

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
RESUMEN

DICIEMBRE, 2002

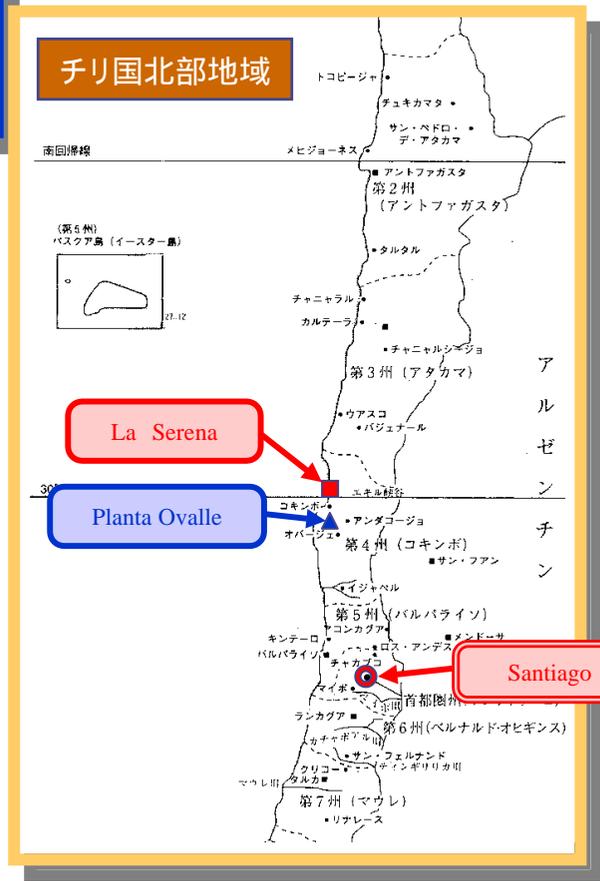
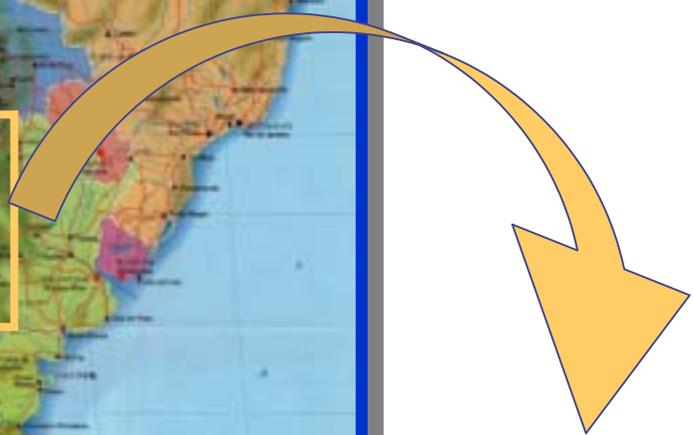
DOWA ENGINEERING CO., LTD.
MITSUI MINERAL DEVELOPMENT ENGINEERING CO., LTD.

MPN

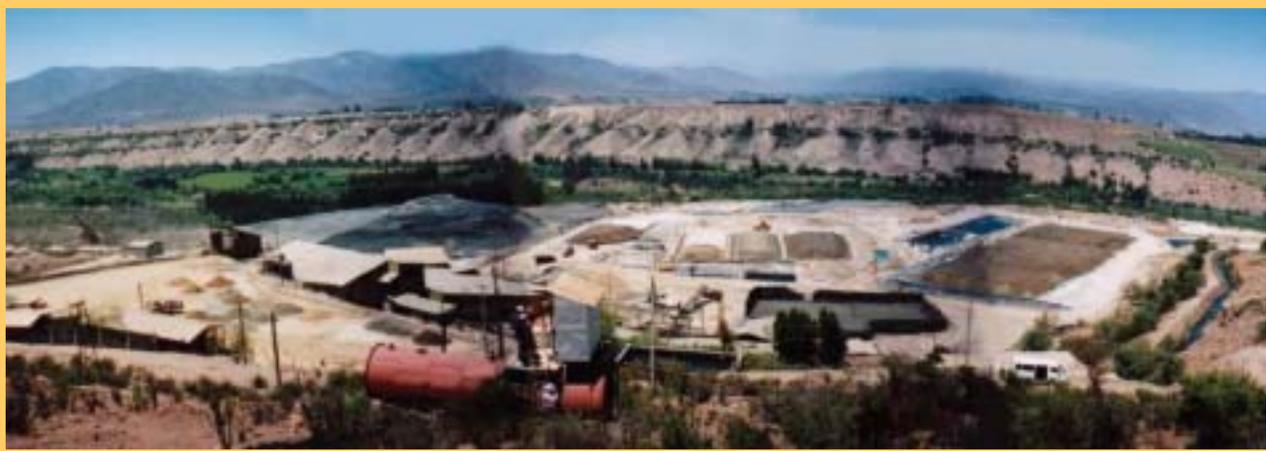
JR

02-175

Mapa de Chile y Ubicación de Planta Ovalle



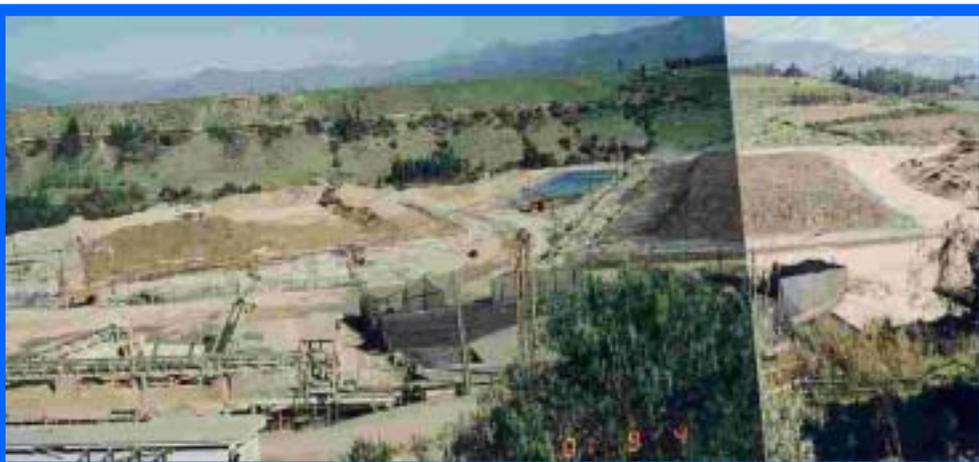
Vista Panorámica de Planta Ovalle



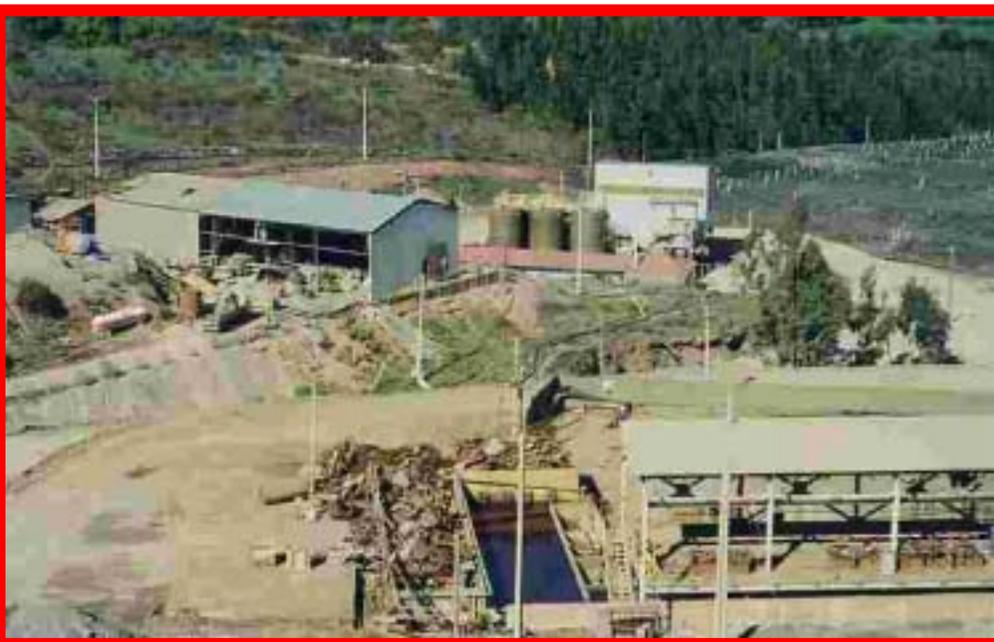
Planta Ovalle (Minerales Oxidos)



Minerales



Aglomeración



Precipitación

Situación de Contaminación, Alrededores Planta Ovalle



Aguas arriba de Planta Ovalle



Poza de evaporación y Dique



Aguas abajo de Planta Ovalle

Vista Panorámica de Planta Modelo



Pruebas en Planta Modelo



Tanque de Oxidación



Tanque de Neutralización



Tanque de Floculación



Filtroprensa



Colector de Bacteria



Torta Deshidratada

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----- | 2-2 |
| 2.3 | Sinopsis de ENAMI----- | 2-4 |
| 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----- | 3-8 |
| 3.3 | Diagnóstico del Medio Ambiente----- | 3-20 |
| 4 . | Transferencia de Tecnología en Metodología de Oxidación Bacteriana----- | 4-1 |
| 4.1 | Pruebas Básicas----- | 4-1 |
| 4.2 | Descripción y Construcción de Planta Modelo----- | 4-1 |
| 4.3 | Resultados de Pruebas en Planta Modelo----- | 4-2 |
| 4.4 | Situación Actual y Proyección Futura de la Planta Modelo----- | 4-4 |
| 4.5 | Items de Transferencia de Tecnología----- | 4-5 |
| 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----- | 5-4 |
| 5.3 | Cálculo de Costos----- | 5-12 |
| 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----- | 6-2 |
| 6.3 | Producción y Mercado----- | 6-3 |
| 6.4 | Plan de Ejecución----- | 6-4 |
| 6.5 | Análisis Financiero----- | 6-6 |
| 6.6 | Análisis Económico----- | 6-7 |
| 6.7 | Efecto Económico para Productores de Precipitado de Cobre----- | 6-9 |
| 6.8 | Conclusiones del Análisis Económico-Financiero----- | 6-9 |
| 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----- | 7-4 |

| | |
|---|-----|
| 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 (CuFeS_2), calcocina (Cu_2S) y covelina (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. kg/m^3 : kilogramos por metro cúbico
7. 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\$/ 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 Organigrama de CONAMA y Su Relación con Otras Instituciones..... | 2-3 |
| Figura 2-4 Organigrama del Ministerio de Minería..... | 2-5 |
| Figura 2-5 Organigrama de ENAMI..... | 2-6 |
| 3 . Diagnóstico Operacional y Ambiental de la Planta Ovalle | |
| Figura 3-1 Instalaciones de la Planta Ovalle..... | 3-6 |
| Figura 3-2 Diagrama de Bloques con Balance de Materia de Minerales Oxidos de Cobre 2000..... | 3-13 |
| Planta Ovalle, ENAMI | |
| Figure 3-3 Diagrama de Bloques con Balance de Materia de Minerales Sulfuros de Cobre 2000..... | 3-18 |
| Planta Ovalle, ENAMI | |
| Figura 3-4 Mapa de Alrededores de la Planta Ovalle..... | 3-25 |
| 4 . Transferencia de Tecnología en Metodología de Oxidación Bacteriana | |
| Figura 4-1 Diagrama de Flujo del Proceso: Planta Modelo..... | 4-2 |
| 5 . Planeamiento de la Planta a Escala de Tratamiento de Solución de Descarte | |
| Figura 5-1 Flujo Simplificado de la Planta a Escala..... | 5-2 |
| Figura 5-2 Diagrama de Flujo de la Planta a Escala (Caso 1)..... | 5-6 |
| Figura 5-3 Distribución en Planta de la Planta a Escala (Caso 1)..... | 5-7 |
| Figura 5-4 Diagrama de Flujo de la Planta a Escala (Caso 2)..... | 5-10 |
| Figura 5-5 Distribución en Planta de la Planta a Escala (Caso 2)..... | 5-11 |
| 6 . Estudio de Factibilidad de la Planta a Escala de Tratamiento de Solución de Descarte | |
| Figura 6-1 Procedimiento de Aprobación de Proyectos en ENAMI..... | 6-2 |
| Figura 6-2 Futuro Procesamiento de Minerales Oxidos de Cobre en la Planta Ovalle..... | 6-5 |
| Figura 6-3 Interrelación Propuesta-Beneficio | 6-12 |
| 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 Adecuación hacia el Proceso Compatible con el Medio Ambiente | 7-6 |
| 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..... | 2-4 |
| Cuadro 2-2 Resultados de Operaciones en las Fundiciones y Refinería de ENAMI (año 2000)..... | 2-4 |
| 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 año 2000)..... | 3-3 |
| Cuadro 3-3 Resultados de Operaciones de Plantas de Procesamiento de ENAMI Año 2000..... | 3-5 |
| Cuadro 3-4 Comparación entre Métodos de Procesamiento de Minerales de Cobre..... | 3-12 |
| Cuadro 3-5 Tasa de Operación en el Procesamiento de Minerales Oxidos y Cotizaciones | 3-8 |
| Cuadro 3-6 Objetivos para el Procesamiento de Minerales Oxidos de Cu: Planta Ovalle, ENAMI..... | 3-14 |
| Cuadro 3-7 Tasa de Operación en el Procesamiento de Minerales Sulfuros y Cotizaciones..... | 3-15 |
| Cuadro 3-8 Objetivos para el Procesamiento de Minerales Sulfurados de Cu: Planta Ovalle, ENAMI..... | 3-19 |
| Cuadro 3-9 Estándares de Emisión de Residuos Líquidos / Normas de Calidad de Agua de Riego..... | 3-21 |
| (Relacionados a la Actividad Minera) | |
| Cuadro 3-10 Cálculo de Carga de Infiltraciones..... | 3-22 |
| 4 . Transferencia de Tecnología en Metodología de Oxidación Bacteriana | |
| Cuadro 4-1 Especificaciones de la Solución de Descarte | 4-2 |
| Cuadro 4-2 Resultados de Análisis de Solución de Descarte durante Pruebas en Planta Modelo..... | 4-3 |
| Cuadro 4-3 Condiciones de Operación en Planta Modelo..... | 4-3 |
| 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 | 5-1 |
| Cuadro 5-3 Parámetros de Diseño de Planta Modelo: Características de Solución de Descarte..... | 5-3 |
| Cuadro 5-4 Modificaciones en Planta Modelo..... | 5-3 |
| Cuadro 5-5 Lista de Equipos de Ampliación: Caso 1 | 5-4 |
| Cuadro 5-6 Lista de Equipos de Ampliación: Caso 2 | 5-8 |
| 6 . Estudio de Factibilidad de la Planta a Escala de Tratamiento de Solución de Descarte | |
| Cuadro 6-1 Resultados del Análisis Económico..... | 6-6 |
| Cuadro 6-2 Valor Agregado en el Proceso de Producción de Cobre Metálico | 6-6 |
| Cuadro 6-3 Valorización de Externalidades | 6-8 |
| Cuadro 6-4 Resultados del Análisis Económico..... | 6-8 |
| 7 . Plan de Operación Compatible con el Medio Ambiente en Planta Ovalle | |
| Cuadro 7-1 Sinopsis de Metodologías de Procesamiento : Planta Ovalle, ENAMI..... | 7-5 |
| Cuadro 7-2 Procesamiento Compatible con el Medio Ambiente..... | 7-4 |

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

Cuadro 8-1 Aplicación de Oxidación Bacteriana para Drenaje Acido de Roca (DAR) en Minas8-8
(Propuesta)

Cuadro 8-2 Gran Minería de Cobre en Chile.....8-9

< OTHERS >

Chapter 4 Fotografía.....4-6