tratamiento de Humos de Fundición

(4) Lixiviación bacteriana de minerales sulfurados de cobre secundarios

Tradicionalmente, el método de recuperación del cobre mediante lixiviación ácida ha sido aplicado a minerales óxidos; no obstante, su aplicación ha sido ampliada en los últimos años para procesar minerales sulfurados secundarios como calcocita (Cu_2S) y covelita (CuS), previo tratamiento de oxidación mediante el uso de bacterias.

El procesamiento de minerales sulfurados secundarios de cobre para la obtención del cobre electrolítico más difundido ha sido flotación, tratamiento pirometalúrgico y refinación

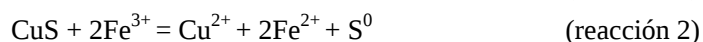
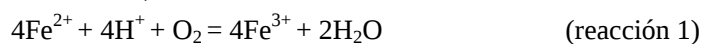
electrolítica, formándose sucesivamente concentrados, ánodos y cobre electrolítico en cada etapa respectivamente.

Sin embargo, la tendencia del procesamiento va hacia la aplicación de lixiviación bacteriana, extracción por solventes y electrodeposición (SX-EW), debido a su menor costo comparativo y su capacidad de tratar asimismo minerales de baja ley. Es de esperar que este procedimiento para el tratamiento de minerales sulfurados secundarios de cobre será difundido en el futuro.

Existen las siguientes hipótesis del mecanismo de lixiviación bacteriana.

Mecanismo de lixiviación indirecta: la generación de ión férrico de la oxidación del ferroso ($\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$) mediante el metabolismo del *Thiobacillus ferrooxidans* para luego iniciar la oxidación de otros metales sulfurados.

(Caso covelita):



El avance de la reacción 1 es muy baja en medio ácido, sin embargo, en presencia de bacteria aumenta en 500 mil veces.

El ión férrico de la reacción 2 se reduce oxidando al cobre sulfurado. El ión ferroso así formado es cíclicamente oxidado según la reacción 1.

Este mecanismo requiere la presencia de ión ferroso, que generalmente se obtiene de la oxidación de la pirita (FeS_2) que se encuentra comúnmente en la naturaleza. La reacción se muestra a continuación.



Mecanismo de lixiviación directa: el *Thiobacillus ferrooxidans* toma contacto con la superficie del mineral sulfurado para actuar de catalizador de la oxidación del metal, según la siguiente reacción química.



Sin embargo, aun no se ha determinado teóricamente los minerales materia de procesamiento ni las condiciones óptimas de operación.

Esta técnica de lixiviación bacteriana se aplica para la extracción de cobre en lixiviación en pilas y por *dump*; así como en minas de uranio mediante lixiviación *in situ*.

En cuanto a la aplicación de esta técnica bacteriana, se recomienda realizar pruebas empleando bacterias existentes en plantas de tratamiento de solución de descarte y DAR citados en (1) y (2), con el objeto de mejorar la cinética de extracción y tasa de recuperación del cobre en forma metódica. Ejemplos de aplicación en Japón se dieron en las antiguas minas de Kosaka y Tobará.

Por otro lado, aparte del *Thiobacillus ferrooxidans*, se realizan investigaciones mediante el uso de otras bacterias como *Thiobacillus thiooxidans*, *Leptospirillum ferrooxidans*, *Acidiunus brierleyi*, *Metallosphaera sedula*, *Sulfolobus acidocaldarius*, *TH1*, *TH2*, *TH3*, *ALV*, *BC*, *Sulfobacillus thermosulfidooxidans*, *Sulfobacillus thermosulfidooxidans subsp. thermotolerans*, *Sulfobacillus thermosulfido-oxidans subsp. asporogenes*, *Thiobacillus*

prosperus, Thiobacillus cuprinus, Thiobacillus acidophilus, etc.

En efecto, la lixiviación de minerales sulfurados primarios como la calcopirita, mediante oxidación bacteriana es aún complicada. Asimismo, se están desarrollando nuevas técnicas de lixiviación mediante el uso de amonio, halógenos, medios presurizados, oxidantes fuertes, entre otros.

(5) Otras Aplicaciones

- 1: Limpieza de solución lixivante diluida en circuito *SX-EW*: El método *SX-EW* es ampliamente usado para procesar minerales óxidos (y minerales sulfurados secundarios) de cobre. En él, la solución lixivante diluida de retorno al circuito de extracción tiende a concentrar hierro en cada iteración, disminuyendo la capacidad selectiva del solvente y afectando negativamente a la recuperación del cobre en el circuito de electrodeposición. Es de esperar que mediante el uso de oxidación bacteriana es posible separar al hierro acumulado de la solución con el objeto de mejorar la eficiencia del proceso *SX-EW*. Sin embargo, debido a que la verificación de esta aplicación requiere un estudio particular, es un tema que queda pendiente como propuesta. No existe aplicación práctica en Japón.
- 2: Recuperación de oro y plata contenido en minerales de piritita (FeS_2) y arsenopiritita (FeAsS): La recuperación de oro y plata contenido en estos minerales sulfurados mediante lixiviación cianurada es complicada; no obstante, mediante pre-tratamiento bacteriano, es posible lograr altas recuperaciones. Se han desarrollado métodos como *Biox Process*, *BioPro Process*, *GeoCoat Process*, entre otros. Sin embargo, debido a que no existen casos de aplicación en Chile actualmente, este tema queda latente como propuesta. No existe aplicación práctica en Japón.

8.4 Ambito de Aplicación de la Tecnología en Chile

En principio, se consideró como ámbito de aplicación de la técnica de oxidación bacteriana en Chile, a las plantas de ENAMI similares a Ovalle, y de otros productores para las aplicaciones referidas en (1); y a otros sectores para aplicaciones modificadas referidas en (2), (3) y (4).

- (1) Tratamiento de solución de descarte originado en los procesos de producción de precipitados de cobre.

La aplicación de esta modalidad se analizó abarcando a las siguientes instalaciones:

Planta Ovalle de ENAMI: volumen excedente no tratable en planta modelo

Planta Vallenar de ENAMI: ($\text{pH} = 2.7$; $\text{Fe}^{2+} = 9,700\text{mg/L}$; $\text{Fe-T} = 16,800\text{mg/L}$; $\text{Cu} = 467\text{mg/L}$; $\text{Cd} = 0.43\text{mg/L}$; $\text{Pb} = 1.1\text{mg/L}$; $\text{As} = 1.9\text{mg/L}$)

Planta de recuperación de cobre de polvos de fundición mediante precipitación: V.g. Planta Montecarmelo (recuperación de cobre a partir de los polvos de fundición de la refinera Ventanas mediante relación contractual con ENAMI): procesamiento mediante lixiviación ácida y precipitación con chatarra de hierro para obtener precipitados de cobre: ($\text{pH} = 2.4$; $\text{Fe}^{2+} = 35,400\text{mg/L}$; $\text{Fe-T} = 36,800\text{mg/L}$; $\text{Cu} = 906\text{mg/L}$; $\text{Cd} = 1,410\text{mg/L}$; $\text{Pb} = 0.7\text{mg/L}$;

As = 3,200mg/L)

Pequeños productores de precipitados de cobre del sector privado: V.g. planta C.G. (pH = 0.4; Fe^{2+} = 49,000mg/L; Fe-T = 54,100mg/L; Cu = 239mg/L; Cd = 0.14mg/L; Pb = 1.1mg/L; As = 1.8mg/L); planta L.C. (pH = 3.4; Fe^{2+} = n.d., Fe-T = 3,140mg/L; Cu = 173mg/L; Cd = 0.09mg/L; Pb = 0.6mg/L; As = 0.16mg/L); planta S.G. (pH = 3.8; Fe^{2+} = n.d.; Fe-T = 51,100mg/L; Cu = 274mg/L; Cd = 0.19mg/L; Pb = 1.2mg/L; As = 0.71mg/L)

En efecto, para los casos y se recomienda a ENAMI instalar en zonas estratégicas, instalaciones de prevención de contaminación y pequeñas plantas de procesamiento con tratamiento de solución de descarte, donde procesar minerales óxidos y polvos de fundición.

Por otro lado, en la planta Matta de ENAMI no existe posibilidad de aplicación, ya que procesa solamente minerales sulfurados. El caso de la planta El Salado, si bien produce precipitados de cobre a partir de minerales óxidos, no es posible la aplicación de oxidación bacteriana debido a la presencia de atacamita ($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$) que contribuye a levantar la concentración de cloruro (39.8g/L, siendo el máximo tolerable de 10g/L) en la solución de descarte. Por su lado, la planta Taltal también produce precipitados de cobre a partir de minerales óxidos, en ella tampoco es posible aplicar la tecnología debido a la presencia de atacamita y al uso de agua de mar para el proceso, siendo la concentración cloruro de 34.2g/L. Asimismo, el plan de traslado de esta planta alejado del litoral se hará simultáneamente con el cambio de proceso a SX-EW; por ende, no será de aplicación la tecnología.

No existen unidades de CODELCO que produzcan precipitados de cobre.

Las plantas de producción de precipitados de cobre fuera de ENAMI han ido reduciéndose a partir de los años noventa. Plantas como Doña Ada, El Indio, Fortuna de Cobre, La Cascada / Sagasca y Lo Aguirre, entre otras, han optado mayormente por el cambio a SX-EW, desapareciendo las plantas de mediana escala, quedando vigentes pocas plantas pequeñas posteriormente al año 2000.

(2) Drenaje ácido de roca (DAR) originado en minas (en actividad y abandonadas)

La aplicación de esta modalidad se analizó abarcando a las siguientes instalaciones:

Minas con rajes abiertos y subterráneos de minerales sulfurados de cobre, zinc, etc., especialmente con presencia de afloramientos de piritita (FeS_2) ubicados en la zona sur de la región Atacama (hacia el sur de Copiapó) que drenan DAR sin tratamiento. V.g. mina C.A. (pH = 1.1; Fe^{2+} = 60mg/L; Fe-T = 60mg/L; Cu = 247mg/L; Cd = 0.06mg/L; Pb = 0.1mg/L; As = 0.06mg/L; pH = 3.9; Fe^{2+} = 190mg/L, Fe-T = 190mg/L; Cu = 548mg/L; Cd = 0.13mg/L; Pb = 0.2mg/L; As = 0.24mg/L).

El azufre contenido en los minerales sulfurados produce ácido sulfúrico mediante oxidación; y especialmente el caso de la piritita, como se mostró en la reacción 3 del acápite 8.3 (4), produce con suma facilidad agua ácida de bajo pH, al contacto con oxígeno y agua en presencia de bacterias. Asimismo, el azufre de la reacción 2 del mismo acápite produce ácido sulfúrico debido al metabolismo del *Thiobacillus ferrooxidans*, *Thiobacillus*

thiooxidans y otras bacterias como se muestra en la siguiente reacción.



El DAR así formado disuelve metales tóxicos (As, Cd, etc.) contaminando aguas freáticas y superficiales.

(3) Productos intermedios de refinación (humos de fundición)

La aplicación de esta modalidad se analizó abarcando a las siguientes instalaciones:

Refinería Ventanas de ENAMI

Refinerías de CODELCO: Chuquicamata, Caletones (El Teniente), Potrerillos (El Salvador)

Refinerías de cobre del sector privado: refinería N.A., refinería D.C.

No obstante, en caso el contenido de hierro sea insuficiente para el tratamiento, se deberá adicionar ión férrico, como lo es el caso . Para los casos y se requiere verificación.

Por otro lado, el caso de la fundición Paipote de ENAMI, debido a que no existe generación de polvo hacia el exterior del sistema, no es aplicable la tecnología.

(4) Lixiviación bacteriana de minerales sulfurados de cobre secundarios

La aplicación de esta modalidad se analizó abarcando a las siguientes instalaciones:

Minas con presencia de minerales sulfurados secundarios como calcocita (Cu_2S) y covelita (CuS) en los minerales que procesa para la obtención de cobre electrolítico mediante el método SX-EW: V.g. mina E, mina Z., mina Q.B.

En el Cuadro 8-2 se muestra la situación de la gran minería de cobre de Chile.

8.5 Compilación

Se infiere que la prioridad de aplicación de la presente tecnología en Chile recae sobre el caso tratado en el acápite 8.4 (2) “drenaje ácido de roca (DAR) originado en minas (en actividad y abandonadas)”. No obstante, a pesar que la existencia de este tipo de contaminación debe extenderse ampliamente, la situación no es conocida.

En consecuencia, para su aplicación requerirá realizar estudios específicos de factibilidad. La compilación de éstos se muestra en el siguiente cuadro. Las partes con subrayado denotan aspectos a ser considerados para la aplicación, siendo específicos para cada situación.

Se estima que el ámbito de aplicación de esta tecnología es muy amplio en toda la región de Sudamérica.

Cuadro 8-1 Aplicación de Oxidación Bacteriana para Drenaje Acido de Roca (DAR) en Minas (Propuesta)

(1) Estudio Ambiental

1) Estudio de la Situación

Reconocimiento de las fuentes de contaminación: reconocimiento de las características del DAR (caudales y calidad de aguas de DAR y cuerpo receptor, calidad de sedimentos en el lecho del cuerpo receptor, concentraciones y carga de elementos tóxicos, etc.)

Asimismo, verificar simultáneamente la viabilidad de aplicar oxidación bacteriana de acuerdo a las condiciones de operación (pH, presencia de ácido sulfúrico, concentración de ión ferroso, presencia de *Thiobacillus ferrooxidans*, resistencia a elementos inhibidores, etc.)

Estudio de la situación de contaminación: reconocimiento del grado del impacto mediante levantamiento de mapas de influencia (reconocimiento de zonas isotrópicas con la finalidad de clasificar las zonas afectadas según el grado del impacto y determinar las prioridades de remediación correspondientes).

Reconocimiento de los mecanismos de contaminación: reconocimiento para cada fuente de contaminación, los mecanismos de generación y propagación.

Estudio de la situación de daños: reconocimiento de la situación de daños a la salud humana, a otras actividades económicas, etc.

2) Sistema de Monitoreo

Planeamiento de monitoreo: establecimiento de los ítems y puntos de monitoreo de acuerdo al estudio de reconocimiento de la situación.

Análisis e interpretación: acumulación de datos mediante toma de muestras, análisis y mediciones en los puntos de monitoreo; y reconocimiento de la variabilidad en las fuentes, mecanismos e impactos mediante la interpretación de los registros.

Modelamiento: elaboración del modelo de simulación del mecanismo de contaminación y calidad de aguas.

Estudio de simulación: estimación de la calidad de aguas con la ejecución de medidas de prevención de contaminación empleando el modelo de simulación.

(2) Análisis de Medidas para DAR

- 1) Estudio de medidas de prevención de contaminación: análisis integral de técnicas de prevención de contaminación ocasionada por DAR y otras fuentes.
- 2) Análisis de técnicas de tratamiento de DAR: análisis detallado de la técnica adecuada para el caso chileno en particular.
- 3) Selección del proceso: selección de la medida de prevención de contaminación para cada fuente de contaminación. Análisis de viabilidad de aplicación de oxidación bacteriana. Estructuración del proceso de oxidación mediante *Thiobacillus ferrooxidans*: requerimiento de tecnología propia.
- 4) Pruebas de aplicación: reconocimiento de las condiciones óptimas para el proceso de tratamiento seleccionado.
- 5) Diseño de instalaciones: en principio, diseño conceptual priorizando fuentes de mayor impacto y análisis económico-financiero del proyecto; luego, diseño de ingeniería.

(3) Ejecución de Medidas de Prevención de Contaminación Generada por DAR

- 1) Construcción de planta modelo: construcción de planta modelo diseñado; y verificación de viabilidad del proceso y condiciones óptimas de operación.
- 2) Construcción de planta a escala.
- 3) Puesta en operación de planta a escala: ejecución de medida de prevención de contaminación.

Cuadro 8-2 Gran Minería de Cobre en Chile

No.	Mina	Titular	Mineral procesado* ⁵		Ubicación: Región	Producción en 2000 Cu × 10 ³ t/año
			Sulfuro	Oxido		
1	Escondida	BHP 57.5+RTZ 30+JECO 10 * ¹ +IFC 2.5%	○	○		917
2	Chuquibambilla	CODELCO	○	○		630
3	Collahuasi	Falconbridge 44+AAC(Anglo American plc.) 44+Japan Conso. 12%* ²	○	○		436
4	El Teniente	CODELCO	○	○ * ⁶		356
5	Los Pelambres	Antofagasta Minerales plc. (Luksik) 50.55 +Anaconda Chile 9.45 +Japan Conso. 40%* ³	○			310
6	Andina	CODELCO	○			258
7	Candelaria	Phelps Dodge 80+Sumitomo group 20%* ⁴	○			204
8	Radomiro Tomic	CODELCO		○		191
9	El Abra	Phelps Dodge 51+CODELCO 49%		○		191
10	Los Bronces	Exxon Mobil (Disputada de Las Condes)	○	○	M* ⁷	170
11	Zaldivar	Placer Dome	○	○		148
12	Cerro Colorado	Billiton (Rio Algom)		○		115
13	Mantos Blancos	AAC	○	○		102
14	Salvador	CODELCO	○	○		81
15	Quebrada Blanca	Aur 76.5+Pudahuel 13.5+ENAMI 10%	○	○		73
16	El Soldado	Exxon Mobil (Disputada de Las Condes)	○	○		68
17	Manto Verde	AAC		○		54
18	Michilla (Lince)	Antofagasta (Luksik)	○	○		53
19	Lomas Bayas	Bolden: Noranda+Falconbridge		○		51
20	Andacollo	Aur 63+Pacifico 27+ENAMI 10%		○		21
21	El Indio	Barrick	○			14
22	Ivan Zar	Milpo (Peru)		○		13
23	Minera Valle Central	Valle Central	○			12
24	Punta del Cobre	Punta del Cobre	○			10
25	Las Luces	Las Luces	○			10
26	La Cascada	Pudahuel		○		5
27	Lo Aguirre	Pudahuel	○		M* ⁷	5

Notas *¹: Mitsubishi-shoji 6+Mitubishi-material 2+Nikko-kinzoku 2%

*²: Mitsui-bussan 6.9+Nikko-kinzoku 3.6+Mitsui-kinzoku 1.5%

*³: Nikko-kinzoku 15+Mitsubishi-material 10+Marubeni 8.75+Mitubishi-shoji 5+Mitsui-bussan 1.25%

*⁴: Sumitomo-kinzokukouzan 15+Sumitomo-shoji 5%

*⁵: Mineral sulfurado de cobre (proceso: flotación, producto: concentrado de cobre),

Mineral óxido de cobre (proceso: SX-EW, producto: cobre electrolítico [cátodo de cobre])

*⁶: El SX-EW se lleva a cabo procesando DAR.

*⁷: Metropolitana

9 . Conclusiones

9 . Conclusiones

El presente estudio llegó a concluir prácticamente de acuerdo al plan trazado, en un período de 39 meses a partir de octubre de 1999. No obstante, durante éste ocurrieron sucesos como la recesión, deflación e inestabilidad en la oferta de trabajo en el ámbito internacional, que afectaron globalmente a la economía y sociedad en general.

Particularmente, afectó a nuestro sector con un prolongado período de bajas cotizaciones del cobre, arrastrado desde mediados de la década anterior sin visos de recuperación. Incluso para la primera potencia mundial del cobre como Chile, si bien la gran minería pudo asimilar la coyuntura, la situación ha sido muy complicada para la pequeña y mediana minería que asume costos menos competitivos. Específicamente el caso de ENAMI es notorio, por su actividad dependiente directamente de este último sector, diezmando su capacidad de fomento debido a la constante baja productividad sufrida en los últimos años, siendo sus perspectivas inciertas.

Aunque podría generar incongruencias con respecto a las funciones que debe cumplir ENAMI en su sector, en las actuales circunstancias se prefiere modificar hacia una postura menos dependiente del sector minero. Es decir, se propone una estructura basada en la explotación directa de sus propiedades mineras, con el objeto de mejoramiento de la productividad en planta, consecuente con mejoras en los aspectos financieros y administrativos.

La incidencia mayor al mejoramiento de las operaciones recae en la economía de escala mediante incremento de la producción; sin embargo, es viable realizar pequeños mejoramientos en los procesos que contribuyan en suma al incremento de las utilidades. Para ello, es menester la realización de pruebas fundamentales y acumulación de experiencia.

En cuanto a la planta modelo de tratamiento de solución de descarte, es posible mencionar que gracias a la colaboración eficaz de la contraparte chilena en cada una de las etapas del proceso, desde las pruebas en laboratorio hasta las pruebas en planta, pasando por los trabajos de diseño, instalación y marcha blanca, los resultados obtenidos han superado los objetivos iniciales. Se verificó por un lado, la factibilidad de tratamiento de la solución de descarte durante las operaciones de prueba; del mismo modo se pudo superar la capacidad de tratamiento estimado en el plan. En suma, incluyendo la transferencia de tecnología, es posible concluir que los resultados esperados del proyecto han sido plasmados.

Se elaboró un diseño conceptual de una planta a escala para tratar 600m³ diarios, íntegramente la solución de descarte a ser generado con la máxima capacidad de procesamiento de minerales, consistente de 14,000 toneladas mensuales; operándose en forma anexa a la planta modelo existente, estimándose una inversión de poco más de US\$2 millones para la ampliación. Sobre este proyecto se realizó un estudio de factibilidad considerando la planta de procesamiento de minerales óxidos incluyendo el tratamiento de solución de descarte, con resultados del análisis de flujo de caja descontado, inviable para todos los casos tratados bajo los conceptos de la inversión privada, dificultando la decisión de ejecutar las medidas de prevención de contaminación.

Sin embargo, la evaluación de medidas de prevención de contaminación requiere considerar aspectos más amplios involucrando factores de índole social, como las externalidades del

proyecto. En particular, se consideró cuantificar los beneficios económicos inherentes a la zona de influencia (sectores agrícola y minera, entre otros). Específicamente: 1) Remediación de depreciación de terrenos afectados por la contaminación; 2) Beneficios económicos para las minas de la circunscripción debida a la continuidad de operaciones en la planta Ovalle; y, 3) Beneficios económicos para los usuarios de agua de la circunscripción debida a la racionalización de agua en la planta.

Los resultados de la internalización de estas externalidades en el análisis de factibilidad, concluyeron en la viabilidad de construir la planta a escala de tratamiento de solución de descarte, equivalente al procesamiento mensual de 14,000 toneladas de mineral crudo, para cotizaciones del cobre mayores a 68¢/lb.

De estos resultados, se propone en conclusión, mejorar la productividad hasta alcanzar el nivel de procesamiento de 14,000 toneladas mensuales, y la construcción de la planta a escala para el tratamiento integral de la solución de descarte a ser generado. Bajo este esquema, se prevendrá la contaminación externa y se reciclará la solución tratada al circuito de lixiviación, mejorando a su vez la recuperación de cobre; con ello aproximarse a una operación ideal desde los puntos de vista técnico y ambiental.

Sin embargo, la inversión involucrada a este proyecto es compleja bajo la actual coyuntura. De modo que la decisión queda en pos del directorio de ENAMI, quizás en espera de la recuperación del precio de cobre en el futuro. Sin embargo, la propuesta consiste en operar a capacidad instalada de 14,000t/mes con ampliación a escala de la planta de solución de descarte, para cuando la situación viere a favorable, por ende, el nivel de operación sobre 6,000t/mes debe tratarse de una situación coyuntural.

Ante esta situación, se requiere analizar el *modus operandi* amigable al medio ambiente en los actuales niveles de productividad, aprovechando a su máxima capacidad la planta modelo. Sobre este aspecto, se analizó en forma conjunta con la parte chilena los procedimientos transitorios, que hace mención el presente informe.

De acuerdo a la información obtenida y los resultados de estudios en campo, el ámbito de aplicación y difusión de las medidas de prevención de contaminación efectuada en la planta Ovalle, es limitado tal cual se practicó en ésta. Razón por la cual, se decidió ampliar el concepto abarcando a sectores dónde aplicar la tecnología bacteriana. Estos conceptos carecen de definición, sin embargo, se espera que sean desarrollados por parte de ENAMI.

Finalmente, con la concienciación de prevención de la contaminación observada en los últimos años, y de acuerdo a la política de asumir la responsabilidad del que la genera, se propone prevenir nueva contaminación en planta Ovalle y restaurar los pasivos ambientales en forma decidida. Con la finalidad de presentar los logros alcanzados en la planta Ovalle y los temas relacionados a la prevención de contaminación, se realizaron sendos seminarios en las ciudades de La Serena (marzo de 2002) y Santiago (octubre de 2002), tratando de concienciar a la audiencia y la sociedad en general.

Como conclusión del presente estudio, agradecemos la cordialidad y cooperación mutua durante todo el período del estudio; asimismo por la disponibilidad de ENAMI e instituciones

relacionadas tanto en la apertura de información como por las facilidades brindadas para la realización de actividades. Esperamos en un futuro muy próximo, la planta Ovalle alcance la excelencia técnica, económica y ambiental.