

No .

AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON(JICA)  
REPUBLICA DE CHILE  
MINISTERIO DE MINERIA  
EMPRESA NACIONAL DE MINERIA

EL ESTUDIO  
DE OPERACION COMPATIBLE  
CON EL MEDIO AMBIENTE DE PLANTAS  
DE PROCESAMIENTO DE MINERALES  
MEDIANTE BIOTECNOLOGIA  
EN LA REPUBLICA DE CHILE

INFORME FINAL

DICIEMBRE, 2002

DOWA ENGINEERING CO., LTD.  
MITSUI MINERAL DEVELOPMENT ENGINEERING CO., LTD.

MPN

JR

02-172

## PREFACIO

En respuesta al requerimiento del Gobierno de la República de Chile, el Gobierno del Japón decidió realizar el Estudio "Operación Compatible con el Medio Ambiente de Plantas de Procesamiento de Minerales mediante Biotecnología en la República de Chile" y asignar el estudio a la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA).

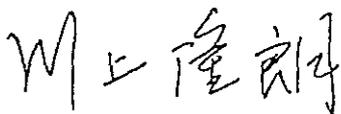
JICA envió una misión de estudio liderado por el Sr. Shigeru HASHIMOTO de Dowa Engineering Co., Ltd. y conformado por Dowa Engineering Co., Ltd. y Mitsui Mineral Development Engineering Co., Ltd. (MINDECO), a la República de Chile siete veces entre octubre de 1999 y octubre de 2002.

La misión llevó a cabo discusiones con los oficiales relacionados del Gobierno de la República de Chile, y condujo estudios de campo inherentes. Luego de retorno a Japón, la misión condujo estudios adicionales y compiló el presente informe final.

Espero que el presente reporte contribuya a una operación compatible con el medio ambiente para las plantas de procesamiento de minerales, mediante el uso de biotecnología en la República de Chile y a la afirmación de las relaciones amistosas entre ambos países.

Quisiera expresar mi sincero aprecio a los oficiales del Gobierno de la República de Chile por su valiosa cooperación a través del estudio.

Diciembre 2002



---

Takao KAWAKAMI

Presidente

Agencia de Cooperación Internacional del Japón

Tokio, Japón

Sr. Takao KAWAKAMI  
Presidente  
Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA)

Estimado Señor Presidente T. Kawakami:

### Carta de Comunicación

Nos es grato entregarle el informe final del estudio "Operación Compatible con el Medio Ambiente de Plantas de Procesamiento de Minerales mediante Biotecnología en la República de Chile", el cual ha culminado recientemente.

El estudio fue llevado a cabo con el propósito de mejorar la metalurgia y el medio ambiente inherentes a la planta Ovalle de ENAMI en Chile, especialmente en la prevención de contaminación causada por la solución de descarte del proceso de lixiviación. Para el propósito se instaló una planta modelo (de prueba) con la finalidad de demostrar los resultados de pruebas en laboratorio, y con su operación continua, comprobar satisfactoriamente la purificación de la solución de descarte.

El presente informe final está constituido con los resultados de las operaciones en la planta modelo, diseño de una planta de tratamiento de solución de descarte a escala industrial, estudio de factibilidad de esta planta a escala industrial, así como la posible aplicación del proceso a otras industrias en Chile.

Con la implementación rigurosa de las recomendaciones referidas en el presente informe, la mencionada planta podrá adecuarse hacia "una operación compatible con el medio ambiente" resolviendo completamente sus problemas de contaminación. Es más, se espera que la presente tecnología pueda ser aplicada a otras industrias en Chile a través de la contraparte para la protección del medio ambiente.

Expresamos nuestros sinceros agradecimientos a JICA, al Ministerio de Relaciones Exteriores y al Ministerio de Economía, Comercio e Industria. Asimismo, quisiéramos expresar nuestros profundos agradecimientos al Ministerio de Minería y otras autoridades del Gobierno de Chile, la Embajada del Japón en Chile, la Oficina de JICA en Santiago y la Oficina de MMAJ en Santiago por la íntima colaboración y asistencia recibida durante nuestro período de investigación.

Sinceramente,

Diciembre de 2002

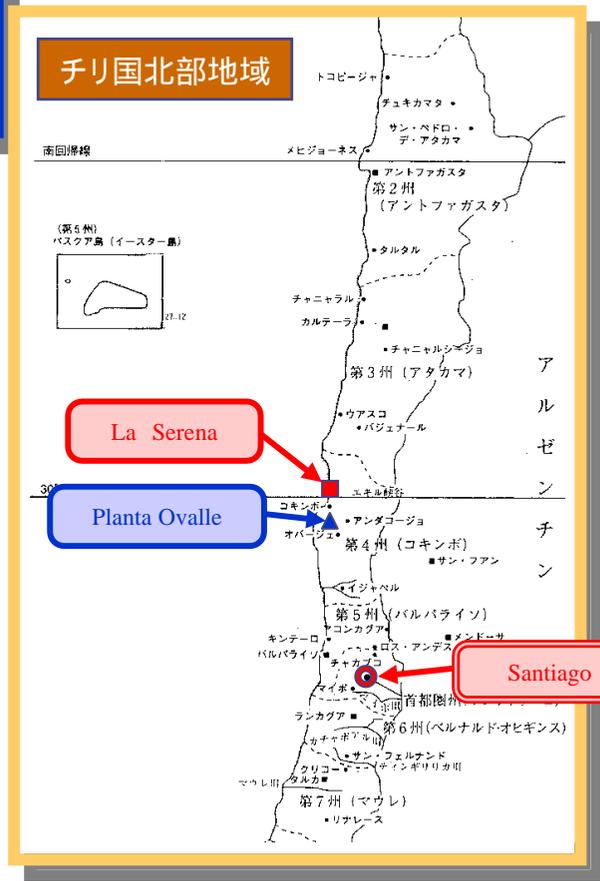
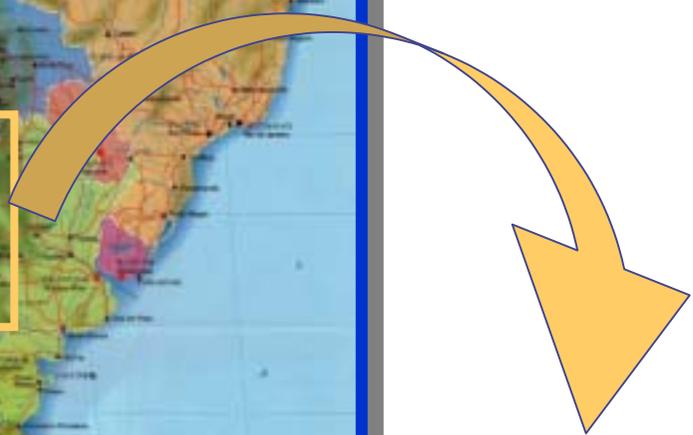


Shigeru HASHIMOTO

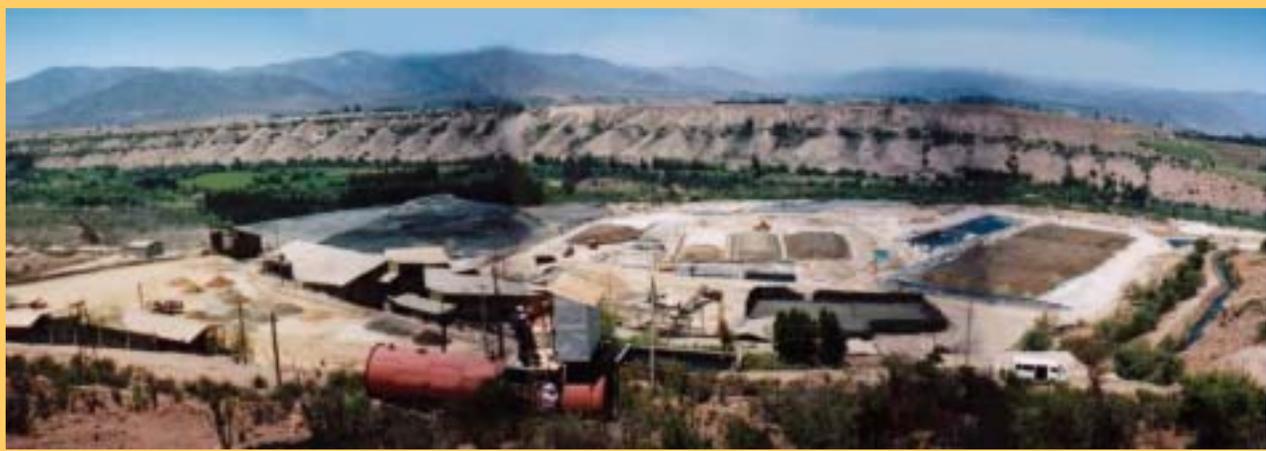
Jefe de Misión

Estudio de Desarrollo de JICA "Operación Compatible con el Medio Ambiente de Plantas de Procesamiento de Minerales mediante Biotecnología en la República de Chile"

# Mapa de Chile y Ubicación de Planta Ovalle



# Vista Panorámica de Planta Ovalle



# Planta Ovalle (Minerales Sulfuros )



Minerales



Flotación

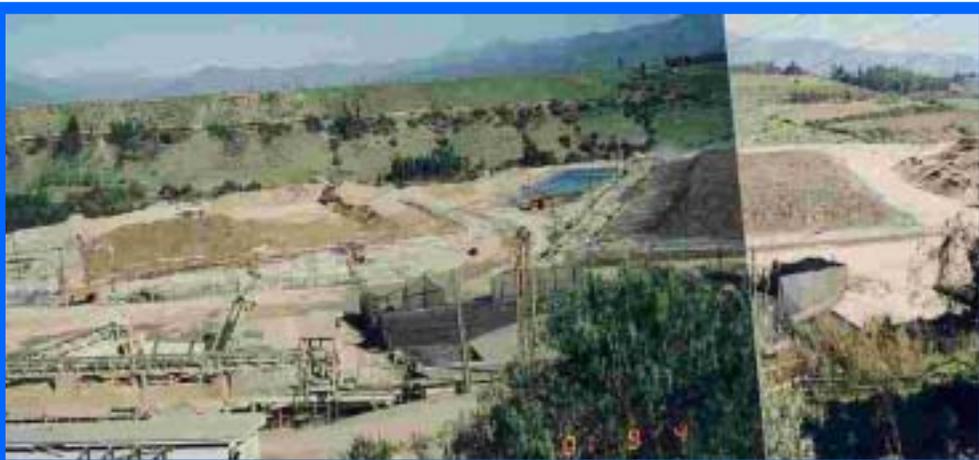


Concentrado

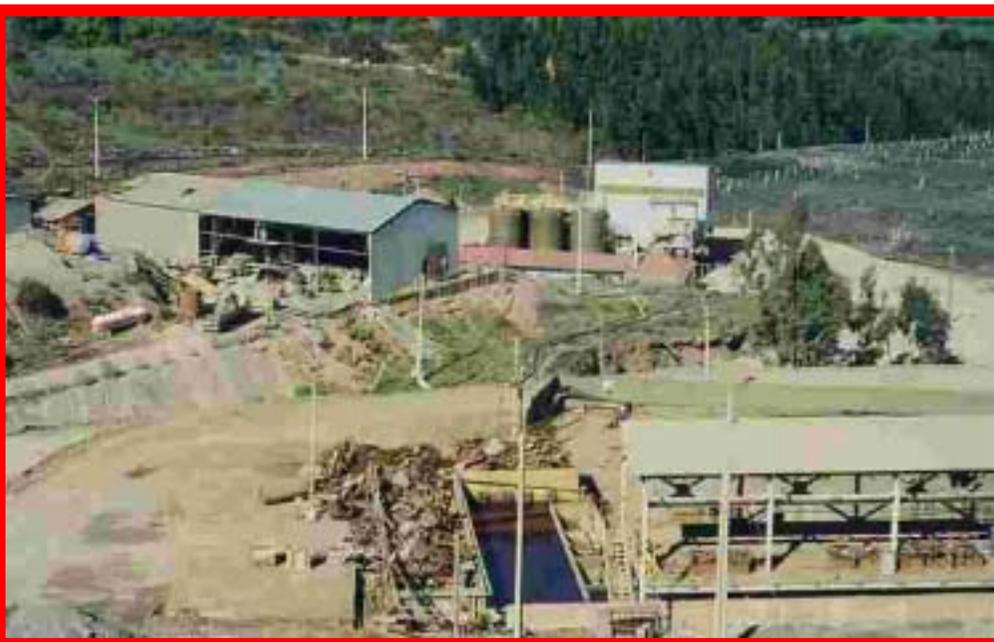
# Planta Ovalle (Minerales Oxidos )



Minerales



Aglomeración



Precipitación

# Situación de Contaminación, Alrededores Planta Ovalle



Aguas arriba de Planta Ovalle



Poza de evaporación y Dique

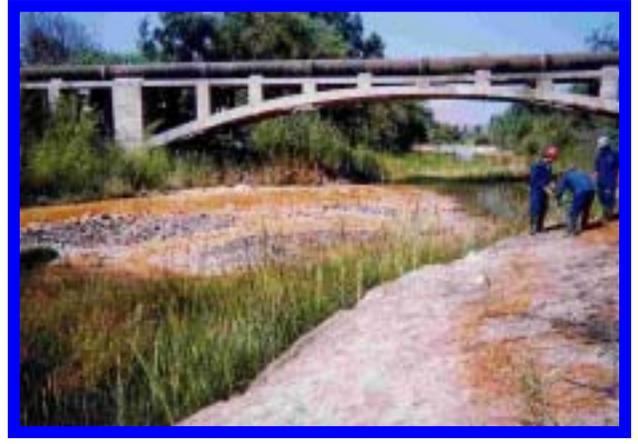


Aguas abajo de Planta Ovalle

# Lugar de Muestreo para Diagnóstico Ambiental



**M - 1**



**M - 5**



**M - 4 A**



**M - 6**



**M - 4 B**



**M - 7**

## Condiciones de Pruebas Básicas



Prueba de Oxidación



Torta de Precipitados de Neutralización

# Bacteria Oxidante de Fierro



Cepa de Ovale



Cepa de Andacollo

## Vista Panorámica de Planta Modelo



## Pruebas en Planta Modelo



Tanque de Oxidación



Tanque de Neutralización



Tanque de Floculación



Filtroprensa



Colector de Bacteria



Torta Deshidratada

## Solución de cada proceso y torta



Efluente Proceso Precipitación, Proceso oxidación Bacteriana, Tanque Oxidación Bacteriana, Solución Oxidada, Solución Neutralizada, Solución Filtrada



Torta de Filtraprensa

# Seminarios



Primer Seminario



Segundo Seminario

## INDICE

1 .	Objetivos y Antecedentes del Estudio-----	1-1
2 .	Situación de la Minería en Chile-----	2-1
2.1	Sinopsis de la Minería Chilena-----	2-1
2.2	Organismos y Legislación Medioambiental en Chile-----	2-4
2.3	Sinopsis de ENAMI-----	2-7
3 .	Diagnóstico Operacional y Ambiental de la Planta Ovalle-----	3-1
3.1	Descripción de la Planta Ovalle-----	3-1
3.2	Diagnóstico de las Operaciones-----	3-9
3.3	Diagnóstico del Medio Ambiente-----	3-70
4 .	Transferencia de Tecnología en Metodología de Oxidación Bacteriana-----	4-1
4.1	Resultados de Pruebas Básicas-----	4-1
4.2	Descripción y Construcción de Planta Modelo-----	4-18
4.3	Resultados de Pruebas en Planta Modelo-----	4-24
4.4	Situación Actual y Proyección Futura de la Planta Modelo-----	4-37
4.5	Items de Transferencia de Tecnología-----	4-39
5 .	Planeamiento de la Planta a Escala de Tratamiento de Solución de Descarte-----	5-1
5.1	Condiciones Previas para el Análisis de Planta a Escala-----	5-1
5.2	Diseño Conceptual de la Planta a Escala-----	5-10
5.3	Cálculo de Costos-----	5-22
6 .	Estudio de Factibilidad de la Planta a Escala de Tratamiento de Solución de Descarte-----	6-1
6.1	Antecedentes-----	6-1
6.2	Procedimiento de Aprobación de Proyectos-----	6-4
6.3	Producción y Mercado-----	6-5
6.4	Plan de Ejecución-----	6-12
6.5	Análisis Financiero-----	6-19
6.6	Análisis Económico-----	6-21
6.7	Efecto Económico para Productores de Precipitado de Cobre (Terceros)-----	6-28
6.8	Conclusiones del Análisis Económico-Financiero-----	6-30
	ANEXO-----	6-33
7 .	Plan de Operación Compatible con el Medio Ambiente en Planta Ovalle-----	7-1
7.1	Optima Operación-----	7-1
7.2	Metodología de Operación Coyuntural-----	7-2
7.3	Plan de Operación Compatible con el Medio Ambiente-----	7-7

8 . Aplicabilidad de Oxidación Bacteriana en Chile (Plan Maestro) -----	8-1
8.1 Descripción de la Oxidación Bacteriana-----	8-1
8.2 Condiciones Requeridas para la Aplicación de Tecnología -----	8-1
8.3 Campo de Aplicación-----	8-2
8.4 Ambito de Aplicación de la Tecnología en Chile-----	8-5
8.5 Compilación -----	8-7
9 . Conclusiones-----	9-1

## Lista de Abreviaturas y Terminología del Informe Final

### 【Abreviaturas】

1. COCHILCO: Comisión Chilena del Cobre
2. CODELCO: Corporación Nacional del Cobre de Chile
3. CONAMA: Comisión Nacional del Medio Ambiente
4. COREMAS: Comisiones Regionales del Medio Ambiente
5. DCF: (*Discounted Cash Flow*) Flujo de caja descontado
6. ENAMI: Empresa Nacional de Minería
7. IRR: (*Internal Rate of Return*) Tasa interna de retorno
8. LME: (*London Metal Exchange*) Mercado de metales de Londres
9. LME-*settlement*: Precio al contado en LME
10. MIDEPLAN: Ministerio de Planificación y Cooperación
11. NPV: (*Net Present Value*) Valor actual neto, valor presente neto
12. RCU: (*Rate of Capacity Utilization*) Tasa de utilización de capacidad instalada
13. SAG: Servicio Agrícola y Ganadero
14. SEIA: Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
15. SERNAGEOMIN: Servicio Nacional de Geología y Minería
16. SX-EW: (*Solvent Extraction-Electrowinning*) Extracción por solventes y electrodeposición
17. TIR: Tasa Interna de Retorno
18. VAN: Valor actual neto, valor presente neto

### 【Terminología】

#### <Procesamiento de Minerales>

1. Procesamiento de minerales: concentración de minerales aplicando la selectividad de determinados minerales a la granulometría, gravimetría, hidro-afinidad superficial, magnetismo, conductividad superficial, etc. Entre otras, las técnicas de separación mayormente difundidas son clasificación, separación gravimétrica, flotación, separación magnética, concentración estática, etc.
2. Minerales óxidos de cobre: principalmente se refiere a minerales enlazados con oxígeno, no obstante en el presente estudio se incluye a otros minerales como minerales hidroxilados, sulfatados, fosfatados, carboxilados, haluros, silicatos, etc. Es decir exceptuándose a los minerales sulfurados. Como minerales representativos se encuentran crisocola ( $\text{CuSiO}_3\text{-nH}_2\text{O}$ ), malaquita ( $\text{CuCO}_3\text{-Cu(OH)}_2$ ), etc.
3. Minerales sulfurados de cobre: minerales enlazados al azufre. Entre ellos se tienen calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), calcocina ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) y covelina ( $\text{CuS}$ ).
4. Método de precipitación (cementación): el caso del estudio en particular se trata del proceso de obtención de precipitados de cobre (cemento de cobre) mediante chancado, aglomeración,

lixiviación y precipitación de minerales óxidos de cobre. Para la obtención del cobre electrolítico requiere adicionalmente de procesos pirometalúrgicos y refinación electrolítica.

5. Método de extracción por solventes-electrodeposición (*SX-EW*: Solvent Extraction-Electro Winning): en el caso particular del presente estudio, se trata del proceso de obtención de cobre electrolítico mediante chancado, aglomeración, lixiviación y extracción por solventes y electrodeposición de minerales óxidos y sulfurados secundarios de cobre. Es decir, produce cobre electrolítico solamente con procesos hidrometalúrgicos.
6. Consumo unitario: costo por unidad procesada, v.g. costo de consumo por cada tonelada de mineral crudo procesado.
7. Minerales sulfurados de cobre primarios (primary sulphide copper ore): minerales sulfurados de cobre de formación primitiva, entre ellos calcopirita es el más representativo.
8. Minerales sulfurados de cobre secundarios (secondary sulphide copper ore) : minerales de formación secundaria sobre minerales primitivos sulfurados. Los minerales representativos son calcocita y covelina.
9. Método de flotación: el caso del estudio en particular se trata del proceso de obtención de concentrados de cobre mediante chancado, molienda y flotación de minerales sulfurados de cobre. Para la obtención del cobre electrolítico requiere adicionalmente de procesos pirometalúrgicos y refinación electrolítica.

#### <Economía>

10. *Cash Cost*: Costo efectivo, costo operativo menos gastos financieros y depreciación.
11. Deseconomía externa: pérdida económica por terceros mediante la realización del proyecto.
12. Economía externa (externalidad): beneficio obtenido por terceros mediante la realización del proyecto.
13. Flujo de caja descontado: flujo de caja calculado con valores actuales netos de cada período del proyecto.
14. Pasivo ambiental: degradación ambiental debida a contaminación pasada, cuantificable como pasivo contable del responsable.
15. *Sunk Cost*: costo hundido, costo que no repercute en la decisión de un proyecto de inversión.
16. Tasa interna de retorno: tasa de descuento mediante el cual el valor actual neto del proyecto se hace cero.
17. Valor actual neto: valor actualizado del flujo de caja del proyecto descontado anualmente en forma progresiva mediante una tasa de descuento equivalente al costo del capital.

#### 【Unidades】

1. CH\$: pesos chilenos
2. CH\$/Ha : pesos chilenos por hectárea
3. CH\$/mt : pesos chilenos por tonelada métrica
4. CH\$/US\$: pesos chilenos por dólar norteamericano

5. Ha: hectárea
6.  $\text{kg/m}^3$ : kilogramos por metro cúbico
7.  $\text{m}^3$ : metro cúbico
8.  $\text{m}^3/\text{día}$ : metros cúbicos por día
9. tm: tonelada métrica
10. tm/mes: toneladas métricas por mes
11. tm/año: toneladas métricas por año
12. tmf: tonelada métrica fina (contenido metálico puro)
13. tms: tonelada métrica seca
14. tms/mes: toneladas métricas por mes
15. tms/año: toneladas métricas por año
16. US\$: dólar norteamericano
17. US\$/año: dólares norteamericanos por año
18. US\$/kg: dólares norteamericanos por kilogramo
19. US\$-lb/¢-tm: dólares norteamericanos-libra por centavo de dólar norteamericano-tonelada métrica
20. US\$/ $\text{m}^3$ : dólares norteamericanos por metro cúbico
21. US\$/tm: dólares norteamericanos por tonelada métrica
22. US\$/tms: dólares norteamericanos por tonelada métrica seca
23. ¢/lb: centavos de dólares norteamericanos por libra

## Indice de Figuras y Cuadros

### < FIGURAS >

#### 2 . Situación de la Minería en Chile

Figura 2-1	Ubicación de Minas en Chile.....	2-1
Figura 2-2	Evolución de Producción de Cobre .....	2-2
Figura 2-3	Estructura de Producción del Cobre en Chile.....	2-2
Figura 2-4	Destino de Exportaciones de Cobre (Año 2000).....	2-3
Figura 2-5	Organigrama de CONAMA y Su Relación con Otras Instituciones.....	2-6
Figura 2-6	Organigrama del Ministerio de Minería.....	2-9
Figura 2-7	Organigrama de ENAMI.....	2-10

#### 3 . Diagnóstico Operacional y Ambiental de la Planta Ovalle

Figura 3-1	Instalaciones de la Planta Ovalle.....	3-7
Figura 3-2	Diagrama de Bloques con Balance de Materia de Minerales Oxidos de Cobre 2000 .....	3-25
	Planta Ovalle, ENAMI	
Figura 3-3	Diagrama de Bloque: Procesamiento de Minerales Oxidos de Cu: Planta Ovalle, ENAMI.....	3-26
Figura 3-4	Correlación entre la Tasa de Operación del Procesamiento de Minerales Oxidos .....	3-28
	de Cobre versus Cotización del Cobre	
Figure 3-5	Diagrama de Bloques con Balance de Materia de Minerales Sulfuros de Cobre 2000.....	3-54
	Planta Ovalle, ENAMI	
Figura 3-6	Diagrama de Bloque: Procesamiento de Minerales Sulfurados de Cu: Planta Ovalle, ENAMIII.....	3-55
Figura 3-7	Correlación entre la Tasa de Operación del Procesamiento de Minerales Sulfurados .....	3-57
	de Cobre versus Cotización del Cobre	
Figura 3-8	Eficiencia Oprima y Reducción de Costos en Sección Molienda.....	3-58
	Grado de Liberación Suficiente	
Figura 3-9	Mapa de Alrededores de la Planta Ovalle.....	3-71
Figura 3-10	Análisis en Monitoreo en M-1, M-2, M-3 (Dic '99 Dec ~ Feb '02).....	3-78
Figura 3-11	Análisis en Puntos de Monitoreo M-4, M-4A, M-4B (Dic '99 ~ Feb '02).....	3-79
Figura 3-12	Análisis en Puntos de Monitoreo M-5, M-6, M-7 ( Dic '99 ~ Feb '02 ) .....	3-81
Figura 3-13	Carga de Fe-T, Cl, SO <sub>4</sub> M-1 • M-5 (Dic '99 ~ Feb '02).....	3-83

#### 4 . Transferencia de Tecnología en Metodología de Oxidación Bacteriana

Figura 4-1	Prueba Básica (1): Variación en Cinética de Oxidación de Fe <sup>2+</sup> .....	4-5
Figura 4-2	Prueba Básica (1): Variación en Concentración de Fe <sup>2+</sup> .....	4-5
Figura 4-3	Prueba Básica (1): Procedimiento de las Pruebas de Neutralización.....	4-10
Figura 4-4	Pruebas Básicas (2): Comparación de Cinética de Oxidación de Fe <sup>2+</sup> .....	4-16
Figura 4-5	Pruebas Básicas (2): Variación de Concentración de Fe <sup>2+</sup> en Soluciones Tratadas .....	4-17
Figura 4-6	Diagrama de Flujo del Proceso: Planta Modelo.....	4-18
Figura 4-7	Ubicación de Planta Modelo.....	4-23

Figura 4-8	Fe <sup>2+</sup> y Fe-T en la Solución de Descarte .....	4-26
Figura 4-9	Concentración de Fe <sup>2+</sup> en el Circuito de Oxidación .....	4-27
Figura 4-10	Cinética de Oxidación de Fe <sup>2+</sup> por Tanque .....	4-27
Figura 4-11	Correlación entre Volumen de Tratamiento y Generación de Sedimentos (m <sup>3</sup> /día) .....	4-30
Figura 4-12	Correlación entre Volumen de Tratamiento y Generación de Sedimentos (t <sub>seca</sub> /día) .....	4-30
Figura 4-13	Evolución de Humedad de Torta .....	4-31
Figura 4-14	Correlación entre Concentraciones de Fe en Solución Oxidada y Generación de Sedimentos .....	4-31
Figura 4-15	Resultado de Lixiviación Utilizando Solución Tratada de Planta Modelo .....	4-33
Figura 4-16	Resultado de Lixiviación Utilizando Solución Oxidada de Planta Modelo .....	4-34
Figura 4-17	Calidad de Agua en la Solución de Descarte .....	4-38
5	. Planeamiento de la Planta a Escala de Tratamiento de Solución de Descarte	
Figura 5-1	Cotización del Cobre versus Volumen de Procesamiento de Mineral .....	5-1
Figura 5-2	Flujo Simplificado de la Planta a Escala .....	5-3
Figura 5-3	Diagrama de Flujo de la Planta a Escala (Caso 1) .....	5-13
Figura 5-4	Distribución en Planta de la Planta a Escala (Caso 1) .....	5-14
Figura 5-5	Diagrama de Flujo de la Planta a Escala (Caso 2) .....	5-20
Figura 5-6	Distribución en Planta de la Planta a Escala (Caso 2) .....	5-21
6	. Estudio de Factibilidad de la Planta a Escala de Tratamiento de Solución de Descarte	
Figura 6-1	Antiguo Procesamiento de Minerales Oxidos de Cobre en la Planta Ovalle .....	6-2
Figura 6-2	Actual Procesamiento de Minerales Oxidos de Cobre en la Planta Ovalle .....	6-3
Figura 6-3	Procedimiento de Aprobación de Proyectos en ENAMI .....	6-4
Figura 6-4	Oferta de Precipitado versus Cotización de Cobre .....	6-6
Figura 6-5	Estrucura de la Oferta de Precipitados de Cobre (Año 2000) .....	6-7
Figura 6-6	Futuro Procesamiento de Minerales Oxidos de Cobre en la Planta Ovalle .....	6-18
Figura 6-7	Area de Impacto Estimado en la Cuenca del Estero El Ingenio .....	6-24
Figura 6-8	Valor Agregado del Precipitado de Cobre en Función a la Ley .....	6-29
Figura 6-9	Interrelación Propuesta-Beneficio .....	6-32
7	. Plan de Operación Compatible con el Medio Ambiente en Planta Ovalle	
Figura 7-1	Procesamiento Compatible con el Medio Ambiente: Oxidos de Cobre .....	7-1
Figura 7-2	Procedimiento de Investigación para la Recuperación de Metales de Efluentes de Mina .....	7-9
Figura 7-3	Adecuación hacia el Proceso Compatible con el Medio Ambiente .....	7-10
8	. Aplicabilidad de Oxidación Bacteriana en Chile (Plan Maestro)	
Figura 8-1	Aplicación de Oxidación Bacteriana para el Tratamiento de DAR .....	8-2
Figura 8-2	Aplicación de Oxidación Bacteriana en Tratamiento de Humos de Fundición .....	8-3

< CUADROS >

2 . Situación de la Minería en Chile

Cuadro 2-1	Capacidad de Procesamiento de las Plantas de ENAMI.....	2-7
Cuadro 2-2	Resultados de Operaciones en las Fundiciones y Refinería de ENAMI (año 2000).....	2-8

3 . Diagnóstico Operacional y Ambiental de la Planta Ovalle

Cuadro 3-1	Situación de la Producción en la Planta Ovalle de ENAMI.....	3-2
Cuadro 3-2	Ranking de Producción de la Planta Ovalle de ENAMI (Resultados año2000).....	3-3
Cuadro 3-3	Resultados de Operaciones de Plantas de Procesamiento de ENAMI Año 2000.....	3-6
Cuadro 3-4	Comparación entre Métodos de Procesamiento de Minerales de Cobre.....	3-29
Cuadro 3-5	Resultados de Procesamiento de Oxidos en 1994 Planta Ovalle, ENAMI.....	3-30
Cuadro 3-6	Resultados de Procesamiento de Oxidos en 1995 Planta Ovalle, ENAMI.....	3-31
Cuadro 3-7	Resultados de Procesamiento de Oxidos en 1996 Planta Ovalle, ENAMI.....	3-32
Cuadro 3-8	Resultados de Procesamiento de Oxidos en 1997 Planta Ovalle, ENAMI.....	3-33
Cuadro 3-9	Resultados de Procesamiento de Oxidos en 1998 Planta Ovalle, ENAMI.....	3-34
Cuadro 3-10	Resultados de Procesamiento de Oxidos en 1999 Planta Ovalle, ENAMI.....	3-35
Cuadro 3-11	Resultados de Procesamiento de Oxidos en 2000 Planta Ovalle, ENAMI.....	3-36
Cuadro 3-12	Consumos de Principales Materiales para el Proceso.....	3-9
Cuadro 3-13	Resultados de Tasas de Operación para Procesamiento de Oxidos en Planta Ovalle, ENAMI.....	3-37
Cuadro 3-14	Cotización del Cobre Metálico.....	3-39
Cuadro 3-15	Tasa de Operación en el Procesamiento de Minerales Oxidos y Cotizaciones.....	3-11
Cuadro 3-16	Objetivos para el Procesamiento de Minerales Oxidos de Cu: Planta Ovalle, ENAMI.....	3-40
Cuadro 3-17	Resultados de Procesamiento de Sulfuros en 1994 Planta Ovalle, ENAMI.....	3-59
Cuadro 3-18	Resultados de Procesamiento de Sulfuros en 1995 Planta Ovalle, ENAMI.....	3-60
Cuadro 3-19	Resultados de Procesamiento de Sulfuros en 1996 Planta Ovalle, ENAMI.....	3-61
Cuadro 3-20	Resultados de Procesamiento de Sulfuros en 1997 Planta Ovalle, ENAMI.....	3-62
Cuadro 3-21	Resultados de Procesamiento de Sulfuros en 1998 Planta Ovalle, ENAMI.....	3-63
Cuadro 3-22	Resultados de Procesamiento de Sulfuros en 1999 Planta Ovalle, ENAMI.....	3-64
Cuadro 3-23	Resultados de Procesamiento de Sulfuros en 2000 Planta Ovalle, ENAMI.....	3-65
Cuadro 3-24	Resultados de Procesamiento de Sulfuros en 2001 Planta Ovalle, ENAMI.....	3-66
Cuadro 3-25	Consumos de Principales Materiales para el Proceso (2000) ,.....	3-41
Cuadro 3-26	Resultados de Tasas de Operación para Procesamiento de Sulfuros en Planta Ovalle, ENAMI.....	3-67
Cuadro 3-27	Tasa de Operación en el Procesamiento de Minerales Sulfuros y Cotizaciones.....	3-43
Cuadro 3-28	Objetivos para el Procesamiento de Minerales Sulfurados de Cu: Planta Ovalle, ENAMI.....	3-69
Cuadro 3-29 ~ 55	Análisis de Monitoreo (Diciembre '99 ~ Febrero '02).....	3-84
Cuadro 3-56	Estándares de Emisión de Residuos Líquidos / Normas de Calidad de Agua de Riego.....	3-73
	(Relacionados a la Actividad Minera)	
Cuadro 3-57	Cálculo de Carga de Infiltraciones.....	3-74
Cuadro 3-58	Cantidades Máximas Permisibles de Emisión de Arsénico.....	3-77

#### 4 . Transferencia de Tecnología en Metodología de Oxidación Bacteriana

Cuadro 4-1 Solución 9K.....	4-2
Cuadro 4-2 Medios Sólidos.....	4-2
Cuadro 4-3 Pruebas Básicas (1): Composición de Solución de Descarte y Período.....	4-4
de Pruebas de Tratamiento Continuo	
Cuadro 4-4 Pruebas Básicas (1): Condiciones de Pruebas de Tratamiento Continuo.....	4-4
Cuadro 4-5 Condiciones de Adición de Nutriente.....	4-6
Cuadro 4-6 Pruebas Básicas (1): Resultados del Cultivo Continuo (Cultivo Iterativo).....	4-7
Cuadro 4-7 Calidad de Solución de Descarte de la Planta Ovalle (Tomadas el 5 de Nov. de 1999).....	4-8
Cuadro 4-8 Calidad de Solución de Descarte de la Planta Ovalle.....	4-8
(Tomadas aprox. dos meses previos a las pruebas y almacenadas en laboratorio)	
Cuadro 4-9 Pruebas Básicas (1): Alkali requerido para la neutralización de solución no oxidada.....	4-9
(solución de descarte)	
Cuadro 4-10 Pruebas Básicas (1): Alkali requerido para la neutralización.....	4-9
de solución oxidada (solución de descarte oxidada)	
Cuadro 4-11 Pruebas Básicas (1): Resultado de Pruebas de Neutralización con Carbonato de Calcio.....	4-10
Cuadro 4-12 Pruebas Básicas (1): Calidad de Solución Oxidada y Neutralizada con Carbonato de Calcio.....	4-11
Cuadro 4-13 Pruebas Básicas (1): Alkali requerido para la neutralización.....	4-11
de solución neutralizada con carbonato de calcio	
Cuadro 4-14 Pruebas Básicas (1): Resultado de Pruebas de Neutralización con Cal Apagada.....	4-11
Cuadro 4-15 Pruebas Básicas (1): Resultados de Pruebas de Neutralización.....	4-12
de Aguas No Oxidadas con Cal Apagada	
Cuadro 4-16 Pruebas Básicas (1): Comparación de la Cantidad de Consumo del Neutralizante.....	4-12
Cuadro 4-17 Pruebas Básicas (1): Resultado de Pruebas de Floculación y Precipitación.....	4-13
de Sedimentos Portadores de Bacterias	
Cuadro 4-18 Pruebas Básicas (2): Calidad de Soluciones Tratadas.....	4-15
Cuadro 4-19 Pruebas Básicas (2): Condiciones de Tratamiento Continuo.....	4-15
Cuadro 4-20 Especificaciones de la Solución de Descarte.....	4-19
Cuadro 4-21 Lista de Principales Equipos.....	4-21
Cuadro 4-22 Condiciones de las Pruebas.....	4-24
Cuadro 4-23 Resultados de Análisis de la Solución de Descarte (Análisis Periódico).....	4-25
Cuadro 4-24 Calidad de Solución de Descarte (Resultados de análisis diario: 6/9/2001-31/3/2002).....	4-25
Cuadro 4-25 Consumo de Carbonato de Calcio en las Pruebas de Planta Modelo.....	4-28
Cuadro 4-26 Consumo de Cal Apagada en las Pruebas de Planta Modelo.....	4-28
Cuadro 4-27 Estimación de Costos de Reactivos (Para 100m <sup>3</sup> /día de tratamiento en Planta Modelo).....	4-29
Cuadro 4-28 Calidad de los Sedimentos.....	4-32
Cuadro 4-29 Condiciones de Pruebas de Lixiviación Utilizando Solución Tratada en Planta Modelo.....	4-33
Cuadro 4-30 Condiciones de Pruebas de Lixiviación Utilizando Solución Oxidada en Planta Modelo.....	4-34
Cuadro 4-31 Condiciones de Operación en Planta Modelo.....	4-35
Cuadro Anexo 4-1 Calidad de Aguas de la Solución de Descarte y Solución Oxidada.....	4-40

Cuadro Anexo 4-2 Resultados en el Circuito de Oxidación .....	4-48
Cuadro Anexo 4-3 Resultados en los Circuitos de Neutralización .....	4-56
Cuadro Anexo 4-4 Resultados de Análisis Periódico .....	4-64

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

Cuadro 5-1 Volumen de Generación de Solución de Descarte por Caso .....	5-1
Cuadro 5-2 Parámetros de Diseño: Características de Solución de Descarte .....	5-2
Cuadro 5-3 Parámetros de Diseño de Planta Modelo: Características de Solución de Descarte.....	5-3
Cuadro 5-4 Modificaciones en Planta Modelo.....	5-5
Cuadro 5-5 Lista de Equipos de Ampliación: Caso 1 .....	5-11
Cuadro 5-6 Lista de Equipos de Ampliación: Caso 2 .....	5-16

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

Cuadro 6-1 Oferta de Precipitado versus Cotización de Cobre .....	6-6
Cuadro 6-2 Estructura de la Oferta de Precipitados de Cobre (Año 2000).....	6-7
Cuadro 6-3 Reservas de Minerales Oxidos de Cobre (Propiedades de ENAMI) .....	6-9
Cuadro 6-4 Materiales Agregados: Procesamiento de Minerales Oxidos de Cobre .....	6-9
Cuadro 6-5 Materiales Agregados: Planta de Tratamiento de Solución de Descarte .....	6-10
Cuadro 6-6 Materiales para Planta y Costo de Mantenimiento.....	6-10
: Procesamiento de Minerales Oxidos de Cobre	
Cuadro 6-7 Servicios Generales: Procesamiento de Minerales Oxidos de Cobre.....	6-10
Cuadro 6-8 Costos Indirectos y Administrativos: Procesamiento de Minerales Oxidos de Cobre.....	6-11
Cuadro 6-9 Mano de Obra: Procesamiento de Minerales Oxidos de Cobre .....	6-11
Cuadro 6-10 Costos de Planta a Escala de Tratamiento de Solución de Descarte.....	6-12
Cuadro 6-11 Resultados del Análisis Financiero.....	6-19
Cuadro 6-12 Valor Agregado en el Proceso de Producción de Cobre Metálico .....	6-20
Cuadro 6-13 Inversión en Preservación Ambiental.....	6-21
Cuadro 6-14 Externalidades Pro Minas de la Zona de Influencia .....	6-23
Cuadro 6-15 Externalidades Producto de la Racionalización del Recurso Hídrico .....	6-25
Cuadro 6-16 Valorización de Externalidades .....	6-26
Cuadro 6-17 Resultados del Análisis Económico.....	6-26
Cuadro 6-18 Cálculo del Valor Agregado de los Precipitados de Cobre Producidos por Terceros.....	6-29

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

Cuadro 7-1 Sinopsis de Metodologías de Procesamiento : Planta Ovalle, ENAMI.....	7-8
Cuadro 7-2 Procesamiento Compatible con el Medio Ambiente.....	7-6

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

Cuadro 8-1	Aplicación de Oxidación Bacteriana para Drenaje Acido de Roca (DAR) en Minas .....8-8 (Propuesta)
Cuadro 8-2	Gran Minería de Cobre en Chile.....8-9

< OTHERS >

Chapter 4	Fotografía.....4-66
Chapter 6	ANEXO.....6-33