



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL**

EVALUACIÓN DEL NEGOCIO DEL BARRO ANÓDICO EN CODELCO

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE
MAGISTER EN GESTION Y DIRECCION DE EMPRESAS

CRISTIAN MARSHELL CORTES EGAÑA

PROFESOR GUIA:
LUIS ZAVIEZO SCHARTZMAN

MIEMBROS DE LA COMISION:
**DANIEL ESPARZA CARRASCO
RODRIGO ABEL FUENTES**

SANTIAGO DE CHILE
Agosto, 2009

RESUMEN

El objetivo de este trabajo consiste en evaluar un caso de negocio que permita la explotación y aprovechamiento de los barros anódicos que produce Codelco y que no son procesados hasta oro y plata electrolíticos. De esta manera, se determina el mejor negocio para la empresa considerando la comercialización de barros anódicos excedentes o la venta de productos refinados derivados de su procesamiento.

Para lo anterior, se entrega información acerca del mercado de los barros anódicos y de la situación actual de las plantas de procesamiento de Codelco, en materia de costos, capacidad de producción y principales vulnerabilidades.

En el estudio se parte realizando una revisión del mercado en el cual se transa el barro anódico y los productos refinados como oro y plata, con la finalidad de dimensionar el potencial del negocio. Se entrega una visión a nivel mundial acerca de la producción y consumo de los productos a ofrecer y las consideraciones que se deben tener en cuenta para la comercialización de estos productos.

En segundo lugar, se procede a describir los procesos productivos utilizados en el procesamiento del barro anódico hasta metales preciosos y se revisa la tecnología disponible en el mundo para luego proponer una alternativa de inversión que sustente la estrategia de crecimiento.

Posteriormente, se realiza un análisis del medio externo e interno que permite identificar los factores externos que afectan el mercado donde se desenvuelve el negocio y se identifica los factores claves dentro de la empresa que le permitirían lograr ventajas competitivas sustentables en el tiempo.

Finalmente, se evalúa económicamente el proyecto de procesamiento de barro anódico hasta metal doré y oro y plata electrolíticos para obtener los parámetros de rentabilidad de las distintas alternativas.

Se comparan las alternativas de vender los barros anódicos excedentes al mercado (alternativa base) y la de procesarlos internamente hasta producir metal doré (alternativa 1) o productos refinados como oro y plata electrolíticos (alternativa 2). Adicionalmente, se evalúa la conveniencia de continuar procesando excedentes de barros anódicos de División Codelco Norte o División Salvador en la planta de Metales Nobles de División Ventanas.

Como conclusión se encuentra que la alternativa de vender metal doré u oro y plata electrolíticos es más rentable que comercializar los excedentes de barro que no son procesados en Codelco, invirtiendo en equipos con tecnología de punta. Se concluye, además, que es más conveniente seguir operando a plena capacidad la planta de Metales Nobles de Ventanas, procesando barros producidos en Codelco Norte, a diferencia de los barros de Salvador, que debido a sus elevados niveles de impurezas y alto contenido de cobre, tienen un elevado costo de procesamiento en la planta de Metales Nobles de División Ventanas, lo que hace más atractiva la opción de venderlos en el mercado.

INDICE DE CONTENIDOS

	Pág.
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	8
1.1 Introducción	8
1.2 Descripción del negocio	8
1.2.1 La empresa	8
1.2.2 Productos	9
1.2.3 Principales clientes	10
1.3 Justificación	11
CAPÍTULO 2 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA	12
2.1 Objetivos, alcances y resultados esperados	12
2.1.1 Objetivo general	12
2.1.2 Objetivos específicos	12
2.1.3 Alcances	12
2.1.4 Resultados esperados	12
2.2 Metodología	12
2.2.1 Análisis de mercado	13
2.2.2 Operación	13
2.2.3 Estrategia de negocios	13
2.2.4 Análisis de la situación externa e interna	13
2.2.5 Análisis económico	14
2.3 Marco teórico	14
2.3.1 Modelo de las 5 fuerzas de Porter	14
2.3.2 Modelo de la cadena de valor	15
2.3.3 Evaluación económica de proyectos	15
CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DEL MERCADO	20
3.1 Descripción de la industria	20
3.1.1 Barros anódicos	20
3.1.2 Metal doré	21
3.1.3 Oro y plata obtenidos del metal doré	22
3.1.4 Condiciones y restricciones sobre los productos	22
3.1.5 Aplicaciones comerciales de los productos	24
3.2 Mercado del barro anódico	25
3.2.1 Producción mundial de barros anódicos	25
3.2.2 Consumo mundial de barros anódicos	27
3.3 Comercialización del metal Doré	27
3.4 Mercado del oro	28
3.4.1 Producción mundial de oro	28
3.4.2 Demanda mundial de oro	29

3.4.3	Balance físico	30
3.4.4	Minería del oro en Chile	30
3.5	Mercado de la plata	31
3.5.1	Producción mundial de plata	31
3.5.2	Demanda mundial de plata	32
3.5.3	Balance físico	33
3.5.4	Minería de la plata en Chile	34
CAPÍTULO 4 OPERACIÓN		35
4.1	Descripción de procesos	35
4.1.1	Procesamiento de barros anódicos crudos	35
4.1.2	Precipitación de telurio y producción de telurio electrolítico	36
4.1.3	Producción de sulfato de cobre	36
4.1.4	Deselenización de barro anódico descobrizado	36
4.1.5	Fusión de calcina y producción de metal doré	37
4.1.6	Refinación de plata	37
4.1.7	Refinación de oro	38
4.1.8	Producción de concentrado de platino-paladio	38
4.2	Descripción de equipos	38
4.3	Benchmarking de tecnología para recuperación de selenio	38
CAPÍTULO 5 ESTRATEGIA DE NEGOCIO		41
5.1	Plan de producción	41
5.2	Estrategia de negocios	41
CAPÍTULO 6 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN EXTERNA E INTERNA		42
6.1	Análisis de la situación externa	42
6.1.1	Intensidad de rivalidad entre competidores	42
6.1.2	Amenaza de nuevos participantes	43
6.1.3	Amenaza de sustitución	44
6.1.4	Poder de negociación de los clientes	45
6.1.5	Poder de negociación de los proveedores	46
6.2	Análisis de la situación interna	46
6.2.1	Situación actual de producción de las plantas de Codelco	46
6.2.2	Situación actual de costos de las plantas de Codelco	49
6.3	Análisis FODA	51
6.3.1	De la comercialización de barros anódicos	51
6.3.2	Del procesamiento de barros anódicos y venta de metal doré	52
6.3.3	Del procesamiento de barros anódicos y venta de metales preciosos	52
CAPÍTULO 7 ANÁLISIS ECONÓMICO		54
7.1	Definición de alternativas	54
7.1.1	Alternativa base	54
7.1.2	Alternativa 1	54
7.1.3	Alternativa 2	54

7.1.4	Alternativa adicional	54	
7.2	Montos previstos de inversión	54	
7.3	Costos	55	
7.3.1	Costos de procesamiento	55	
7.3.2	Costos de maquila	55	
7.4	Ingresos	55	
7.5	Flujo de caja del negocio	56	
7.6	Indicadores evaluación económica	56	
7.7	Análisis de sensibilidad	57	
CAPÍTULO 8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		59	
8.1	Conclusiones	59	
8.1.1	Mercado	59	
8.1.2	Operaciones	60	
8.1.3	Evaluación económica	61	
8.2	Recomendaciones	62	
CAPÍTULO 9 BIBLIOGRAFÍA		63	
ANEXOS			
ANEXO	A	Características del barro anódico	65
ANEXO	B	Diagramas de procesos	66
ANEXO	C	Precios de los metales preciosos	71
ANEXO	D	Datos estadísticos de producción	73
ANEXO	E	Equipos planta metales nobles	81
ANEXO	F	Datos estadísticos de costos	83
ANEXO	G	Tablas de la evaluación económica	84

INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

	Pág.	
Ecuación 1	Fórmula de cálculo del VAN de un proyecto	18
Ecuación 2	Fórmula de cálculo de la TIR de un proyecto	19
Tabla N°1	Producción planta Metales Nobles	10
Tabla N°2	Producción de barro anódico descubrizado 2008	11
Tabla N°3	Principales aplicaciones de los productos	25
Tabla N°4	Producción mundial de cobre electro-refinado (miles de toneladas)	26
Tabla N°5	Balance mundial de oro (toneladas métricas)	30
Tabla N°6	Origen de la producción de oro en Chile (kilogramos de oro)	31
Tabla N°7	Balance mundial de plata (toneladas métricas)	33
Tabla N°8	Origen de la producción de plata en Chile (kilogramos de plata)	34
Tabla N°9	Parámetros operacionales del proceso KALDO	40
Tabla N°10	Perfil de producción de barras anódicos (tms)	41
Tabla N°11	Costos de las plantas de Codelco 2006 (US\$)	50
Tabla N°12	Costos de las plantas de Codelco 2007 (US\$)	50
Tabla N°13	Costos de procesamiento de barro anódico en planta Metales Nobles	55
Tabla N°14	Precios de los metales según orientaciones comerciales 2008 (US\$/oz)	56
Tabla N°15	Contenido de elementos recuperables en los barras anódicos	56
Tabla N°16	Indicadores económicos del proyecto	57
Tabla N°17	Retorno de barro anódico descubrizado (US\$/tms)	57
Tabla N°18	Precios promedio 2008 (enero a octubre)	57
Tabla N°19	Indicadores económicos del proyecto con distintos precios de metales	58
Tabla N°20	Indicadores económicos de la evaluación	61
Tabla N°21	Retorno de alternativas de negocio	61

LISTA DE DEFINICION DE SIMBOLOS

BAC	Barro anódico crudo
BAD	Barro anódico descobrizado
B/C	Beneficio/costo
B_t	Flujo de ingresos del período t
C_t	Flujo de costos del período t
$(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})$	Símbolo químico del sulfato de cobre pentahidratado
F_t	Flujo neto del período
gr/lit	gramos/litro
g/t	gramos/tonelada
kg	Kilogramo
kgs	Kilogramo seco
kg/año	Kilógramo/año
kgs/año	Kilógramo seco/año
KUS\$	Miles de dólares
n	Número de períodos de duración Del proyecto
PR	Período de recuperación de capital
PdCl	Símbolo químico del tetracloro platanato
PtCl ₆₋₂	Símbolo químico del hexacloro platinato
r	Tasa de descuento del proyecto
SeO ₂	Símbolo químico del dióxido de selenio
SO ₂	Símbolo químico del dióxido de azufre o anhídrido sulfuroso
TIR	Tasa interna de retorno
tms	Toneladas métricas secas
TROF	Top Rotatory Oxygen Furnace
US\$/kg	Dólares por kilogramo
US\$/ozt	Dólares/onza troy
US\$/ozt	Dólares/tonelada métrica seca
VAN	Valor actual neto
VAE	Valor anual equivalente
°C	Grados Celcius
°/1	Unidad adimensional
%	Por ciento, porcentaje, proporción respecto a 100
<, >	Menor que, mayor que
=	Igual
$\sum_{t=0}^n$	Sumatoria
s	TIR

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

El barro anódico es un subproducto que se genera en el proceso de refinación electrolítica del cobre. Contiene metales preciosos y otros elementos insolubles de los ánodos.

La presencia de metales preciosos y otros elementos químicos convierten al barro anódico en un compuesto de interés comercial que puede ser transado en el mercado o procesado a productos con mayor valor agregado como el metal doré¹, oro y plata.

En la actualidad, Codelco produce en conjunto alrededor de 1.400 toneladas de barros anódicos al año en las divisiones Ventanas, Codelco Norte y Salvador. Únicamente Ventanas cuenta con las instalaciones necesarias para procesar barros anódicos hasta metales preciosos de alta pureza, pero sólo puede procesar aproximadamente el 60% de la producción de barros corporativos. El resto debe ser vendido en el mercado internacional.

La División Ventanas, en su motivación por seguir agregando valor al obtener un producto refinado, como lo es el oro y plata electrolítica, se plantea la necesidad de identificar alternativas de desarrollo con la finalidad de asegurar su competitividad y contribuir con el desarrollo a nivel corporativo.

La estrategia a plantear tiene que ver con aprovechar esta oportunidad de negocio y procesar la totalidad o parte del barro anódico que actualmente se vende en el mercado sin un procesamiento posterior para refinar el producto. Para esto, es necesario evaluar económicamente la factibilidad de una estrategia de desarrollo en este sentido.

Además, Codelco está evaluando alternativas de crecimiento en cuanto a la capacidad instalada de fundición y refinación electrolítica de cobre, con lo cual se abren expectativas de crecimiento en Ventanas, así como un aumento en la producción de barro anódico producto del mayor procesamiento de cobre por medio de la electrorefinación.

El presente trabajo consiste en determinar cuál es el mejor negocio para Codelco: si procesar hasta productos refinados el barro anódico o comercializarlo sin procesamiento y proponer una alternativa de desarrollo para mejorar el negocio.

1.2 Descripción del negocio

1.2.1 La empresa

Codelco, la Corporación Nacional del Cobre de Chile, es el principal productor de cobre del mundo. Además, es una de las empresas más grandes de Chile.

¹ El metal doré es una aleación no refinada de oro y plata que puede además contener pequeñas cantidades de otros metales. Es moldeado en forma de lingotes o ánodos.

La Corporación Nacional del Cobre es 100 por ciento propiedad del Estado de Chile. Fue creada debido a la promulgación de la reforma constitucional que nacionalizó el cobre en Chile el 11 de julio de 1971. El decreto ley 1.350 del 1 de abril de 1976 determinó la creación de Codelco, una empresa del Estado, minera, industrial y comercial.

Las operaciones que hacen de Codelco el principal productor mundial de cobre son realizadas, principalmente, a través de sus divisiones operativas, Codelco Norte, Salvador, Ventanas, Andina y Teniente, todas ubicadas en la zona norte y centro del país, encargadas de la explotación de los yacimientos, el procesamiento de los minerales, y la obtención del metal y sus subproductos para el envío a los mercados mundiales.

Codelco, además, participa en asociaciones mineras, no mineras y de negocios con otras empresas, y tiene una red de subsidiarias y agentes de venta que respaldan su gestión comercializadora.

Codelco tiene un directorio cuyos siete integrantes son nombrados por la Presidenta de la República de Chile. A su vez, el directorio nombra al presidente ejecutivo que encabeza una administración superior formada por vicepresidencias y gerencias.

La corporación tiene una estrategia basada en una visión de futuro, que implica desplegar todo su potencial de negocios tanto en Chile como en el exterior para mantenerse como líder en la industria del cobre.

El principal producto de Codelco es el cobre refinado en la forma de cátodos con 99,99% de pureza. La corporación también produce concentrados de cobre, cobre blister y anódico y subproductos como molibdeno, ácido sulfúrico, barro anódico, oro, plata y subproductos del procesamiento de barro anódico.

Codelco, además, fabrica alambrón en Alemania, un producto semielaborado que usa cátodos de cobre como materia prima.

Solamente las divisiones Codelco Norte, Salvador y Ventanas producen en sus plantas barro anódico producto de la electro-refinación del cobre, pues poseen en sus instalaciones industriales refinerías electrolíticas.

1.2.2 Productos

El barro anódico es una pulpa que se genera en la refinación electrolítica del cobre. Su composición es muy variable debido a las cantidades variables de elementos menores que componen los minerales sulfurados o de la composición de la chatarra que se utiliza para producir ánodos. En el anexo A se muestra la composición química característica de los barros anódicos de Codelco y los del mercado.

Esta pulpa decanta al fondo de las celdas a medida que se produce la electro-depositación selectiva del cobre desde el ánodo hasta el cátodo. Al término del proceso, se extrae el cátodo desde las celdas electrolíticas y se recolecta el barro por cañerías y estanques para ser enviados a una planta de lixiviación, donde se extrae el cobre para

retornarlo a la refinería electrolítica. El barro anódico descubrizado, posteriormente es vendido en el mercado o, como es el caso de la División Ventanas, procesado en la planta de Metales Nobles hasta obtener oro, plata y subproductos.

En sus procesos productivos la planta de Metales Nobles de la división Ventanas obtiene los siguientes productos y subproductos:

- Oro electrolítico
- Plata electrolítica
- Selenio
- Teluro electrolítico
- Concentrado de Paladio y Platino
- Sulfato de Cobre
- Escorias de fusión

La capacidad de procesamiento de la planta de Metales Nobles, permite el tratamiento de toda la generación de barro anódico de la misma división - alrededor de 485 toneladas anuales - y, además, aproximadamente 350 toneladas por año de barro anódico descubrizado proveniente de la División Codelco Norte. El resto de la producción de barro anódico se exporta, sin un procesamiento para ofrecer productos más refinados.

La planta de Metales Nobles produce las siguientes cantidades, dependiendo de las concentraciones de estos elementos en los barros anódicos que procesa.

Tabla N° 1. Producción Planta Metales Nobles

Producto	Producción (Kg/año)
Oro	3.500 – 6.000
Plata	100.000 – 190.000
Selenio	46.000 – 63.000
Pt-Pd	40 – 75
Teluro	1.000 – 2.000
Sulfato de cobre	200.000 – 300.000

En la figura B.1 del anexo B se muestra un diagrama de la formación de barro anódico al interior de la celda electrolítica. En la figura B.2 del mismo anexo, se muestra un diagrama de procesos de la planta de Metales Nobles de la División Ventanas.

1.2.3 Principales clientes

En el caso del barro anódico descubrizado, los principales clientes de Codelco son Umicore y Peñoles, ubicados en Bélgica y México, respectivamente.

Los principales clientes de los productos refinados como el Oro y la Plata electrolítica se encuentran en EEUU, Argentina, Brasil, Alemania y Chile.

1.3 Justificación

Después del cobre y el molibdeno, el negocio del barro anódico es el tercero en importancia para Codelco. En el año 2007 se recibieron ingresos del orden de los 300 millones de dólares, aproximadamente, como venta de Barros anódicos en forma directa y por venta de los metales recuperados en División Ventanas.

Para el año 2008, se esperan los siguientes niveles de producción en las distintas divisiones de Codelco:

Tabla N° 2. Producción de barro anódico descubrizado (BAD) 2008 ²

División	Kgs BAD/año
Codelco Norte	670.000
Ventanas	485.000
Salvador	232.000
Total	1.387.000

El valor potencial según los elementos de valor contenidos en el barro anódico que es vendido al exterior en una mirada de largo plazo es de aproximadamente 48 millones de dólares al considerar precios según las orientaciones comerciales y 78,5 millones de dólares si evaluamos a precios promedio del 2008. Lo anterior implica que cualquier mejoramiento para aumentar la recuperación de los metales de valor contenidos en los barros anódicos que aún son vendidos al exterior, puede ser altamente interesante de estudiar por parte de la corporación.

En efecto, del total de barro anódico que tiene planificado producir la División Codelco Norte en el 2008, sólo un 53% aproximadamente puede ser tratado en División Ventanas, quedando entonces alrededor de 350 toneladas que podrían aumentar la producción de metal doré y metales preciosos en caso de procesarlas internamente en Codelco. A partir del año 2013, el excedente llega a las 1.000 toneladas por la mayor producción en Codelco Norte.

Por otra parte, los fuertes incrementos en los precios de los metales preciosos y del selenio en los últimos años, también obliga a una mirada corporativa. Ver anexo C.

De esta información se puede observar que además de los incrementos en los precios de la plata y el oro, se ha destacado un alto incremento del precio del selenio en los últimos años que al valorizarlo como elemento puro según los contenidos en los barros anódicos de la corporación alcanza valores potenciales de más de 6 millones de dólares, el equivalente al 80% de los costos de operación de la actual planta de Metales Nobles de Ventanas. Es decir, solamente el selenio podría pagar parte importante de los costos de tratamiento de los barros anódicos.

Estos hechos son relevantes para explorar alternativas de sinergia divisionales y aumentar el valor agregado de los metales obtenidos mediante el procesamiento de los barros anódicos.

² Fuente: Vicepresidencia Comercialización.

CAPÍTULO 2 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

2.1 Objetivos, alcances y resultados esperados

2.1.1 Objetivo general

El objetivo de este trabajo consiste en evaluar un caso de negocio que permita la explotación y aprovechamiento de los barros anódicos que produce Codelco. De esta manera, se determinará el mejor negocio para la empresa considerando la comercialización de barros anódicos o la venta de productos refinados derivados de su procesamiento.

2.1.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos son:

- Entregar información acerca del mercado de los barros anódicos.
- Determinar la situación actual de las plantas de procesamiento de barro anódico de Codelco, en materia de costos, capacidad de producción y principales vulnerabilidades.
- Identificar requerimientos de inversión necesarios para aumentar la capacidad de procesamiento.
- Evaluar económicamente la alternativa de disponer de un centro de procesamiento a nivel corporativo.

2.1.3 Alcance

El presente trabajo se enfocará en la evaluación económica del procesamiento de la totalidad de los barros anódicos producidos por Codelco. En este análisis se compararán las alternativas de vender barro anódico al mercado (alternativa base) y la de procesarlos internamente hasta producir metal doré y metales preciosos.

Adicionalmente, se evaluará la conveniencia de continuar procesando excedentes de barros anódicos de las divisiones Codelco Norte y/o Salvador en División Ventanas.

2.1.4 Resultados esperados

En términos generales, se pretende obtener como resultado de este trabajo un informe que entregue los antecedentes necesarios para tomar la decisión de iniciar los estudios de ingeniería y proyectos de inversión necesarios para concretar la estrategia de crecimiento.

2.2 Metodología

La metodología a utilizar para la preparación del informe final consistirá en tomar algunos aspectos centrales de un plan de negocios para una empresa en funcionamiento, de tal forma de analizar factores claves para la viabilidad del proyecto, considerando que se debe plantear una estrategia de crecimiento.

El estudio de caso constará con los siguientes aspectos analizados y/o evaluados:

2.2.1 Análisis del mercado

Un análisis del mercado es fundamental para dimensionar el potencial del mercado al cual se enfocará el negocio. Para lograr esto se utilizarán fuentes secundarias como datos estadísticos, internet e información bibliográfica.

Se analizará e interpretarán los datos de los cuales se espera obtener una visión a nivel mundial acerca de la producción y consumo de los productos a ofrecer y las consideraciones que se deben tener en cuenta para la comercialización de estos productos.

2.2.2 Operación

El análisis de la operación del negocio consistirá en describir los procesos productivos utilizados en el procesamiento del barro anódico hasta metales preciosos y revisar la tecnología disponible en el mundo para luego proponer una alternativa de inversión que sustente la estrategia de crecimiento.

2.2.3 Estrategia de negocios

Se describirá el plan de producción a un horizonte de 25 años y la estrategia de negocios para el procesamiento de los barros anódicos.

2.2.4 Análisis de la situación externa e interna

El análisis del medio externo e interno permitirá identificar los factores externos que afectan el mercado donde se desenvolverá el negocio e identificar los factores claves dentro de la empresa que le permitirán lograr ventajas competitivas sustentables en el tiempo.

a) Evaluación medio externo

Se tratará de determinar las amenazas y oportunidades que conlleva el proyecto. Para lograr este objetivo se utilizará el modelo de las 5 fuerzas de Porter, el cual postula que para tener una visión de la industria deben analizarse 5 componentes básicas:

- Intensidad de rivalidad entre competidores.
- Amenaza de nuevos participantes .
- Amenaza de sustitución.
- Poder de negociación de los clientes.
- Poder de negociación de los proveedores.

b) Evaluación medio interno

El análisis de medio interno busca identificar las fortalezas y debilidades del negocio, para así obtener ventajas competitivas que permitirán a la empresa obtener rentabilidades y de esta forma ser sustentable en el tiempo.

La evaluación interna se centrará en el análisis según el modelo de cadena de valor del negocio, la cual describe las actividades que generan valor para la empresa separándolas en actividades primarias y de apoyo.

Para este análisis, se considerará solamente la actividad primaria relacionada con las operaciones, puesto que las demás actividades son gestionadas por la infraestructura disponible en la empresa. Asimismo, las actividades de apoyo como adquisiciones, administración de recursos humanos y la estructura administrativa son las que posee actualmente la compañía y su análisis no contribuye mayor valor que la información, para este estudio de caso.

A través de esta herramienta se busca encontrar las claves que permitan maximizar el valor de la empresa, mientras se minimizan los costos.

2.2.5 Análisis económico

Para evaluar el negocio se utilizará la metodología de evaluación de proyectos. Para esta evaluación económica se tomarán los flujos de ingresos menos los costos para los escenarios mencionados, descontando a una tasa de interés anual apropiada para obtener el valor actualizado neto (VAN) o diferencial de VAN de los escenarios planteados.

2.3 Marco teórico ³

2.3.1 Modelo de las 5 fuerzas de Porter

a) Intensidad de rivalidad entre competidores

Para una empresa competir en un mercado donde los competidores son numerosos, estén bien posicionados o los costos fijos sean muy altos será difícil debido a que constantemente enfrentara guerras de precios, campañas publicitarias agresivas, promociones y entrada de nuevos productos.

b) Amenaza de nuevos participantes

El atractivo del mercado dependerá de si existen barreras de entrada y de haberlas que tan fácil de franquear son estas barreras para los nuevos participantes, los cuales entraran al mercado con nuevos recursos y capacidades.

³ Zaviezo, Luis y Olguín, Eduardo. IN79P.02 Política de Negocios

c) Amenaza de sustitución

El atractivo del mercado depende también de si existen sustitutos reales o potenciales, será aun menos atractivo si los sustitutos son mas avanzados tecnológicamente o tienen menor precio.

d) Poder de negociación de los clientes

Un mercado o segmento donde los compradores estén organizados, el producto tenga muchos substitutos o no sea muy diferenciado, significará que el producto tendrá reducción de precios o mayor calidad, implicará mermas en las utilidades por lo que el mercado será menos atractivo.

e) Poder de negociación de los proveedores

Un mercado o segmento donde los proveedores estén organizados, tengan fuertes recursos o puedan imponer precios y tamaños de pedidos, reduce el atractivo de éste y más aun si los insumos son claves o no tienen sustitutos.

2.3.2 Modelo de la cadena de valor ³

Un modelo que permite reconocer aquellos factores de determinan la posición competitiva de una organización es la cadena de valor.

Este método descompone a la empresa en las actividades primarias y las de apoyo, con el fin de comprender su impacto en los costos y la generación de valor.

a) Actividades primarias

Las actividades primarias son aquellas implicadas en el movimiento físico de materias primas y de productos terminados, en la producción de bienes y servicios, y en el proceso de marketing, ventas y subsiguientes servicios como los productos de la firma. De algún modo, son las funciones clásicas de la administración de una organización.

b) Actividades de apoyo

Las actividades de apoyo son aquellas actividades más transversales a la organización y tienen por función generar apoyo a las actividades primarias y a ellas mismas. Están compuestas por la infraestructura de la empresa, el manejo de recursos humanos, el desarrollo de tecnología y adquisiciones.

2.3.3 Evaluación económica de proyectos ⁴

a) El proceso de evaluación de proyectos

⁴ Evaluación de proyectos. Antofagasta: Universidad Católica del Norte.

El proceso de evaluación de proyectos consiste en determinar hasta qué punto el sacrificio de inversión se ve justificado por los resultados que se espera obtener de la misma en términos de ingresos y egresos.

En una decisión de inversión los principales elementos de análisis caen, por lo general, dentro de las siguientes categorías:

i. Ingresos y egresos de operación

El sacrificio involucrado en el acto de invertir debe encontrar su justificación en los resultados que se logren al operar la inversión efectuada. Estos resultados operativos se traducen en un flujo de ingresos y un flujo de egresos de operación, los que se proyectan a través de la vida útil de la inversión.

En la medida que el flujo de ingresos supere al de egresos se logra un flujo neto positivo que tendrá como misión, en primer lugar, recuperar el valor de la inversión y aquella parte de los ingresos netos que se perciba una vez recuperado el valor de la inversión, representa la rentabilidad, la cual dependiendo de su monto, justificará o no la inversión.

Al evaluar un proyecto de inversión se deben considerar los ingresos y egresos relevantes o pertinentes a esa inversión. Este flujo de ingresos y egresos debe ser líquido, esperados en el futuro y diferenciales. En este último caso, el flujo de ingresos relevantes o pertinentes al proyecto en cuestión está dado por la diferencia entre los flujos esperados con proyecto y los flujos esperados sin proyecto.

ii. El monto de la inversión

A fin de determinar si los resultados compensan o no la inversión, los flujos de ingresos y egresos operativos deben compararse con el monto invertido.

Al igual que en el caso de los flujos de ingresos y egresos de operación, la inversión debe ser estimada en base a los desembolsos líquidos que requiera, y que estos desembolsos se producirán como si las inversiones se pagaran al contado, ya que no se considera forma alguna de financiamiento (proyecto puro).

iii. Dimensión temporal

A fin de evaluar si una inversión se justifica se debe comparar el monto de los flujos netos de operación con el monto de la inversión. No obstante, en esta evaluación no basta con comparar montos cuantitativos sino que es de fundamental importancia estimar el “cuándo” se producirán los desembolsos netos (inversión más egresos operacionales) y “cuándo” se generarán los ingresos netos.

Para determinar de la mejor forma posible esta dimensión, se debe considerar:

- Calendario de inversiones, en el cual se especifiquen los períodos y los desembolsos de inversión que corresponden a cada período.

- Calendario de operaciones, en el cual se proyectará y ubicará en el tiempo el comportamiento general de los ingresos y egresos, así como ciertas peculiaridades de ese comportamiento más importantes en el ciclo de vida del proyecto.

iv. El riesgo

La imposibilidad de poder predecir con exactitud el futuro, significará que toda decisión de inversión entrañará un riesgo. La magnitud de este riesgo dependerá de cuan impredecible sean las variables que más inciden en los resultados del proyecto.

v. Alternativas

Al considerar un proyecto de inversión el análisis de los ingresos y egresos; del monto de la inversión; del calendario que ubica esas cantidades en el tiempo y del riesgo, nos permitirá llegar a una conclusión respecto del proyecto, pero esa conclusión será siempre relativa o de tipo comparativo.

Debe recomendarse aquel proyecto que usa los recursos de inversión en mejor forma que cualquiera de las oportunidades alternativas que tengamos para usar esos recursos.

El análisis comparativo da origen a un concepto de costo llamado costo alternativo o costo de oportunidad.

b) Los costos relevantes

i. Costos fijos y costos variables:

Se llama costos fijos aquellos que no se ven afectados por cambios en el volumen de producción. Costos variables se denomina a aquellos costos que varían al variar los niveles de producción.

ii. Costos evitables y costos inevitables:

Los costos evitables son aquellos costos en los cuales no incurriremos si actuamos de una cierta forma sobre determinada variable, y en los cuales se incurrirá si actuamos sobre esa variable de otra forma. Costos inevitables son aquellos en los que se incurrirá de todos modos, hagamos lo que hagamos respecto de la variable en cuestión.

iii. Costos explícitos y costo de oportunidad:

Un costo de oportunidad es la medición de un sacrificio en el que se incurre por el hecho de llevar a cabo una acción con exclusión de otras.

Al tomar una decisión se opta por una alternativa entre varias posibles y, en consecuencia, se descartan o desechan todas las demás. Tal decisión tiene un costo, correspondiente a lo que habría sucedido si hubiese optado por la mejor de las alternativas desechadas.

c) Métodos de evaluación y criterios de decisión

Suponiendo condiciones de certeza, los principales métodos que se utilizan para la toma de decisiones con respecto a la realización de proyectos de inversión son:

- El valor actual neto (VAN).
- La tasa interna de retorno (TIR).
- La razón beneficio costo (B/C).
- El valor anual equivalente (VAE).
- El período de recuperación de la inversión (PR).

Estos métodos no son excluyentes sino complementarios entre sí. A continuación se describirán los 2 primeros, los cuales se utilizarán en este trabajo.

i. El valor actual neto (VAN)

El valor actual neto corresponde a la actualización de todos los flujos netos, sean positivos o negativos, a que da origen la realización del proyecto.

Esto es:

Ecuación N° 1: Fórmula de cálculo del VAN de un proyecto.

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

Donde:

B_t = Flujos de ingresos del período t

C_t = Flujo de egresos del período t

$F_t = B_t - C_t$ = flujo neto del período t

r = Tasa de descuento del proyecto, representa el costo de oportunidad.

n = Número de períodos de duración (vida útil) del proyecto .

El VAN refleja el cambio en la riqueza que experimenta el dueño del proyecto si éste se realiza, expresado en dinero actual.

En consecuencia, el criterio de decisión será:

- Cuando se trata de un proyecto, este se aceptará cuando el $VAN > 0$, se rechazará cuando el $VAN < 0$, y habrá indiferencia entre aceptarlo y rechazarlo si el $VAN = 0$.
- En caso de existir varios proyectos y limitaciones de financiamiento, se deberá escoger aquellos proyectos de mayor VAN, siempre y cuando éste sea positivo.

ii. Tasa interna de retorno (TIR)

La tasa interna de retorno es la tasa de descuento que hace el VAN de un proyecto igual a cero. También se la puede considerar como la máxima tasa a la que podemos endeudarnos para hacer un proyecto, sin aumentar la riqueza.

Ecuación N° 2: Fórmula de cálculo de la TIR de un proyecto.

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{Ft}{(1+s)^t}$$

Donde:

s = TIR

El criterio de decisión es:

- Cuando existe un solo proyecto, éste se aceptará siempre y cuando $s > r$, se rechazará si $s < r$ y será indiferente entre aceptar o rechazar el proyecto si $s = r$.
- En caso de existir varios proyectos, se pueden ordenar de acuerdo a la TIR. Deberán escogerse aquellos proyectos de mayor TIR.

r es la tasa de descuento del proyecto.

CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DEL MERCADO

3.1 Descripción de la industria

A través de la descripción de los productos que se ofrecen en el mercado, se mostrarán algunos aspectos claves de la industria de los barros anódicos y de los principales productos obtenidos de su procesamiento.

3.1.1 Barros anódicos

Los barros anódicos producidos en la industria del cobre son los sedimentos que se acumulan en el fondo de las celdas electrolíticas donde son disueltos los ánodos de cobre el proceso de electro-refinación.

Su composición es muy variable debido a las cantidades variables de elementos menores que componen los minerales sulfurados o de la composición de la chatarra que se utiliza para producir ánodos.

Según el origen de los ánodos los barros se clasifican en:

a) Primarios

Aquellos obtenidos en operaciones de electro-refinación de ánodos producidos a partir concentrados o cobre anódico derivado de concentrados.

Suelen tener un contenido de selenio superior al 10% y además, metales preciosos en cantidades que van hasta el 40% de plata y 6% de oro. Por lo general, se producen de 1 a 5 kilogramos de barro anódico por tonelada de ánodos.

En el caso de Codelco Norte, la producción es aproximadamente 1,7 kilogramos de barro anódico por tonelada de cobre.

b) Secundarios

Aquellos obtenidos en operaciones de electro-refinación de ánodos producidos a partir de chatarra o con un contenido elevado de ésta.

Tienden a tener un mayor contenido de impurezas (plomo, níquel, zinc, cobre, etc.) debido a que provienen de un producto más heterogéneo, como lo es la chatarra. Poseen un menor contenido de metales preciosos y selenio ya que estos fueron removidos la primera vez que se fabricó cobre que originó el producto que se convirtió en chatarra.

Por lo general, se producen de 10 a 20 kilogramos de barro anódico por tonelada de ánodos.

En el flujo de producción de barros primarios se obtienen productos de calidad más constante que en los secundarios

En el anexo A se presenta la composición química característica de los barros anódicos producidos por Codelco y por el mercado.

Los barros producidos por la corporación son de alto interés en el mercado por el alto contenido de plata y volumen de estos. Debido al alto contenido de selenio, cobre y arsénico los barros anódicos producidos en la División Salvador son de difícil aceptación en el mercado.

Dependiendo de la cantidad de metales preciosos e impurezas presentes en los barros anódicos, existen distintas rutas para su tratamiento en las plantas de refinación, siendo la vía convencional la que descubre primero el barro anódico y luego, en un horno, se producen los ánodos de metal doré, de los que luego se separan el oro y la plata contenidos.

Pese a que el plomo es una impureza, cuando su contenido es menor al 20% es positivo porque ayuda en el horno de doré a captar mejor los metales preciosos.

Como el contenido de los distintos elementos pagables e impurezas es muy variable, el valor de una tonelada de barro anódico puede fluctuar enormemente entre distintas calidades de barro y en el tiempo.

Del procesamiento del barro anódico también se obtiene otros productos que son comercializables, tales como el selenio, telurio, concentrado de platino/paladio, sulfato de cobre y escorias de fusión. Este último subproducto se produce de la fusión de un producto intermedio con el que se obtiene el metal doré.

3.1.2 Metal doré

El metal doré, es una aleación no refinada de oro y plata que puede además contener pequeñas cantidades de otros metales. Es moldeado en forma de lingotes o ánodos.

Si el contenido de oro en el metal doré es superior o cercano al 30% se llama doré de oro (Ejemplo: el producido en la mayoría de las mineras de oro) o en el caso de ser menor, se llama doré de plata (caso División Ventanas).

El doré es producido en instalaciones generalmente ligadas a minas o refinерías de metales como el cobre, plomo, plata y oro.

El doré no tiene otro uso que el de ser refinado en un proceso en el que se separan los distintos elementos con la finalidad de producir oro y plata de alta pureza y recuperar o abatir los otros elementos químicos que lo componen. No todas las instalaciones de producción de doré están integradas con equipos de refinación por lo que existe un conjunto de refinadores externos que ofrecen sus servicios para esta labor.

De acuerdo a consultas realizadas gran parte del doré procesado por refinadores externos se procesa en régimen de maquila y una pequeña porción de su producción lo hacen con material que compran.

3.1.3 Oro y plata obtenidos del metal doré

Una vez extraídos el oro y la plata del metal doré, estos dos metales son refinados, moldeados o granallados y enviados a sus consumidores finales.

A diferencia de otros metales, el oro tiene el doble papel de dinero y producto, por lo que no necesariamente se comporta como un commodity, ya que en su mercado influyen tanto factores productivos como financieros. Asimismo, el concepto de inventario es diferente al de otros metales, puesto que en el caso del oro el atesoramiento - tanto privado como oficial - tiene una influencia importante en su estructura.

La plata es demandada tanto por su rol de producto como también por su uso como reserva de valor. En este último caso tiene similitudes con el oro, siendo sustituto para los inversionistas que ven en ella una alternativa de inversión. Al igual que el oro, los inventarios son altos porque se utiliza como una forma de atesoramiento, principalmente por el sector privado y, en menor medida, por el sector oficial.

Es por lo anterior, que al analizar el precio del oro y la plata se hace necesario considerar, además del uso industrial, electrónico, fotográfico y de joyería, la evolución de factores económicos tales como inflación, fortaleza o debilidad del dólar, entre otros, como además considerar acontecimientos políticos o de otra índole que agreguen incertidumbre al contexto internacional.

3.1.4 Condiciones y restricciones sobre los productos

a) Barreras al comercio de barros anódicos

i. Convenio de Basilea

Suscrito por 170 países, entre ellos Chile, entró en funcionamiento en el año 1992. Restringe el transporte internacional de desechos tóxicos o peligrosos.

En el caso de los barros anódicos existe una situación ambigua ya que están excluidos de lista de peligrosos pero no aparecen en la de no peligrosos.

El Ministerio de Salud aplica criterio de rango de impurezas: fuera del rango son residuos; impactos: transporte; autorización de puertos de tránsito.

El Convenio de Basilea es ambiguo en el tratamiento de los barros anódicos. Como ejemplo de esta ambigüedad de interpretación del Convenio de Basilea se impide la descarga de barros anódicos en el puerto de Rotterdam, no así en el de Amberes que dista a menos de 100 kilómetros del anterior.

En Chile, uno de los asuntos internacionales ambientales más importantes que preocupó a la minería en los 90 fue la aprobación por parte del Congreso Nacional del "Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación". El congreso pretendía adoptar también la Resolución II-12, que establecía restricciones para la exportación de desechos

peligrosos desde países desarrollados a países en desarrollo. Además, de las chatarras de diversos metales, estaban incluidos en la lista de desechos peligrosos “prohibidos” una serie de materiales que representaban importantes oportunidades para la industria nacional de exportación de minerales como los barros anódicos.

Los barros anódicos fueron por tanto objeto de cuestionamientos por sus características de peligrosidad dados sus contenidos de elementos como el plomo, arsénico o antimonio y no fue hasta que en junio de 2003, como resultado de un trabajo conjunto entre las autoridades de gobierno y la industria minera, que se logró emitir un reglamento⁵ en el que se definían a los barros anódicos a “aquellos sedimentos de la electro refinación cuyo contenido de plata sea inferior a 17% y su contenido de oro sea inferior a 0,18%”.

Este texto cerraba la puerta a la importación de cualquier producto que por error de clasificación o cambio de nombre ex profeso, que pudiera convertirse en un perjuicio para Chile. Es necesario mencionar que en una ocasión, fue importado al país un compuesto bajo la denominación “barros anódicos” y que no era sino residuos industriales sin otro interés que el de ser desechados. Estos residuos fueron apilados a la intemperie donde el viento y otros factores disgregaron su peligroso contenido en las cercanías de Antofagasta, causando además de la alarma a las autoridades del Ministerio de Salud un mal protagonismo a los barros anódicos.

ii. REACH (Registro, Evaluación, Autorización de Sustancias)

Exige realizar un registro de las sustancias que van a ingresar a Europa que explica, entre otros, su toxicidad a lo largo de la cadena de utilización o consumo.

Puede prohibir, restringir y obligar a sustitución sobre base de composición (componentes peligrosos para salud o medio ambiente).

Plazo: Diciembre 2010 siempre que pre-registre; si no, debe cesar importación en Junio 2008.

Los exportadores hacia la Unión Europea no están obligados a participar del sistema.

El registro se puede hacer con recursos internos o a través de empresa especializada.

Si Codelco no realiza las acciones para lograr el registro de las sustancias que comercializa en la Unión Europea los clientes actuales tendrían que elegir entre realizar ellos mismos los procedimientos de registro del producto o cambiar a un proveedor que ya esté registrado. Codelco sólo podría vender productos en la Unión Europea a compañías que tengan el registro correspondiente.

Si Codelco realiza las acciones para lograr el registro, los clientes quedan exentos de realizar el registro de los productos registrados por Codelco, quedando la empresa con libertad de elegir a quién vender dentro de la Unión Europea.

⁵ *Ministerio de Salud de Chile: Reglamento sobre el manejo de residuos peligrosos N° 148.*

Se debería pre-registrar sustancias elegidas a más tardar en Diciembre de 2008 a través del “Representante Exclusivo”

iii. GHS (Sistema Global Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Peligrosidad)

Este sistema obliga a autoclasificar productos y aplicar nuevo sistema de etiquetado. La Unión Europea es la primera en implementarlo pero se aplicará globalmente.

Básicamente, establece normativas para clasificar la peligrosidad de contenidos (por ejemplo, Arsénico = cancerígeno): impacto en transporte/puertos.

b) Condiciones para obtener el registro Good Delivery en el LBMA

Al igual que un cátodo de cobre de una marca en particular puede ser registrado en una de las bolsas de metales existentes –bajo ciertas condiciones- para poder acceder a una serie de beneficios o asegurar los estándares de calidad, en el caso de los metales preciosos también existe un registro similar llamado *Good Delivery*.

Los principales requerimientos para estar en la lista de refinadores registrados como *Good Delivery* de oro o plata son:

- Tener una trayectoria de al menos 3 años produciendo el metal refinado.
- Producir una mínima cantidad de oro por año (10 toneladas) o de plata (30 toneladas). A título informativo, la División Ventanas producirá en el año 2007 3,5 toneladas de oro y 160 toneladas de plata.
- Tener un patrimonio de al menos 10 millones de libras esterlinas.
- Proveer evidencia de una estructura administrativa formal con propietarios y directores.
- Proveer una carta de endoso del banco central del país donde está la refinería.

Por tonelaje, Ventanas únicamente puede estudiar la posibilidad de obtener el registro para la producción de plata. Pero existen otra serie de antecedentes que deben cumplirse además del volumen.

En la página web de London Bullion Market Association (LBMA) se puede encontrar información acerca de las especificaciones, procedimientos de registro y reglas para certificación de la marca (<http://www.lbma.org.uk/>).

3.1.5 Aplicaciones comerciales de los productos

Algunas aplicaciones industriales de los productos obtenidos del procesamiento del barro anódico se muestran a continuación:

Tabla N° 3. Principales aplicaciones de los productos.

Producto	Aplicaciones
Teluro	Se utiliza para la fabricación de componentes electrónicos, pigmentos, aditivos para la gasolina, industria del caucho.
Sulfato de cobre	Se utiliza en la industria de alguicidas, pigmentos, medicina, abonos, baterías.
Selenio	Se utiliza en las industrias electrónica, médica y de pigmentos.
Escoria de fusión	Se envía a refinerías especializadas para separar metales preciosos y otros elementos de interés.
Metal doré	Se envía a refinerías para obtener oro y plata refinada.
Concentrado de platino y paladio	Se envía a refinerías especializadas para separar estos dos elementos.
Oro y plata	Tienen usos industriales, joyería, fotografía, medallas y monedas. También son usados como activos financieros.

3.2 Mercado del barro anódico

3.2.1 Producción mundial de barros anódicos

Las plantas de tratamiento de barros anódicos afiliadas a las refinerías de cobre han sido, en general, desarrolladas como parte del proyecto original de la refinería.

En la década de los '80 se observó la tendencia entre las refinerías de instalar plantas de metales nobles (tales como ZCCM, Brixlegg, Kayser). Se tendió a procesar "en casa", y en algunos casos extremos, las refinerías fueron obligadas por ley a hacerlo como resultado de la implementación de políticas económicas tendientes a incrementar el valor agregado de la industria minera además de disponer de oro para diversos usos.

Esta argumentación fue cuestionada en 1989, puesto que los resultados no habían sido los esperados. Existe evidencia de que los refinadores de cobre no aplicaron los mismos criterios económicos a la operación de sus plantas de metales nobles, que a las propias áreas de procesamiento de cobre y frecuentemente no fueron tratadas como centros de utilidad.

En los años '90, la tendencia se revirtió y se retornó a las prácticas de vender los barros en el mercado y se detuvieron varias plantas de metales nobles como la HK en Alemania y la de Chuquicamata en Chile. El cierre de plantas con capacidad de refinar barros propios hizo que los términos de procesamiento se pusieran del lado de los refinadores y en contra de los productores durante la segunda mitad de los '90. El bajo precio del cobre también presionó a otras refinerías a cerrar en EE.UU. y Canadá lo que llevó también al cierre la capacidad refinadora de metales nobles.

Desde la aparición de Peñoles en el año 2000, como un gran actor en el mercado de refinación de productos con metales preciosos, han ocurrido muy pocos desarrollos tendientes a refinar barros anódicos por lo que la producción de barros ha ido creciendo en relación a la de refinación. Existe un riesgo real de que los términos vuelvan nuevamente a favorecer a los refinadores.

En las gestiones que se realizaron para recabar datos para este estudio, no se ha encontrado información que respalde la construcción de nuevas plantas de refinación de barros a excepción de las nuevas refinerías de China, aumentos en Corea del Sur y Alemania, lo que apenas ha traído consigo el crecimiento de la capacidad de refinar barros anódicos.

Se estima que la producción mundial de barros mantiene una tendencia creciente conforme aumenta la producción de cobre refinado proveniente de electro refinerías.

China ha ido aumentando su participación en la cantidad de barros producidos mientras que la participación del resto de las regiones ha ido en descenso.

En la tabla siguiente se muestra información sobre la producción mundial de cobre electro-refinado y la producción de barro anódico desde el año 2000, mostrándose también una proyección hasta el 2010. En la figura D.1 del anexo D se muestra la distribución geográfica de esta producción.

Tabla N° 4. Producción mundial de cobre electro-refinado (miles de toneladas).

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Africa	280	297	328	332	360	327	326	362	462	502	577
Oceanía	397	460	465	414	442	410	377	430	470	485	495
Europa	2.867	3.173	3.183	3.053	3.185	3.303	3.352	3.283	3.468	3.661	3.807
Sudamérica	1.644	1.729	1.633	1.628	1.603	1.629	1.506	1.503	1.575	1.675	1.777
Norteamérica	2.006	2020	1.617	1.360	1.505	1.485	1.456	1.466	1.575	1.620	1.625
Asia (- China)	3.132	3.306	3.309	3.412	3.397	3.572	3.902	4.065	4.165	4.373	4.555
Todos (- China)	10.327	10.983	10.535	10.199	10.493	10.726	10.918	11.109	11.715	12.316	12.836
China	1.363	1.517	1.623	1.827	2.189	2.590	2.984	3.478	4.131	4.704	5.029
Total prod. ER	11.690	12.500	12.157	12.025	12.682	13.316	13.902	14.587	15.846	17.019	17.864
Total Barro (tms)	45.322	49.581	49.327	48.134	50.031	51.702	52.951	54.533	57.873	61.254	63.747

En estas tablas se muestra que la producción de barro anódico aumentará de alrededor de 57.000 toneladas por año en el 2007 a más de 63.000 toneladas por año en el 2010, producto del aumento en la producción de cobre electrolítico de refinerías, siendo China la que aportará con el 22% en el año 2010.

a) Oferta de barros custom ⁶

Se estima que la producción mundial de barros fue de 54.500 toneladas en el año 2007.

El 78% de esta producción es procesada en instalaciones de las mismas refinerías.

13% es enviada para su tratamiento a plantas con quienes existe un contrato exclusivo, ya sea porque tienen un dueño común, están más cerca geográficamente, impedimentos técnicos o cualquier otra razón, quedando el 9% (5.140 toneladas) libre para ser licitado o negociado con distintos refinadores.

⁶ Custom se refiere a los barros que no están integrados con una planta de procesamiento o bajo un contrato de largo plazo.

Este 9% puede ser incluso menor debido a la existencia de acuerdos como el de Atlantic Copper con Sumitomo en el cual Sumitomo envía concentrados de cobre para fundir a cambio de procesar posteriormente los barros que se produzcan (entre otras consideraciones dentro del paquete que hay negociado entre ambas compañías) de los cuales no existe información pública.

Codelco es por tanto un importante oferente de barros en el mercado custom ya que posee más del 20% de los barros que se transan bajo la modalidad de licitación.

En la figura D.2 del anexo D se muestran los principales productores de barros anódicos que son procesados por terceros.

3.2.2 Consumo mundial de barros anódicos

Por el alto valor de los barros anódicos (y el correspondiente costo financiero de tenerlos inmovilizados) y la suficiente capacidad mundial para su tratamiento, todos los barros producidos en el mundo encuentran donde ser refinados.

En ocasiones, la composición de los barros puede tener niveles de elementos químicos por exceso o defecto que dificultan su comercialización.

La industria japonesa ha aparecido y desaparecido intermitentemente como posibles compradores de barros. En la actualidad, los principales polos de atracción para barros no integrados con una refinería son Umicore en Bélgica y Peñoles en México.

El barro anódico custom compite por capacidad de procesamiento con productos de otras industrias. El desarrollo de nuevas minas de plata en Bolivia y México, de acuerdo a consultas efectuadas a profesionales de Comercialización de Codelco, restringirá la capacidad de refinación de plata en los próximos 1 a 3 años que harán subir los cargos de refinación actuales.

A excepción de Peñoles, que tiene considerado aumentar en 50% su capacidad actual de refinación de plata a partir de 2010, los escasos márgenes de la industria refinadora no incentivan a reinvertir en aumentos de capacidad que podría a futuro quedar ociosa. Los bajos márgenes han sido causantes de la desaparición de refinerías como Engelhard en los EE.UU. y Degussa y Johnson Matthey en Europa.

3.3 Comercialización del metal doré

Hay un mayor número de posibles compradores en el mercado de doré que en el mercado de los barros y es un producto que no representa desafíos para su venta a no ser que tenga impurezas como el cobre, selenio, arsénico, antimonio o mercurio. El doré es un producto más fácil de vender en relación a los barros y más difícil que los metales preciosos refinados. Si la refinación se hace en una refinería registrada como *Good Delivery*, esto le da un plus de liquidez al producto final. En la página web de London Bullion Market Association se puede encontrar un listado de refinadores registrados como Good Delivery (<http://www.lbma.org.uk/>).

A nivel mundial, no hay muchos oferentes de metal doré mientras que en el negocio de refinar doré hay muchas compañías. El negocio de refinar es marginal puesto que es un proceso que agrega poco valor. El costo de refinar doré depende de su composición química, a mayor contenido de oro los cargos de refinación suben.

La estructura de un contrato de compra-venta de doré es similar al de los barros anódicos en el cual además de identificarse las partes, se incluyen cláusulas con los cargos de tratamiento, cargos de refinación, penalidades por tratamiento de impurezas, período de cotización, cláusulas de fuerza mayor, pesaje etc.

Los contratos de maquila son similares a los de compra-venta pero en estos se especifica, además, cuándo y dónde se retornarán los metales refinados.

Dado el alto valor del doré, en el establecimiento de un contrato de procesamiento tipo maquila, debe tenerse en cuenta la confiabilidad del receptor. Con el fin de minimizar los robos el tamaño del lingote de doré en ocasiones se hace hasta de 250 kilogramos siendo lo habitual los lingotes de 12,5 kilogramos.

Otra consideración que no debe obviarse si existe un arancel en el país receptor, ya que cuando el contrato es de compra-venta la importación de doré podría verse en condiciones no competitivas respecto a un doré producido en el país de refinación. Los acuerdos de libre comercio establecidos por Chile con muchos de los principales países con capacidad de refinar metales preciosos, sitúa en ventaja a Chile con respecto a otros países.

3.4 Mercado del oro

En el año 2007 el precio de la oro alcanzó un promedio de 696,82 US\$/ozt, lo que significó un aumento de un 15,3% respecto del año 2006 (ver anexo C), llegando al mayor precio desde el año 1980.

El balance físico muestra que hubo excedentes mundiales los años 2005 y 2006, no obstante la utilización de este producto como un activo financiero, resultó en que el superávit no hiciera bajar los precios.

En cuanto al 2008, el precio promedio está sobre los 850 US\$/ozt, no obstante, existen variaciones importantes en el último trimestre debido a la crisis internacional.

3.4.1 Producción mundial de oro

Los principales componentes de la oferta mundial de oro son la producción mundial de mina, las ventas de reservas de los bancos centrales y la producción secundaria o producción de oro a partir de chatarra electrónica.

Durante el año 2006, la producción mundial de oro de mina alcanzó a 2.471 toneladas métricas, siendo América el principal productor con una participación de 34% del total mundial, seguido por África y Asia que representaron el 21% del total cada una. Cabe señalar que la producción mundial de mina entre los años 2002 y 2006 experimentó una disminución de 141 toneladas métricas, situación que se explica en gran medida por los

cierres de operaciones de altos costos ante precios deprimidos de los primeros años de la década.

A nivel de países, Sudáfrica continúa siendo el principal productor con una producción anual en el año 2006 de 292 toneladas métricas, representando el 12% del total mundial. Sin embargo, se debe señalar que su producción ha venido sufriendo una permanente disminución desde las más de 600 toneladas métricas que producía en los años ochenta.

Le sigue en importancia Estados Unidos con una producción de 252 toneladas métricas, alcanzando una participación de 10% en la producción mundial. Como tercer productor se ubicó China con una producción de 247 toneladas métricas y una participación de 10%.

Los principales países latinoamericanos productores de oro durante el año 2006 fueron Perú con una producción de 203 toneladas métricas (8%), ubicado como quinto productor mundial. Le sigue Brasil con una producción de 50 toneladas métricas (2%) ubicado en el lugar número 13 mundial y por Chile con una producción de 42 toneladas métricas (1,7%) ubicado en el lugar número 15 mundial.

Otro componente importante dentro de la oferta mundial de oro es el reciclaje o recuperación de oro desde productos industriales, desde joyas y desde la fusión de monedas.

En el año 2006 ingresaron al mercado 1.108 toneladas métricas de oro secundario, siendo los principales países procesadores Arabia Saudita y Yemen con 133 toneladas métricas (12%), Turquía con 83 toneladas métricas (7,5%) y Estados Unidos con 81 toneladas métricas (7,3%).

3.4.2 Demanda mundial de oro

En el curso del año 2006, la demanda total de oro fue de 3.518 toneladas métricas, 3% menor que la demanda registrada el año 2005.

Desde el punto de vista de la demanda por sectores, la principal actividad demandante de oro es el sector joyería, con una participación de más de 65% del total mundial y de 78% del oro utilizado para fabricación, registrándose en el año 2006 una demanda de 2.280 toneladas métricas. Otro sector de gran demanda de oro es el sector electrónico, el que en el año 2006 consumió 304 toneladas métricas explicando más del 8,6% de la demanda mundial y el 10,4% de la demanda de oro para fabricación.

A nivel de países el más importante demandante de oro para joyería es India, país que en el año 2006 demandó 544 toneladas métricas representando el 15,5% del total mundial. Le sigue en importancia China con un consumo de 245 toneladas métricas, representando el 7% del total. En tercer y cuarto lugar se encuentran Italia y Turquía con una demanda de 218 y 185 toneladas métricas, respectivamente.

En el sector electrónico el principal país demandante es Japón, país que en el año 2006 demandó 124 toneladas métricas, representando más del 41% de la demanda sectorial.

Le siguen en importancia Estados Unidos y Sudcorea con una demanda de 57 y 32 toneladas métricas, respectivamente.

3.4.3 Balance físico

En lo que se refiere al balance del mercado, puede señalarse que luego de un importante excedente el año 2003, el mercado durante el año 2004 mostró un déficit de 35 toneladas métricas y el año 2006 se volvió a excedentes por 389 toneladas métricas.

Tabla N° 5. Balance mundial de oro (toneladas métricas).

	2002	2003	2004	2005	2006
Oferta de oro	4.000	4.181	3.810	4.110	3.907
Producción de mina	2.612	2.620	2.492	2.550	2.471
Ventas oficiales	547	617	469	674	328
Oro secundario	841	944	849	886	1.108
Demanda de oro	3.818	3.430	3.845	3.630	3.518
Fabricación	3.142	2.995	3.166	3.281	2.919
Joyería	2.660	2.482	2.614	2.707	2.280
Electrónica	206	233	260	279	304
Usos dentales	69	67	68	62	61
Monedas oficiales	97	107	115	111	129
Monedas no oficiales y medallas	27	26	26	37	59
Otros usos industriales	83	80	83	85	86
Inversiones	676	435	679	349	599
Atesoramiento en barras	264	180	257	263	226
Operaciones de de-hedging de productores	412	255	422	86	373
Excedente/(Déficit)	182	751	-35	480	389
Precio London Initial (US\$/oz)	310,2	363,7	409,3	444,9	604,7

Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre con antecedentes del Gold Field

En las tablas D.1 a D.5 del anexo D se muestra información de producción y demanda mundial de oro.

3.4.4 Minería del oro en Chile

La minería del oro en Chile ha tenido un importante desarrollo a partir del año 1980. En efecto, antes de ese año la mayor contribución a la producción de oro del país provenía de la minería del cobre, obteniéndose el oro como subproducto, alcanzando una participación del 70 %.

La producción nacional de oro se encuentra distribuida a lo largo de 7 regiones del país, siendo la Tercera Región la más importante en magnitud, con una producción de 18.834 kilogramos en el año 2006, representando el 44,7% del total nacional.

Tabla N° 6. Origen de la producción de oro en Chile (kilogramos de oro).

Año	Minería del oro		Minería del cobre y otras		Total	
	Kg	%	Kg	%	Kg	%
2002	23.893	61,8	14.795	38,2	38.688	100,0
2003	23.248	59,7	15.706	40,3	38.954	100,0
2004	23.456	58,7	16.530	41,3	39.986	100,0
2005	24.007	59,4	16.440	40,6	40.447	100,0
2006	26.427	62,8	15.673	37,2	42.100	100,0
2007	25.800	63,2	15.000	36,8	40.800	100,0

Fuente: SERNAGEOMIN.

De las 26.427 toneladas métricas producidas en el año 2006, el principal producto fue el metal doré, que representó más del 86% de la producción. Le sigue los concentrados de oro, que representaron cerca del 11%. Con menor participación, le siguen el oro metálico (1,5%) y los minerales de concentración con una participación similar.

El detalle de la producción de oro en Chile por empresa y por región, se muestra en las tablas D.6 y D.7 del anexo D.

3.5 Mercado de la plata

En el año 2007 el precio de la plata alcanzó un promedio de 13,39 US\$/ozt, lo que significó un aumento de un 15,9 % respecto del año 2006 (ver anexo C), llegando al mayor precio desde el año 1981. Este aumento del precio se debió a los buenos fundamentos del metal que se caracterizaron por una producción de mina que se mantuvo con pequeños aumentos considerando los altos precios y una demanda que se mantuvo estable.

El balance físico muestra que los excedentes mundiales fueron en aumento, no obstante la utilización de este producto como un activo financiero, resultó en que el superávit no hiciera bajar los precios.

En cuanto al 2008, el precio promedio es de 15,58 US\$/ozt, no obstante, existe evidencia de consecuencias que ha tenido la crisis internacional en el precio de la plata.

3.5.1 Producción mundial de plata

Los principales componentes de la oferta mundial de plata son la producción mundial de mina y la oferta a partir de fuentes secundarias.

La oferta total de plata totalizó 28.152 toneladas métricas, disminuyendo 2,3% respecto del 2005. Tal como en los años anteriores, provino principalmente de la producción de mina (71,4% del total) que alcanzó a 20.100 toneladas métricas, disminuyendo sólo 2 toneladas métricas con respecto al año 2005.

Dentro de dicha producción de mina, fue mayoritaria la que surge como subproducto de otros metales (producción secundaria), ya que la producción primaria sólo equivale a un 25% del total.

Por continente, el mayor aumento en la producción de mina, entre el 2006 y 2005, fue en Latinoamérica con 599 toneladas métricas – principalmente en Perú y Chile –, mientras que Oceanía contrajo su producción en 676 toneladas métricas, debido a una baja en Australia. En cuanto a Chile, quinto productor mundial, su producción de mina aumentó en casi 208 toneladas métricas (+14,8%), variación que se explica principalmente por una recuperación de la producción desde la Gran Minería del Oro, que subió en cerca de 224 toneladas métricas su producción de plata.

Otras fuentes de oferta mundial – chatarra y ventas oficiales – aumentaron, aunque esto no fue suficiente para compensar la caída en la cobertura de empresas (han disminuido su nivel de cobertura de libros o utilizado otra clase de instrumentos) que genera una mayor demanda física para cerrar contratos vigentes.

Entre los 20 principales productores sólo hay 3 productores primarios.

La participación de Codelco en la producción minera en el año 2006 fue de un 1,4%, siendo la mayor participación la de Industrias Peñoles de México con un 7,3%, seguida de KGHM Polska Miedz de Polonia con un 6,2 % y de BHP Minerals de Australia con un 5,7%.

3.5.2 Demanda mundial de plata

El consumo de plata en aplicaciones industriales ha ido aumentando en los últimos 10 años producto de la mayor actividad industrial y nuevas aplicaciones.

Con el advenimiento de la fotografía digital la cantidad demandada por este sector del consumo mantiene una tendencia decreciente.

Los altos precios actuales están fomentando:

- El uso de la plata como activo de inversión.
- La liquidación de posiciones desde los gobiernos y bancos centrales con la finalidad de obtener recursos.
- Alejando a los sectores de consumo final como joyería y platería.

La demanda total de plata en el año 2006 totalizó 26.141 toneladas métricas, disminuyendo 0,9% respecto del año anterior. Dicha caída se explica por una disminución de 6,5% del sector joyería y platería y una baja de 10% del sector fotográfico.

La demanda de plata ha mantenido como principal sector usuario a las aplicaciones industriales, con un 51,2% del total, seguida en importancia por la joyería y platería (26,7% del total), la fotografía (17,3%), y el restante 4,8% corresponde a su uso en monedas y medallas.

La fotografía ha continuado con su caída en la demanda, más por razones de sustitución tecnológicas – desde la fotografía tradicional a la digital – que de precios, siendo la baja más sustantiva en el sector de consumo, ya que tanto para su uso en ciertos tipos de papel como para productos médicos, la demanda se mantuvo estable.

Las monedas y medallas tuvieron una caída moderada debido a una menor acuñación en el viejo continente, parcialmente compensado por un aumento en EE.UU.⁷

3.5.3 Balance físico

El balance entre la oferta y demanda mundial de plata muestra que entre el período 2004 a 2006 se acrecentó el superávit físico iniciado el 2003, situación que continuaría en el resto del período comprendido entre 2007 y 2008.

En el año 2007 y 2008 el mercado físico mantendrá un superávit, principalmente por un aumento en la producción de mina como resultado de dos efectos contrarios: una recuperación menor de producción de minas primarias y la expansión como subproducto de otros metales. La expansión de la oferta superaría al crecimiento proyectado de la demanda que estaría caracterizado por una menor tasa de crecimiento para aplicaciones industriales, y un alza de la demanda para joyería y platería.

En cuanto a las restantes fuentes de oferta, se espera una baja en las ventas oficiales porque no se mantendrían las altas ventas de India del 2006, mientras que habría un leve crecimiento en el reciclaje de chatarra de plata gatillado porque el precio del metal continúa alto. En cuanto a la cobertura de las empresas, se asume que se mantendrían parcialmente los factores que provocaron fueran demandantes netos en el 2006.

Los excedentes proyectados harían que entre 2006 y 2008 los inventarios totales de plata aumenten, representando en el último año 20,7 meses de consumo, frente a 17,5 meses del 2005. Por otra parte, de acuerdo a las estimaciones de Cochilco, en el 2007 el precio promedio de la plata se ubicaría en torno a 13,3 dólares la onza, mientras que en 2008 tendría una leve moderación hasta alrededor de 13 dólares la onza.

En las tablas D.8 a D.11 del anexo D se muestra información de producción y demanda mundial de plata.

Tabla N° 7. Balance mundial de plata (toneladas métricas).

	2004	2005	2006	2007 (est)	2008 (est)
Oferta de plata	27.222	28.809	28.152	28.596	29.135
Producción de mina	19.353	20.102	20.100	20.703	21.221
Reciclaje de chatarra	5.646	5.797	5.848	5.940	6.064
Ventas oficiales	1.924	2.051	2.415	2.053	1.950
(Des) Cobertura empresas	299	859	-211	-100	-100
Demanda de plata	25.773	26.385	26.141	26.287	26.384
Aplicaciones industriales	11.329	12.622	13.375	13.888	14.421
Joyería y platería	7.497	7.478	6.994	7.051	7.042
Fotografía	5.629	5.040	4.535	4.082	3.674
Monedas y medallas	1.318	1.245	1.237	1.266	1.247
Excedente/(Déficit)	1.449	2.424	2.011	2.309	2.751
Precio London Spot (US\$/oz)	6,7	7,3	11,5	13,2	13,0

⁷ Fuente: Cochilco.

3.5.4 Minería de la plata en Chile

El desarrollo de la minería cuprífera y aurífera nacional, trajo como resultado un incremento total de 438,3% en la producción nacional de plata entre los años 1980 y 2006, totalizando en este último año 1.607,2 toneladas métricas, y ubicando a Chile como el quinto productor mundial –similar posición que en el 2005– y tercer productor latinoamericano, después de México y Perú. Respecto del año anterior, en el 2006 se observó un crecimiento de 14,8% en la producción de plata en Chile, explicada por una mayor producción como subproducto de la minería del oro.

Tabla N° 8. Origen de la producción de plata en Chile (kilogramos de plata).

Año	Minería de la plata		Minería del cobre y otras		Total	
	Kg	%	Kg	%	Kg	%
1980	88.235	29,56	210.310	70,44	298.545	100,00
1985	180.955	34,98	336.377	65,02	517.333	100,00
1990	43.613	6,66	610.828	93,34	654.441	100,00
2000	350	0,03	1.241.843	99,97	1.242.193	100,00
2005	133	0,01	1.399.406	99,99	1.399.539	100,00
2006	298	0,02	1.606.866	99,98	1.607.164	100,00

Fuente: Cochilco

La producción nacional de plata está presente en 7 regiones del país, siendo la Segunda Región la con mayor magnitud, ya que su producción alcanzó a 649,1 toneladas métricas en el año 2006. Como se mencionó anteriormente, un gran porcentaje de la producción nacional de plata proviene como subproducto de la gran minería del cobre, la que se concentra en la 2° región, donde se encuentran operaciones tales como Escondida y Codelco Norte. Además, en esta región se ubica la mina de oro El Peñón, también relevante en la producción de plata.

Según la escala productiva, la mayor parte es aportada por la Gran Minería que en total generó 1.159,2 toneladas métricas o un 72,1% de la producción de plata nacional –principalmente del cobre –, aumentando su importancia desde el 67,7% del 2005. En segundo lugar de importancia está la producción de la Mediana Minería que alcanza a 413,2 toneladas métricas o 25,7% del total de plata producida en Chile, siendo la más importante la proveniente como subproducto del oro. Las restantes 34,8 toneladas métricas o 2,2% del total, son aportados por la Pequeña Minería, tanto como subproducto del oro como del cobre y, en muy baja proporción, como producción primaria.

El detalle de la producción de plata en Chile por región, origen y escala, se muestra en las tablas D.12 y D.13 del anexo D.

CAPÍTULO 4 OPERACIÓN

La Planta de Metales Nobles procesa los Barros Anódicos que se generan en la electrorefinación de cobre. Además, realiza la refinación de metales preciosos de proveedores externos de barros anódicos como Codelco Norte y Salvador y, eventualmente, metal doré de Minera Can Can, La Florida y otros.

En sus procesos productivos, la Planta de Metales Nobles obtiene los siguientes productos y subproductos:

- Oro
- Plata
- Selenio Crudo
- Telurio Electrolítico
- Concentrado de Paladio y Platino
- Sulfato de Cobre
- Escorias de fusión

En la figura B.2 del anexo B se muestra un diagrama de procesos de la planta de Metales Nobles de División Ventanas.

4.1 Descripción de procesos

4.1.1 Procesamiento de barros anódicos crudos

El barro anódico crudo generado en la refinería electrolítica se recepciona en la planta de Metales en dos estanques de decantación en los cuales el barro anódico sedimenta y el electrolito sobrenadante rebasa a otros dos estanques en los que continúa el proceso de sedimentación. Finalmente, el electrolito es recepcionado en un quinto estanque que dispone de dos compartimientos, uno para el electrolito no filtrado y otro para el electrolito filtrado.

El electrolito no filtrado se envía a filtros y una vez filtrado retorna a la zona de electrolito filtrado del estanque. Desde esta zona es bombeado de retorno hacia la refinería electrolítica.

Los sólidos que se obtienen en el proceso de sedimentación son sometidos a un proceso de lixiviación para retirar el cobre contenido, para lo cual se dispone de tres reactores de lixiviación con agitación mecánica que operan en forma batch.

La lixiviación se realiza a presión adicionando ácido sulfúrico y oxígeno para acelerar la reacción. Finalizado el tiempo de proceso, se descarga la pulpa y se procede a filtrar en un filtro prensa. El sólido obtenido, con un contenido menor a 2% de cobre, se denomina barro anódico descubrizado; el líquido constituye la solución lixiviada o lixiviado.

4.1.2 Precipitación de telurio y producción de telurio electrolítico

El lixiviado obtenido en el proceso de descubrización, con una concentración promedio de 60 gr/lit de cobre y unos 150 gr/lit de ácido, es enviado a la torre de precipitación de cobre - telurio.

La torre de precipitación contiene cobre metálico proveniente de despuntes y una vez que se llena con lixiviado, se alimenta aire para agitar y vapor de agua para mantener una temperatura de 90 °C.

Transcurridas unas dos horas se obtiene un precipitado de cobre y telurio el que es filtrado en un filtro prensa para separarlo de la solución.

El barro cobre – telurio es secado y oxidado a 300 °C para obtener el dióxido de telurio.

Posteriormente, se realiza una lixiviación básica seguida de una precipitación en medio ácido y filtración.

A continuación, el sólido es lixiviado en medio básico. La solución resultante es enviada a la celda de electro-obtención en donde se obtiene telurio electrolítico con un 97 a 99% de telurio.

4.1.3 Producción de sulfato de cobre

La solución obtenida en el anterior proceso de precipitación de telurio, contiene 90 a 100 gr/lit de cobre y parte de él se recupera a la forma de sulfato de cobre pentahidratado.

Para lograr esto, la solución es enviada a dos cristalizadores refrigerados con agua, en los que temperatura de la solución desciende desde 90 °C hasta 20 °C, siendo el ciclo de enfriamiento de aproximadamente 18 horas. En este proceso de enfriamiento se produce la cristalización del cobre a la forma de sulfato de cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$).

Finalizado el proceso, los cristales son descargados a una centrífuga para obtener la separación del sólido y el líquido.

El sulfato de cobre es envasado en sacos de 800 kilogramos para su posterior venta y el líquido, con un contenido promedio de 50 gr/lit de cobre, es enviado a la planta de tratamiento de electrolito para su procesamiento.

4.1.4 Deselenización de barro anódico descubrizado

El barro anódico descubrizado ingresa a la etapa de deselenización, para lo cual se prepara una mezcla con ácido sulfúrico y aditivos que favorecen la porosidad de la mezcla. La pulpa se carga en bandejas que son introducidas en hornos de tostación eléctricos.

El proceso se desarrolla a 600 °C y genera dióxido de selenio (SeO_2) y dióxido de azufre (SO_2). Ambos gases son conducidos hacia un lavador de gases que utiliza agua y en el cual se genera selenio elemental y se regenera el ácido sulfúrico.

La pulpa es filtrada y el sólido constituye un producto comercial con un contenido superior a 95% de selenio.

El barro anódico descobrizado y deselenizado que permanece en las bandejas de los hornos de tostación, se denomina calcina y constituye la alimentación al horno TROF.

4.1.5 Fusión de calcina y producción de metal doré

La calcina del proceso de deselenización es chancada y se combina con carbono para ser procesada en el horno de fusión de calcina, el horno TROF, para obtener un producto de oro y plata denominado metal doré.

La calcina está formada principalmente por óxidos de arsénico, telurio y plomo, además de sulfato de plata y sulfato de cobre. Estos óxidos, en conjunto con los fundentes (soda, bórax) y el carbono, formarán la escoria primaria, llamada escoria de fusión, la cual después de ser chancada y harneada es dispuesta en maxisacos de 1.500 kilogramos y comercializada debido al contenido de oro y plata que poseen.

Posteriormente, es necesario retirar las impurezas aún presentes tales como selenio y telurio, las que son oxidados por inyección de oxígeno y retiradas en una nueva escoria denominada escoria de oxidación. Con posterioridad esta escoria es reprocesada en el mismo horno para recuperar el oro y la plata contenida.

El metal doré es retirado del horno y moldeado en forma de ánodos con un peso aproximado de 10 kilogramos.

4.1.6 Refinación de plata

El proceso de recuperación de la plata presente en el ánodo de metal doré consiste básicamente en una electro-refinación y granallado, utilizándose el proceso Moebius.

Este proceso consiste en introducir los ánodos en bolsas de polipropileno e instalarlos al interior de las celdas electrolíticas. Las celdas son de fibra de vidrio/resina, los cátodos son de titanio y el electrolito se compone de nitrato de plata y ácido nítrico.

Para que ocurra el proceso de electro-refinación se debe aplicar corriente eléctrica, con ello el ánodo se disuelve y la plata se deposita en los cátodos.

Las celdas disponen de un sistema de raspadores mecánicos que constantemente remueven los cristales de plata depositados, los que caen al fondo de la celda.

Una vez finalizado el ciclo de electro-refinación, los cristales son retirados desde las celdas y lavados.

A continuación, los cristales son fundidos en un horno eléctrico de inducción y sometidos a un proceso de granallado. De esta forma se obtiene el producto final que es la granalla de plata con un contenido de 99,99% Ag.

Por otra parte, el barro aurífero crudo que se acumuló en las bolsas de polipropileno, al interior de las celdas electrolíticas, es retirado para ser lixiviado con ácido sulfúrico concentrado, para eliminar la plata que aún se encuentra presente. La solución resultante de este proceso es tratada con hierro obteniendo un concentrado de paladio.

4.1.7 Refinación de oro

El proceso empleado para la recuperación de oro se denomina Proceso Wohlwil y consiste básicamente en una fusión y posterior moldeo.

El Barro Aurífero, seco y libre de plata, obtenido en la lixiviación, es fundido en un horno de inducción y moldeado como ánodo de oro con un peso de alrededor de 1,8 kilogramos.

Los ánodos de oro son ingresados a celdas electrolíticas con ánodos de titanio y electrolito de ácido clorhídrico.

Una vez concluido el ciclo de electro-refinación, se obtiene un depósito catódico de oro de pureza 99,99%.

Este cátodo de oro es fundido y posteriormente moldeado en forma de barras con un peso de 12,5 kilogramos.

4.1.8 Producción de concentrado de platino-paladio

A partir del electrolito retirado en la electro-refinación de oro, se recupera un concentrado de platino - paladio.

Para esto, al electrolito que contiene en solución hexacloro platinato (PtCl_6^{2-}) y tetracloro paladato (PdCl_4^{2-}), se le adiciona granallas de zinc produciéndose un precipitado rico en platino y paladio.

Debido a los volúmenes que se manejan, el proceso se realiza a escala laboratorio.

4.2 Descripción de equipos

En el anexo E, se muestra una lista de los equipos con que cuenta la planta de Metales Nobles de la División Ventanas.

4.3 Benchmarking de tecnología para recuperación de selenio

Hay varios métodos en uso para la remoción de Se de los barros anódicos descubridos. Uno de los más antiguos es la tostación directa a temperaturas cercanas a los 600 °C de manera de descomponer los seleniados de plata fundamentalmente y sublimar el selenio y el dióxido de selenio. A éste, últimamente se

le ha añadido el uso de ácido sulfúrico de manera de mejorar la sublimación del dióxido de selenio.

La colección del selenio a través de los gases es dificultosa debido a su naturaleza hidrofóbica, los sistemas utilizados no son lo suficientemente eficientes, y se tienen pérdidas en el tren de gases que pueden llevar además a problemas ambientales de las plantas.

Este proceso utilizado en División Ventanas tiene una recuperación de selenio de un 70% con emisiones de gases que pueden dificultar el control ambiental a futuro.

Por otra parte, los equipos descritos en el subcapítulo anterior permiten procesar la totalidad de los barros anódicos producidos por la División Ventanas y solo una fracción de la producción de Codelco Norte. Esta es la principal restricción para un mayor procesamiento de una mayor cantidad de barro anódico en la planta de Metales Nobles.

Estos son dos factores fundamentales que incentivan la búsqueda de otras alternativas de procesamiento. Otros métodos utilizados en la industria son:

- Tostación fusión alcalina donde el material es fundido con soda y sílice como fundentes.
- Lixiviación alcalina desarrollado por INCO utilizando soda y oxígeno.
- Cloración de los barros para volatilizar selenio y telurio, que es usado muy poco y solo se tiene referencia de la planta Niihama de Sumitomo.

En la última década se ha desarrollado un método pirometalúrgico para la recuperación de selenio aprovechando la obtención a su vez de metal doré. Entre estos se puede mencionar a:

- Mitsubishi que ha instalado un horno rotatorio para mejorar la recuperación de selenio, seguido de un proceso de oxidación para reducir el bismuto.
- CCR ha patentado el uso del Top Blown Rotary Converter (TBRC) que reduce significativamente el tiempo de procesamiento.

Uno de los procesos que está siendo utilizado con éxito en la industria es el desarrollado inicialmente en Boliden (Proceso Kaldo) por Outokumpu (Hoy Outotec) y que también ha sido instalado en Norddeutsche Affinerie (N. A.) ubicada en Hamburgo (Alemania), y que permite eliminar la etapa de tostación de Se tradicional y realizar la recuperación de selenio y obtención de metal doré en una sola etapa.

En efecto, en este proceso según la Norddeutsche Affinerie las principales ventajas respecto a las otras tecnologías como la de Codelco Ventanas son :

- Un menor consumo de energía y mano de obra.
- La reducción de los costos de mantención.
- La reducción del tiempo de procesamiento para la producción de metal doré.
- Los mejores estándares en la producción directa de selenio y metales preciosos.
- La reducción de inventario de metales preciosos al incorporar la tecnología.

- La reducción de emisiones de selenio entre 80 y 99% y la protección al medioambiente.
- El mejoramiento de las condiciones de trabajo para los empleados.

Las etapas básicas de proceso en el TBRC son:

- Fusión y reducción con coque / escoriación
- Conversión con aire/oxígeno (Volatilización y recuperación de selenio)
- Refinación y moldeo metal doré.

Un diagrama de proceso de Norddeutsche Affinerie se muestra en anexo B.

Los principales beneficios que se obtienen según lo informado por la Norddeutsche affinerie, con el proceso Kaldo respecto al proceso de tostación tradicional por cada tonelada de metal doré producido se muestra en la tabla siguiente:

Tabla N° 9. Parámetros operacionales del proceso KALDO.

Ítem	Proceso tostación	Proceso Kaldo
Requerimiento energía	1,0	0,86
Requerimiento de mano de obra	1,0	0,59
Recuperación de metales preciosos	98,5	99,0
Recuperación de selenio	0,80	0,95
Reducción de inventario	1,0	0,50
Grado de selenio comercial	0,95	0,99

Los índices anteriores y sumado a que es un proceso absolutamente probado por más de 26 plantas alrededor del mundo y que su implementación y logro de los estándares de diseño son alcanzados rápidamente, hace de esta tecnología algo muy interesante para, ya sea cambiar el proceso existente en Ventanas de manera de potenciar el tratamiento integro de todos los barros anódicos producidos en Codelco, o desarrollar una nueva alternativa de procesamiento para los barros anódicos excedentes y que son vendidos a terceros.

Es necesario destacar que la capacidad del horno TBRC instalado en Norddeutsche affinerie, que contempla el proceso Kaldo, produce alrededor de 500 toneladas/año de metal doré que son muy superiores a las actualmente producidas en División Ventanas, por lo que este tipo de tecnología puede hacerse cargo de toda la producción de barro anódico de Codelco, en un solo horno TBRC.

Finalmente, y referido al mejoramiento de las condiciones de manejo de materiales en las plantas electrolíticas de plata y oro, se puede indicar que los avances han ido por incrementar el peso de los ánodos moldeados desde 10 a 45 kilogramos y la mecanización y automatización del manejo de las piezas y el carguío en las celdas. De la misma forma, se han automatizado el granallado de la Plata hasta el manejo de bolsas y el etiquetado y pesado de ellas, incrementando así fuertemente la productividad de la mano de obra y la minimización del manipuleo de metales preciosos por parte del personal.

CAPÍTULO 5 ESTRATEGIA DE NEGOCIO

5.1 Plan de producción

En la tabla siguiente se muestra el perfil de producción de barras anódicas de las divisiones Codelco Norte y Salvador, faenas que no tienen integrada una planta de tratamiento y refinación de plata y oro.

Tabla N° 10. Perfil de producción de barras anódicas (tms).

BAD	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
CN		791	824	811	880	1.419	1.396	1.377	1.338	1.646	1.636	1.621	1.633
SAL		251	251	251	252	271	371	371	372	371	371	371	372
Total		1.042	1.075	1.062	1.132	1.690	1.767	1.748	1.710	2.017	2.007	1.992	2.005

BAD	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
CN	1.644	1.644	1.590	1.612	1.594	1.662	1.666	1.673	1.640	1.648	1.615	1.615
SAL	371	371	371	372	371	371	371	372	371	371	371	372
Total	2.015	2.015	1.961	1.984	1.965	2.033	2.037	2.045	2.011	2.019	1.986	1.986

Dado que la planta de Metales Nobles de División Ventanas posee mayor capacidad de tratamiento que la producción de barras de la propia refinería electrolítica, también procesa alrededor de 480 tms/año de barras de Codelco Norte, por lo que hay que descontar esta cantidad anualmente al perfil de producción mostrado en la tabla anterior.

El aumento de la producción de barras a partir de 2013 corresponde a la mayor producción de la refinería en Chuquicamata por la entrada en producción de la mina Alejandro Halles que tiene contenidos de oro dos veces superior al de la mina Chuquicamata y de plata cinco veces mayor.

5.2 Estrategia de negocios

La estrategia de producción se basará en la mejor alternativa de negocio para los barras anódicos producidos en la empresa.

En el análisis se compararán las alternativas de vender los barras anódicos excedentes al mercado (alternativa base) y la de procesarlos internamente hasta producir y vender:

Alternativa 1: Metal doré, junto a los subproductos resultantes.

Alternativa 2: Oro y plata de alta pureza, junto a los subproductos resultantes.

Para este análisis, se considera que el procesamiento se realiza a través del proceso Kaldo descrito anteriormente, en una planta nueva para el proceso de selenio y obtención de metal doré (incluyendo una dotación extra correspondiente al 60% de la actual, según los parámetros operacionales de este proceso), cuya inversión se estima en 15 millones de dólares y otros 5 millones de dólares adicionales en ampliar la capacidad de refinación de oro y plata con la misma dotación actual.

Adicionalmente, se evalúa la conveniencia de continuar procesando excedentes de barras anódicas de Codelco Norte o Salvador en Ventanas.

CAPÍTULO 6 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN EXTERNA E INTERNA

6.1 Análisis de la situación externa

6.1.1 Intensidad de rivalidad entre competidores⁸

Actualmente, en el mercado existen competidores directos que ofrecen los productos de Codelco. En efecto, Codelco tiene una participación pequeña en la producción de oro y plata a nivel mundial (menor a 2%).

En capítulos anteriores se mostró las cifras de producción mundial de barros anódicos, en las cuales se estimaba que el 78% de la producción mundial de barros es procesada en instalaciones de las mismas refinerías, 13% es enviada para su tratamiento a plantas con quienes existe un contrato exclusivo, quedando el 9% libre para ser licitado o negociado con distintos refinadores, alrededor de 5.000 toneladas por año.

Este 9% puede ser incluso menor debido a la existencia de acuerdos como el de Atlantic Copper con Sumitomo en el cual Sumitomo envía concentrados de cobre para fundir a cambio de procesar posteriormente los barros que se produzcan.

Codelco es por tanto un importante oferente de barros en el mercado de los barros que se transan en la modalidad de licitación, ya que posee más del 20% de participación. **

Por otra parte, también existe capacidad disponible para el procesamiento de estos barros no integrados con refinerías electrolíticas. Los principales son Umicore en Bélgica y Peñoles en México.

La industria japonesa ha aparecido y desaparecido intermitentemente como posibles compradores de barros.

El barro anódico que se transa en la modalidad de licitación compite por capacidad de procesamiento con productos de otras industrias. El desarrollo de nuevas minas de plata en Bolivia y México, de acuerdo a consultas efectuadas a profesionales de Comercialización de Codelco, restringirá la capacidad de refinación de plata en los próximos 1 a 3 años que harán subir los cargos de refinación actuales. Sin embargo, Peñoles tiene considerado aumentar en 50% su capacidad actual de refinación de plata a partir de 2010.

Los bajos márgenes han sido causantes de la desaparición de refinerías como Engelhard en los EEUU y Degussa y Johnson Matthey en Europa, lo que indica la alta intensidad de la rivalidad entre competidores, en un negocio que no tiene márgenes tan altos de rentabilidad.

Por el alto valor de los barros anódicos - y el correspondiente costo financiero de tenerlos inmovilizados - y la suficiente capacidad mundial para su tratamiento, todos los barros producidos en el mundo encuentran donde ser refinados.

⁸ Fuente: Codelco, Vicepresidencia de Comercialización.

Por lo tanto la intensidad de la rivalidad entre competidores es alta.

6.1.2 Amenaza de nuevos participantes

Desde la aparición de Peñoles en el año 2000, como un gran actor en el mercado de refinación de productos con metales preciosos, han ocurrido muy pocos desarrollos tendientes a refinar barros anódicos por lo que la producción de barros ha ido creciendo en relación a la de refinación. Existe un riesgo real de que los términos vuelvan nuevamente a favorecer a los refinadores.

No se ha encontrado información que respalde la construcción de nuevas plantas de refinación de barros a excepción de las nuevas refinerías de China, aumentos en Corea del Sur y Alemania, lo que apenas ha traído consigo el crecimiento de la capacidad de refinar barros anódicos.

Se estima que la producción mundial de barros mantiene una tendencia creciente conforme aumenta la producción de cobre refinado proveniente de electro refinerías.

China ha ido aumentando su participación en la cantidad de barros producidos mientras que la participación del resto de las regiones ha ido en descenso.

A excepción de Peñoles, que tiene considerado aumentar en 50% su capacidad actual de refinación de plata a partir de 2010, los escasos márgenes de la industria refinadora no incentivan a reinvertir en aumentos de capacidad que podría a futuro quedar ociosa. Los bajos márgenes han sido causantes de la desaparición de refinerías como Engelhard en los EEUU y Degussa y Johnson Matthey en Europa.

En resumen, se puede considerar las siguientes barreras de entrada para evaluar la amenaza de nuevos participantes:

a) Economías de escala

Los escasos márgenes de la industria refinadora no incentivan a reinvertir en aumentos de capacidad de procesamiento de barros anódicos que podría a futuro quedar ociosa.

b) Diferenciación de los productos

El producto, oro y plata, tiene características bien definidas y apetecibles por los clientes debido a sus múltiples aplicaciones en la industria y como activos de inversión. Esto se debe a su alta pureza (calidad) y el alto valor económico.

c) Capital necesario

Los niveles de inversión de capital son bastante altos ya que se utiliza tecnología específica que incorpore el procesamiento de residuos líquidos y gaseosos.

d) Costo de cambio de empresa

Es muy alto, pues los niveles de inversión requeridos para instalar una planta de este tipo es muy alto. Aún para las empresas que se dedican al procesamiento de barros anódicos les resulta poco rentable invertir grandes sumas de dinero para aumentar su capacidad de procesamiento que después puede quedar ociosa por cambios en la estrategia de producción de las empresas que producen cobre electro-refinado.

e) Acceso a canales de distribución

Se debe considerar que existen leyes internacionales que impiden el transporte y desembarco de barros anódicos en algunos países. Existen barreras a la comercialización de barros, debido al contenido de elementos considerados peligrosos para la salud, como por ejemplo el arsénico.

También existen reglamentaciones acerca del registro internacional de estos productos y de la clasificación y etiquetado como productos peligrosos.

f) Políticas del gobierno

Al igual que en el párrafo anterior, se debe considerar que existen leyes internacionales que impiden el transporte y desembarco de barros anódicos en algunos países, así como las normativas sobre rotulación, y registro internacional de los barros con todas sus características químico-físicas y de peligrosidad.

Al analizar los factores anteriores se tiene que la amenaza de entrada de nuevos participantes es baja ya que aunque existen economías de escala, el capital requerido y el costo de cambio son muy altos. Por otra parte, los canales de distribución no son muy expeditos, para el caso del barro anódico y existen leyes y reglamentos que restringen la comercialización para este producto, que es materia prima para la producción de oro y plata.

6.1.3 Amenaza de sustitución⁸

Conseguir la denominación *Good Delivery* permite al oro y la plata ser transado entre los llamados bancos de bullion que están habilitados para transar estos metales como commodities y usarlos como activos financieros o depositarlos. Existen algunas diferencias menores en requerimientos como es el grado de pureza o peso de las barras para acceder al registro en cualquiera de las asociaciones como el LBMA (London Bullion Market Association), COMEX (Commodity Exchange de la Bolsa de Nueva York), TOCOM (The Tokyo Commodity Exchange), etc.

La industria consumidora se apoya enormemente en la confianza que les da el adquirir barras o lingotes que estén registradas con *Good Delivery*. Productores que no han obtenido el registro por no producir la cantidad requerida por una Bolsa de metales en particular – como es el caso de la refinería de Ventanas - tienen límites en la comercialización de sus metales preciosos refinados porque están impedidos de llegar a algunos sectores de mercado como son los bancos de bullion, pero una buena calidad – no registrada - puede llegar también a llegar a obtener premios sobre el valor de mercado.

Codelco en la actualidad produce oro en barras y plata en forma de granalla. Ninguno de los dos metales posee la calificación de *Good Delivery*. Para poder tenerla debería llevar el 70% de la producción de plata a barra (proceso que es de alto costo) y en el caso del oro, pese a que la calidad excede la del *Good Delivery* no se cuenta con la automatización suficiente, los implementos de análisis o de trazabilidad exigidos y el tonelaje es insuficiente.

Para el oro y la plata no existe un sustituto directo, pero existe la posibilidad de que los consumidores afecten la demanda por los productos, ya que tienen la alternativa de adquirir oro y plata que tengan la denominación *Good Delivery*, que tiene ventajas en cuanto a la comercialización y la liquidez en el mercado financiero.

6.1.4 Poder de negociación de los clientes

Se estima que el poder de negociación de los clientes es muy alto, respecto de la comercialización de barras anódicas.

No obstante que Codelco tiene el 20% de la producción de barro anódico que se procesa en el mercado como producto licitable, y que es posible que se aproveche esta situación para negociar los cargos de tratamiento y refinación, la comercialización de los barras anódicas en el mercado externo tiene ciertas restricciones relacionadas a la constante preocupación por los altos cargos de tratamiento y refinación existentes, debido a que estos están favoreciendo a los refinadores.

Además, los barras anódicos de División Salvador, contienen altos niveles de impurezas como el arsénico y el antimonio. Las barreras a la comercialización de los barras anódicos, que se revisó en el capítulo 3, explican también por qué el poder de negociación de los clientes es muy alto.

Por otra parte, los clientes actualmente, tienen opción de adquirir oro y plata de empresas que estén en el registro de LBMA, lo que es conveniente por su liquidez financiera y de comercialización. En el caso de Codelco, el oro y la plata no están registrados como *Good Delivery*, por cuanto no cumple con todas las consideraciones para este propósito. En este caso de productos más refinados, existe un poder de negociación de los clientes alto.

Se concluye entonces que el poder de negociación de los clientes es alto debido a que estos tienen las tarifas de tratamiento y refinación a su favor, más cuando no se proyectan nuevas plantas a excepción de la ampliación de Peñoles en México para el año 2010. Por otra parte, el cliente puede elegir comprar sólo oro y plata que esté certificado en la LBMA, lo cual Codelco no ha hecho.⁸

Por último, el oro y la plata tienen la particularidad de ser metales en el que el mercado de la oferta y demanda no necesariamente determina su precio sino que hay otra serie de variables que influyen tales como:

- Los fondos de commodities, que lo utilizan como un activo más en sus carteras de inversión.

- La plata se correlaciona y sigue los movimientos del precio del oro, a su vez influenciado por el entorno político e inflacionario.
- El tipo de cambio Euro/dólar influye en el valor de ambos metales preciosos.
- Los bancos centrales de varios países incluyen en sus reservas estos metales con lo que pueden tomar o liquidar posiciones que afectan al precio global.

A este respecto, se puede concluir que el poder de negociación de los clientes, con respecto a la fijación de precios de los productos oro y plata, no es tan alto como en el caso de considerar la posibilidad de manejar las tarifas de procesamiento.

6.1.5 Poder de negociación de los proveedores

La gestión de proveedores de insumos y productos para el proceso son considerados en la gestión integral de proveedores de la corporación. La empresa consta de una gerencia de abastecimiento, responsable de la negociación de precios y calidad de los diversos insumos y productos que se requieren para la operación del negocio en forma global.

Esta situación hace que el poder de negociación de los proveedores sea bajo en este análisis.

6.2 Análisis de la situación interna

El análisis interno de la organización nos entregará información acerca de las fortalezas y debilidades del proyecto. En este caso, se considera relevante el análisis de la actividad primaria relacionada con las operaciones, ya que las otras actividades primarias como la logística interna y externa, la comercialización y los servicios post-venta están integrados en la gestión global de la compañía y se realizan con los mismos procedimientos y aprovechando la misma infraestructura de la empresa.

6.2.1 Situación actual de producción de las plantas de Codelco

a) Codelco Norte

La Planta de Tratamiento de Barros Anódicos de la División Codelco Norte opera desde hace 40 años, fue sometida a una mejora de su sistema de lixiviación de barros anódicos hace aproximadamente 15 años. Para el año 2008, tiene planeado producir 670 toneladas de barro anódico descobrizado en base seca. Este nivel de producción representa alrededor de un 48% del total de la corporación.

Para las proyecciones a futuro se espera un aumento en la producción de barro anódico a partir de entrada en operaciones de la mina Ministro Hales, por lo que la refinería de Chuquicamata debería contar en los próximos 5 años con capacidad para tratar una mayor cantidad de barros anódicos crudos en sus instalaciones. A partir de la entrada de la mina Ministro Hales, Codelco Norte debiera tener una inversión que permita tratar la mayor cantidad de plata asociada al nuevo yacimiento.

La planta de la refinería de Chuquicamata opera hoy en día con las siguientes etapas principales en la generación de barro anódico descobrizado:

- Recepción de pulpa.
- Reacción en reactor batch.
- Separación en estanque flash.
- Envío de solución filtrada a refinería electrolítica y otros.
- Filtrado y secado de barros en filtros prensa.
- Homogeneizado y envasado

En la figura B.3 del anexo B se muestra el diagrama de procesos de la planta de tratamiento de barros anódicos de la División Codelco Norte.

El proceso se inicia en los estanques espesadores que reciben las pulpas (compuesta de barro anódico, electrolito y agua) desde la refinería teniendo como función la de almacenar el barro que llega desde la refinería y separar las soluciones de rebalse hacia las alternativas de tratamiento de esta solución que dispone la planta. Esta área es antigua y representa un cuello de botella cuando los descartes de soluciones de refinerías son enviados directamente a la planta de tratamiento de barros anódicos.

El barro anódico crudo (BAC) es entonces enviado a un estanque preparador donde la pulpa es homogenizada y acondicionada, a través de la adición de agua industrial y ácido sulfúrico (97%), esta mezcla es homogenizada a una temperatura de 40 °C a 50 °C y, posteriormente, es impulsado hacia uno de los reactores de lixiviación.

En los reactores, la pulpa mezclada es agitada y se adiciona un flujo constante de oxígeno gaseoso, produciendo así una reacción exotérmica, aumentando la temperatura y presión en el reactor progresivamente hasta el final de la reacción de oxidación del cobre metálico. En la actualidad esta área que opera en forma "batch" tiene capacidad adicional de tratamiento y podría perfectamente recibir mayor cantidad de barros anódicos.

Posteriormente, a diferencia de la refinería de División Salvador, el personal no tiene contacto con el barro anódico crudo, ya que este material, una vez lixiviado, es enviado al estanque Flash, donde la pulpa es enfriada y además se agrega tierra de diatomea, se homogeniza y posteriormente se cargan los filtros que proceden a secar el barro anódico descubrizado a rangos cercanos al 20% de Humedad.

Para lograr la humedad requerida para venta de barro anódico descubrizado al exterior se requiere disminuir a valores menores al 10%, y esto se logra usando estufas eléctricas de secado que han sido acondicionadas con el tiempo a las operaciones de la planta. Esta área (de filtros y estufas de secado) representa el mayor cuello de botella, ya que los filtros son antiguos y de baja eficiencia, así como también las estufas representan un alto costo de operación y fueron reacondicionados ya que su función en algún momento fue la deselenización del barro anódico descubrizado, operación que posteriormente fue descartada.

Finalmente, el barro anódico descubrizado con la humedad requerida, alrededor del 7%, es disgregado y homogeneizado para toma de muestra y envasado para su venta.

Por otro lado, la División Codelco Norte llevó a cabo los últimos años un pilotaje para modificar el proceso de lixiviación, por otro que le permitiría eliminar o reducir el nivel de “impurezas” como el arsénico, antimonio y también el selenio.

Este proceso fue evaluado a nivel piloto, sin embargo necesita un mayor grado de desarrollo para el tratamiento del efluente alcalino que se genera de manera de producir sales de selenio, arsénico, antimonio y telurio, de tal manera de recuperar parte de los valores contenidos.

b) El Salvador

La planta de tratamiento de barros anódicos de la División Salvador opera desde la década de 1960 y en el año 2007 se produjo alrededor de 264 toneladas de barro anódico descubrizado.

El proceso aplicado al tratamiento de los barros anódicos es también de lixiviación con ácido sulfúrico, pero a diferencia de Codelco Norte y Ventanas no es bajo presión (autoclave) y el proceso se realiza sin suministro de oxígeno, sólo con aire a presión atmosférica.

El diagrama de proceso se muestra en la figura B.4 del anexo B.

El proceso en la actualidad tiene varias deficiencias debido a la antigüedad de las instalaciones donde no ha habido renovaciones importantes del equipamiento, y también al estar operando muy por encima de las capacidades de diseño por los continuos aumentos de producción marginales de la refinera electrolítica.

La producción de barro anódico descubrizado entre los años 2001 y el 2007 se ha incrementado en 1,8 veces desde 150 toneladas por año, a cerca 270 toneladas por año, sin embargo, la plata contenida ha aumentado solo 1,3 veces, desde 30 a 40 toneladas por año. Lo anterior indica que el aumento del contenido de otras impurezas como el arsénico y el antimonio están contribuyendo a tener una mayor masa de barros anódicos.

Por otra parte las instalaciones no han sido adecuadas para tratar un material con contenido de impurezas muy superior, con lo cual los cuidados de higiene industrial deben ser extremados para minimizar posible contaminación a las personas por manipulación y contacto manual de los barros anódicos.

Los principales “cuellos de botella” de la planta de tratamiento de barros anódicos de la refinera de Potrerillos de División Salvador son:

- El área de lixiviación, que está entregando un material con 7% de cobre, lo que está fuera de los estándares de la industria y que son menores al 2%.
- El área de secado, que entrega un producto con un 8% de humedad, pero con un excesivo costo de mantención y prácticamente sin holguras de aumento de capacidad y que provoca excesiva manipulación de material por parte del personal de planta.
- Sistemas de filtración que son demasiados antiguos y operan con una muy baja eficiencia de filtrado en cuanto a tiempos y humedad del queque filtrado.

c) Ventanas

La planta de tratamiento de Metales Nobles de Ventanas data de 1966 y opera bajo el esquema convencional mostrado en la figura B.2 del anexo B, y donde se destacan las siguientes etapas:

- Lixiviación de los barros en autoclave con inyección de oxígeno.
- Deselenización del barro lixiviado para la obtención del selenio crudo comercial en cuatro hornos eléctricos.
- Tratamiento solución de filtración para la obtención del telurio comercial.
- Fusión para obtener los respectivos ánodos de plata y oro.
- Electrólisis de plata y oro.
- Fusión de cristales de plata y cátodos de oro para obtener los respectivos productos comerciales, esto es granalla de plata y barras de oro (99.99% de pureza).

La producción de barro anódico descubrizado tiene holguras de mayor producción vía mayor utilización de las instalaciones actuales, ya que está limitada debido a que no tiene espacios para la instalación de equipos adicionales.

Esta división recibe barros anódicos de la División Codelco Norte, los cuales procesa directamente en la planta de selenio.

La División Ventanas copará su línea de tratamiento de barros anódicos descubrizados al incorporar un quinto horno de Selenio a línea de producción para procesar el barro anódico proveniente de Codelco Norte.

Es justamente la etapa de deselenización la que presenta los mayores “cuellos de botella” de la planta de Metales Nobles de Ventanas, ya que además de tener una tecnología antigua con relativas bajas recuperaciones de este elemento (cerca al 80%), tiene problemas en la línea de gases, y fuertes gastos en mantención, que para el año 2007 se estimaron en alrededor de 1,24 millones de dólares y que representó alrededor de un 17% del total de gastos de la planta.

La calcina producida en el área de selenio es entonces tratada en un horno que opera adecuadamente y eventualmente tiene holguras de un 20% a 30% en cuanto a posibles aumentos de producción.

La línea final de producción de plata y oro si bien hoy tiene mayores holguras es una planta poco tecnificada en cuanto al manejo de sus operaciones y requiere de bastante mano de obra. Eventualmente, puede ser modernizada de manera de automatizar su manejo y minimizar el contacto y manipulación de los metales preciosos por el personal de la planta.

6.2.2 Situación actual de costos de las plantas de Codelco

En las tablas siguientes se muestra un cuadro comparativo de gastos de los años 2006 y el 2007.

Estos gastos reflejan la actividad de cada planta desde la recepción de barras anódicas crudas (BAC) hasta la generación de barras anódicas descubrizadas, con la debida consideración que División Ventanas no tiene etapa de secado ni envasado de este material, a diferencia de las otras dos divisiones.

Tabla N° 11. Costos de las plantas de Codelco 2006 (KUS\$).

GASTOS	Codelco Norte	Salvador	Ventanas
Primarios	1.609	297	479
Secundarios	2.442	669	876
Total	4.051	966	1.354
Costo unitario US\$/Kg BAD	4,71	3,57	2,29

Tabla N° 12. Costos de las plantas de Codelco 2007 (KUS\$)

GASTOS	DCN	DSALV	DVENT
Primarios	1.946	432	461
Secundarios	2.606	721	1.678
Total	4.552	1.153	2.139
Costo unitario US\$/Kg BAD	4,57	4,35	4,17

De estas cifras se puede inferir que el año 2006 División Codelco Norte tenía el gasto unitario más elevado: 4,7 dólares por kilogramo de barro descubrizado respecto a 3,6 dólares por kilogramo de barro descubrizado de División Salvador y de 2,3 dólares por kilogramo de barro descubrizado de División Ventanas. Esta situación cambia el año 2007, incrementándose los gastos en Ventanas por una parte en cargos por servicios internos divisionales que tienen que ver con la estructura administrativa y nuevas distribuciones definidas, y por otra con mayores costos de energía y especialmente el cargo por vapor, que aumenta 4,5 veces respecto al 2006.

División Codelco Norte, en cambio, disminuye su gasto unitario básicamente por un aumento en el nivel de producción. La División Salvador sube su costo debido al pago de servicios de terceros y mayor gasto en materiales.

Las dos divisiones que venden el barro anódico al exterior tienen en su composición de costos al ítem Mantenimiento como el más relevante, 30 y 34% respecto del gasto total para las divisiones de Codelco Norte y Salvador, respectivamente, y dentro de estos la etapa de secado es fundamental para División Salvador, y para Codelco Norte las etapas de Lixiviación, secado y envasado son las más importantes en el costo de mantenimiento.

La División Ventanas muestra valores altos distribuidos en remuneraciones mantenimiento y servicios internos y administrativos, siendo este último el más relevante con un 24% respecto del gasto total del año.

Las remuneraciones directas en Codelco Norte, Salvador y Ventanas representan un 16%, 22% y 18% del gasto total, respectivamente.

Es necesario destacar el ítem depreciación, que para Codelco Norte representa un 12% de los gastos totales, en cambio División Salvador prácticamente no tiene cargo en este ítem, y en División Ventanas solo alcanza a un 6%. Esto refleja claramente el bajo nivel de inversión de los últimos años en cuanto a reemplazo del equipamiento y es coincidente con el alto grado de deterioro de algunos equipos, como pueden ser los filtros, secador y estanques, lo que se traduce en alza en los costos de operación fundamentalmente y que se ve agravado por el hecho en que ambas divisiones han aumentado su capacidad de producción llegando en la actualidad a niveles límites en cuanto a disponibilidad de equipos.

En el anexo F se muestra una tabla con la distribución de los gastos por ítem y por división.

6.3 Análisis FODA

6.3.1 De la comercialización de barros anódicos

a) Fortalezas

- Poder negociador por gran volumen y participación mundial en mercado de barros que son ofrecidos al mercado en la modalidad de licitación.
- Experiencia en la comercialización de barros anódicos.
- Calidad de barros estables y de altos contenidos de metales preciosos, lo que influye en el precio del barro anódico.

b) Oportunidades

- Volumen permite desarrollar una planta de procesamiento con economías de escala que trate, además, dorés de otras mineras de oro y plata de Chile.

c) Debilidades

- Elevadas impurezas en los barros anódicos de Salvador hacen difícil su comercialización. Además, el proceso de descobrización es poco eficiente y el contenido de cobre en el producto es superior a lo que el mercado desea.

d) Amenazas

- Restricciones crecientes al comercio de barros con Europa (REACH).
- Capacidad de procesamiento a nivel mundial decreciendo, lo que hace que los costos de refinación tiendan al alza.
- Número de compañías dispuestas a comprar muy limitado.
- Negocio sensible al precio de los metales preciosos.

6.3.2 Del procesamiento de barras anódicas y venta de metal doré

a) Fortalezas

- Poder negociador por gran volumen que podría producirse.
- Experiencia en operaciones y procesos productivos metal Doré en División Ventanas.

b) Oportunidades

- Alianza con terceros para desarrollar una planta de procesamiento en el país.
- Ahorro en costos de transporte.
- Acceso a maquiladores que entreguen barras de oro y plata Good Delivery con el cual acceder al mercado financiero.
- Mayor volumen de subproductos que se ofrecerían al mercado.
- Gran número de refinadores dispuestos a comprar.

c) Debilidades

- Capacidad insuficiente para procesar barras anódicas de la corporación.
- Equipos obsoletos para producir doré.
- “Cuello de botella” en captura de selenio.
- Falta de experiencia comercial en la venta de este producto.

d) Amenazas

- Capacidad de refinación mundial decreciendo transitoriamente que elevará los costos de refinación.
- Negocio sensible al precio de los metales preciosos.

6.3.3 Del procesamiento de barras anódicas y venta de metales preciosos

a) Fortalezas

- Producto más líquido y fácil de vender que el doré y barras anódicas.
- Experiencia en operaciones y procesos productivos de refinación de plata y oro en División Ventanas.

b) Oportunidades

- Volumen alcanzable con todos los barras corporativos ayudaría a pasar la limitante de volumen para registrar como Good Delivery.
- Mayor volumen de subproductos implica mayor poder de venta.

c) Debilidades

- Falta de automatización y equipamiento en planta actual impide registro como Good Delivery.

- Capacidad insuficiente para procesar barros anódicos de la corporación.

d) Amenazas

- Se requieren inversiones muy altas para ampliar la capacidad de procesamiento de barros anódicos. Falta de financiamiento por riesgo de la operación.

CAPÍTULO 7 ANÁLISIS ECONÓMICO

7.1 Definición de alternativas

7.1.1 Situación base

La alternativa base para este proyecto, considera mantener la capacidad de procesamiento de barros anódicos de la planta de metales nobles de la División Ventanas y vender el excedente de este producto al mercado, tal como se realiza en la actualidad.

7.1.2 Alternativa 1

Procesamiento de todo el barro anódico producido en Codelco, hasta metal doré y comercializar este producto en el mercado, junto con los subproductos resultantes.

7.1.3 Alternativa 2

Procesamiento de todo el barro anódico producido en Codelco, hasta producir oro y plata refinados y comercializar este producto en el mercado, junto con los subproductos resultantes.

Para utilizar esta metodología se toman los flujos de ingresos menos los costos para los escenarios mencionados, descontando a una tasa de 8% anual para obtener el VAN o diferencial de VAN de los escenarios planteados con respecto a la alternativa base.

7.1.4 Alternativa adicional

Adicionalmente, se evalúa la conveniencia de continuar procesando excedentes de barros anódicos de Codelco Norte o Salvador en la planta de Metales Nobles de División Ventanas.

7.2 Montos previstos de inversión

Para la alternativa de procesamiento de todo el barro anódico producido en la corporación, ya sea hasta metal doré o productos refinados, las inversiones se estiman en las siguientes:

I = 15 millones de dólares, para el caso de producir metal doré

I = 20 millones de dólares, para el caso de producir oro y plata electrolíticos.

La capacidad de procesamiento deberá ampliarse el doble de la actual, por cuanto se define que se requiere una planta nueva en ambos casos. La primera alternativa consiste en una planta de procesamiento de barro anódico y producción de metal doré y la segunda consiste en agregar a lo anterior, equipamiento y automatización para los procesos de electrólisis de plata y oro y fundición de barras.

7.3 Costos

7.3.1 Costos de procesamiento

La determinación de los costos de tratamiento y refinación se determinó a partir del gasto real de la planta Metales Nobles durante el año 2007.

Tabla N° 13. Costos de procesamiento de barro anódico en planta Metales Nobles.

	Costo producción (US\$/kg)	
	Barro anódico Codelco Norte	Barro anódico Salvador
Tratamiento	2,062	4,749
Lixiviación	0	2,687
Deselenización	1,037	1,037
Obtención metal Doré	1,025	1,025
Refinación de plata	0,782	0,487
Refinación de oro	0,118	0,296

Estos datos de costos se han utilizado para evaluar las alternativas de inversión para instalar una planta nueva para el procesamiento del barro anódico y la comercialización de metal doré y metales preciosos.

7.3.2 Costos de maquila

Por otro lado, se consideraron los costos de maquila de productos, considerando en la evaluación que se compra el barro anódico y los metales contenidos al precio de las orientaciones comerciales 2008. Este valor varía dependiendo de los contenidos de metales preciosos y los términos comerciales para cada origen de barros anódicos.

En la estimación del precio del barro anódico se consideran parámetros tales como el precio de los metales preciosos, la deducción metalúrgica, los cargos de tratamiento y refinación, los contenidos de oro y plata, fletes y seguros. Con estos parámetros se calcula un descuento al precio de los metales preciosos lo que da como resultado el precio del barro anódico.

7.4 Ingresos

Para el cálculo de los ingresos por venta de oro y plata se consideran los precios de las orientaciones comerciales 2008. En el caso de la venta de selenio y concentrado de platino-paladio se considera el promedio del precio de los últimos 10 años. La tabla siguiente muestra los valores utilizados.

Tabla N° 14. Precios de los metales según orientaciones comerciales 2008 (US\$/oz).

Metales preciosos	2009	2010	2011	2012	2013 en adelante
Oro	691	601	585	516	521
Plata	11,1	10,2	10,3	9,0	8,5
Selenio	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Platino	664	664	664	664	664
Paladio	345	345	345	345	345

Para el cálculo de las cantidades de productos para la venta se consideran parámetros de recuperaciones metalúrgicas y contenido de metales en los barros anódicos provenientes de las divisiones Codelco Norte y Salvador. La tabla siguiente muestra esta información.

Tabla N° 15. Contenido de elementos recuperables en los barros anódicos.

División	Oro (%)	Plata (%)	Selenio (%)	Platino (g/t)	Paladio (g/t)
Codelco Norte	0,18	26,5	9,47	4,26	100,1
Salvador	0,45	16,5	9,87	3,00	60,1

7.5 Flujo de caja del negocio

Los flujos de caja para las alternativas evaluadas se muestran en el anexo G.

Se utilizaron los siguientes parámetros para realizar los cálculos correspondientes:

Período de evaluación: 25 años
 Tasa de interés: 8%
 Impuesto: 57%
 Incremento mano de obra: 2% anual sobre remuneraciones
 Depreciación: Constante por 25 años

7.6 Indicadores evaluación económica

A continuación se presentan los indicadores económicos de las dos alternativas de negocio evaluadas.

Alternativa 1: Procesamiento de todo el barro anódico excedente producido en Codelco, hasta metal doré y comercializar este producto en el mercado, junto con los subproductos resultantes.

Alternativa 2: Procesamiento de todo el barro anódico excedente producido en Codelco, hasta producir oro y plata refinados y comercializar este producto en el mercado, junto con los subproductos resultantes.

Tabla N° 16. Indicadores económicos del proyecto.

	Alternativa 1	Alternativa 2
VAN (KUS\$)	9.349	8.695
TIR (%)	13	12
IVAN (°/1)	0,62	0,40
PRC	14	16

Adicionalmente, se evaluó la conveniencia de continuar procesando excedentes de barras anódicas de Codelco Norte o Salvador en la planta de Metales Nobles de División Ventanas, produciendo metal doré y oro y plata refinados.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla siguiente:

Tabla N° 17. Retorno de barro anódico descobrizado (US\$/tms).

US\$/tms	Venta de BAD al mercado	Procesamiento hasta metal doré	Procesamiento hasta oro y plata
Codelco Norte	97.830	99.552	98.897
Salvador	115.838	104.989	104.899

7.7 Análisis de sensibilidad

Se considera de la máxima relevancia para el proyecto determinar los indicadores económicos frente a diferentes escenarios de precios de los metales preciosos. Esto se fundamenta en la variación que experimentan los precios del oro y la plata ante situaciones de estabilidad política y económica de los países y la evolución de factores económicos tales como inflación, fortaleza o debilidad del dólar.

Se compara los indicadores económicos obtenidos con los precios de las orientaciones comerciales 2008 con los resultantes al evaluar con precios promedio del año 2008.

Tabla N° 18. Precios promedio 2008 (enero a octubre).

Metales preciosos	2008 (US\$/oz)
Oro	888
Plata	16
Selenio	1,8
Paladio	385
Platino	1.725

Tabla N° 19. Indicadores económicos del proyecto con distintos precios de metales.

Alternativas	Indicadores económicos	Precios Orientaciones comerciales 2008	Precios promedio 2008
Alternativa I	VAN (KUS\$)	9.349	41.695
	TIR (%)	13	27
	IVAN (°/1)	0,62	2,78
	PRC	14	7
Alternativa II	VAN (KUS\$)	8.695	36.581
	TIR (%)	12	22
	IVAN (°/1)	0,40	1,69
	PRC	16	8

También se puede variar el contenido de los elementos del barro anódico para sensibilizar el proyecto pero comparado con la variación del precio de los metales no es mayor la diferencia. A modo de ejemplo, si calculamos los indicadores económicos considerando una ley de plata de 23% en el barro anódico producido por la División Codelco Norte los indicadores, para el caso de procesar este material hasta obtener oro y plata son:

VAN (KUS\$): 7.357
 TIR (%): 11
 IVAN (°/1): 0,34
 PRC: 17

CAPÍTULO 8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

8.1.1 Mercado

Codelco es un importante oferente de barras en el mercado custom ya que posee más del 20% de los barras que se transan bajo esta modalidad.

La producción de cobre electro-refinado (y de los barras obtenidos como subproducto) mantiene una tendencia de crecimiento mayor al de la capacidad de procesamiento de los barras. Esto está produciendo una situación de estrechez que seguramente va a presionar al alza los costos de tratamiento y refinación de los barras anódicos. Podría ser conveniente volver a una estructura de contratos de largo plazo, con el fin de congelar los términos de venta actuales.

Las producciones de oro y plata de Codelco no califican en la actualidad como Good Delivery. Codelco no puede obtener el registro para el oro debido al tamaño insuficiente de la producción de este metal (3,5 toneladas por año respecto de las 10 toneladas por año requeridas).

En cuanto a la plata, la cantidad de la producción es suficiente pero no se cumplen algunos de los otros requisitos necesarios para lograr el registro como falta de equipamiento de testeado necesario o porque la fabricación de plata en Ventanas da un producto granallado y no en forma de barra de 1.000 onzas requerido por la London Bullion Market Association.

Producir plata Good Delivery, si bien es conveniente por aspectos cualitativos (como llegar a un mayor número de compradores), económicamente no representa necesariamente un mayor flujo de caja en relación a como Codelco comercializa la plata en la actualidad.

Existen crecientes barreras a la comercialización internacional de barras anódicos, en particular por la aplicación del REACH en Europa. Codelco debe postergar su decisión de certificar en el REACH a la espera de que se resuelva si efectivamente los barras anódicos estarán sujetos a las normas de esta regulación u otras que se refieran a este producto como un residuo o desecho.

Podrían existir beneficios como economías de escala, acceso a nuevas tecnologías y know-how en la comercialización de doré y metales preciosos mediante asociaciones con terceros. Bajo este supuesto, sería necesario re-evaluar las conclusiones del análisis económico.

Como consecuencia del punto anterior, se estima conveniente abrir una vía de comunicación entre Codelco y otras empresas, como por ejemplo la Sociedad Contractual Minera Purén (35% de Codelco y 65% de Mantos de Oro) para obtener más antecedentes sobre cómo obtener sinergias entre ambas compañías y/o estudiar conjuntamente la viabilidad de establecer una centro de procesamiento de barras y doré

en Chile que capture parte del metal doré proveniente de la minería del oro y plata del país.

8.1.2 Operaciones

Las divisiones de Codelco Norte y Salvador tendrán un excedente promedio de aproximadamente 1.100 toneladas métricas secas por año de barras anódicas entre los años 2008 y 2013. Esta cantidad aumentará hasta un promedio de 2.000 toneladas métricas secas por año a partir del año 2014 por la entrada en operación de la mina Ministro Hales.

En la actualidad, Ventanas puede procesar hasta 350 toneladas métricas secas por año de estos excedentes para producir metales preciosos de alta pureza. Con la entrada de un nuevo horno en la planta de metales nobles de Ventanas, a partir de fines de 2008, la capacidad de procesamiento aumentará hasta 550 toneladas métricas secas por año.

Una alternativa del proyecto es la adquisición de la tecnología Outokumpu de plantas de selenio. Esta tecnología comprende el uso de un solo horno en posición horizontal, con una capacidad mínima de 1.500 kilogramos por proceso, un tiempo de conexión de 20 horas, una temperatura de operación de 500 °C y el uso de anhídrido sulfuroso (SO₂).

Otra alternativa de este proyecto es procesar directamente el barro anódico para obtener metal doré, sin pasar por una etapa previa de deselenización. Actualmente, existe una tecnología para lo anteriormente expuesto y corresponde al proceso Kaldo de BOLIDEN, Suecia.

La base de este tipo de operación es usar un horno absolutamente sellado, para captar el 100% de los gases emitidos, los que pasan por diferentes etapas de limpieza, una de las cuales es la deselenización de los gases obteniendo Selenio comercial, para luego estos gases limpios ser enviados a la atmósfera. La dificultad está en que el sistema por ser cerrado para la captación de los gases, obliga a realizar altas inversiones, ya que el actual horno TROF, no está diseñado para una operación de este tipo.

Por lo tanto, además de la inversión en modificar el horno propiamente tal, debe invertirse en los sistemas de captación y limpieza de gases que incluye el proceso, como son campanas selladas, precipitadores electrostáticos y sistemas venturi. Podrían ocuparse algunos estanques para la precipitación del selenio y el filtro mangas, si las condiciones de los gases lo permiten.

Ambas alternativas se ven atractivas pero requieren de alta inversión y las interferencias en el proceso productivo son altas, lo que obligaría a construir esta nueva planta en paralelo y con inversión de capital para operarla. En la evaluación económica se utilizó esta última alternativa.

Por último, se ha detectado que la recuperación de selenio en Ventanas es baja, debido principalmente a factores de proceso. Se estima conveniente evaluar la factibilidad de que Ventanas pueda mejorar las recuperaciones dado el alto valor de este producto en el mercado.

8.1.3 Evaluación económica

Para evaluar la conveniencia de procesar los excedentes de barras anódicas se analizaron y compararon las siguientes alternativas:

- a) Venta de excedentes como barras anódicas (Situación actual “sin proyecto”).
- b) Venta de excedentes como metal dorado: Procesando el barro anódico internamente considerando inversión de planta metal dorado.
- c) Venta de excedentes como oro y plata: Procesando el barro anódico internamente considerando inversión de planta de dorado y refinación de metales nobles.

Los indicadores económicos de la evaluación son los siguientes:

Tabla N° 20. Indicadores económicos de la evaluación.

	Metal Dorado	Oro y Plata
VAN (MUS\$)	9.349	8.695
TIR (%)	13	12
IVAN (MUS\$)	0,32	0,40

Se concluye – bajo los parámetros conocidos y condiciones de mercado de la actualidad - que es rentable hacer la inversión para llegar a metal dorado o metales preciosos construyendo una nueva planta de procesamiento de selenio y obtención de metal dorado.

La evaluación de la alternativa de vender metal dorado es más atractiva, desde el punto de vista de la rentabilidad, no obstante, estratégicamente es mejor refinar este producto hasta oro y plata, por cuanto es más difícil la comercialización de metal dorado. Por otro lado, al dejar de producir oro y plata, dejando de operar parte de las instalaciones de la planta de Metales Nobles, prescindiendo también de la mano de obra, las compañías refinadoras de metal dorado podrían variar los términos de refinación y no se tendría la opción de retomar estas actividades.

Adicionalmente, se analizó la conveniencia de llenar la capacidad de procesamiento de barras anódicas en Ventanas con barras de Codelco Norte o de Salvador en comparación con la venta de estos al mercado, lo que arrojó el siguiente rendimiento:

Tabla N° 21. Retorno de alternativas de negocio.

US\$/tms	Venta de BAD al mercado	Procesamiento hasta metal dorado	Procesamiento hasta oro y plata
Codelco Norte	97.830	99.552	98.897
Salvador	115.838	104.989	104.899

Se concluye que es más conveniente seguir operando a plena capacidad la planta de Metales Nobles de Ventanas, procesando barros producidos en Codelco Norte.

Los barros anódicos de Salvador, debido a sus elevados niveles de impurezas, tienen un elevado costo de procesamiento en la planta de Metales Nobles de División Ventanas, lo que hace más atractiva la opción de venderlos en el mercado.

Resulta importante destacar que el proyecto resulta conveniente económicamente, evaluando su rentabilidad a precios de las orientaciones comerciales de Codelco. En estas orientaciones, los precios de los metales son mucho menores a los actuales. Evaluando con precios promedios del presente año, los indicadores son mucho más atractivos.

8.2 Recomendaciones

La tecnología de lixiviación de barros anódicos debe estandarizarse en División Salvador a las otras divisiones, incorporando un reactor presurizado para la descubrización del barro anódico. Con este nuevo proceso, los contenidos de cobre en el producto que se enviaría a Ventanas para su procesamiento serían los necesarios para evitar el costo de re-lixiviación, mejorando los indicadores económicos del proyecto.

La División Ventanas, por su parte, debiera mejorar principalmente la etapa de recuperación del selenio.

Al considerar otras mejoras de costos y productividad aplicando la tecnología explorada "Kaldo" para la producción de metal doré, el proyecto puede volverse más atractivo para la corporación permitiendo el procesamiento de todos los barros anódicos.

También se recomienda evaluar la alternativa de inversión de un equipo cuya capacidad permita procesar no sólo el excedente corporativo sino toda la producción corporativa de barros, con la consecuente optimización del proceso completo en Ventanas. Esto es, reemplazar el actual proceso de la planta de Metales Nobles por el proceso Kaldo.

Se recomienda iniciar un estudio de ingeniería de perfil que permita definir con mayor precisión el potencial de una nueva oportunidad de negocio para el procesamiento de los barros anódicos a nivel corporativo, a través de:

- La definición de alternativas a estudiar.
- La definición de los factores claves del negocio.
- El establecimiento, con mayor precisión, de los costos de operación e inversión de las alternativas, como por ejemplo el proceso Kaldo.
- El diseño de pruebas técnicas de procesamiento de los barros anódicos producidos con las alternativas a evaluar.

CAPÍTULO 9 BIBLIOGRAFÍA

Ciudad L., Juan Cristóbal. Mercado internacional de la Plata y Minería del oro en Chile: Año 2006 y 1º Semestre 2007. [En línea]. Santiago: Comisión Chilena del Cobre, Dirección de estudios, Octubre 2007.

http://www.cochilco.cl/productos/fr_mercado.html [Consulta 03 de octubre 2008].

Codelco. Página institucional [en línea]. Santiago: Codelco, 2008.

<http://www.codelco.cl/>. [Consulta 22 agosto 2008].

Evaluación de proyectos. Antofagasta: Universidad Católica del Norte, Departamento de Administración, 1992. Programa de Diploma en Administración de Empresas Universidad Católica del Norte.

Picozzi B., Aldo. Mercado internacional del Oro y Minería del oro en Chile. [En línea]. Santiago: Comisión Chilena del Cobre, Dirección de estudios, Octubre 2007.

http://www.cochilco.cl/productos/fr_mercado.html [Consulta 03 de octubre 2008].

Zaviezo, Luis y Olgún, Eduardo. IN79P.02 Política de Negocios. Antofagasta: Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Industrial, 2005. Programa de Magíster en Gestión y Dirección de Empresas Universidad de Chile.

ANEXOS

ANEXO A CARACTERÍSTICAS DEL BARRO ANÓDICO

Tabla A.1 Composición química característica de los barros anódicos.

Elemento	Rangos de contenidos de elementos, %		
	Mercado	Chuquicamata	Salvador
Oro	0 – 6	0,10 – 0,14	0,30 – 0,63
Plata	6 - 60	24 – 28	12 – 21
Cobre	3 - 50	0,5 0,8	5 – 9
Selenio	0,5 – 10	8 – 11	6 – 13
Teluro	0,5 – 26	1,0 – 1,8	0,2 – 1,0
Arsénico	0,5 – 27	5 – 8	6 – 13
Antimonio	0,1 – 16	10 – 15	8 – 22
Bismuto	0 – 2	0,6 – 1,5	0,01 – 0,90
Plomo	0,3 – 35	<1%	<1%
Níquel	0 – 40	<0,05	<0,18
Platino (ppm)	0 – 10.000	30 – 60	25 – 50
Paladio (ppm)	0 – 10.000	30 - 60	25 - 50

ANEXO B DIAGRAMAS DE PROCESOS

Figura B.1 Formación del barro anódico al interior de una celda electrolítica.

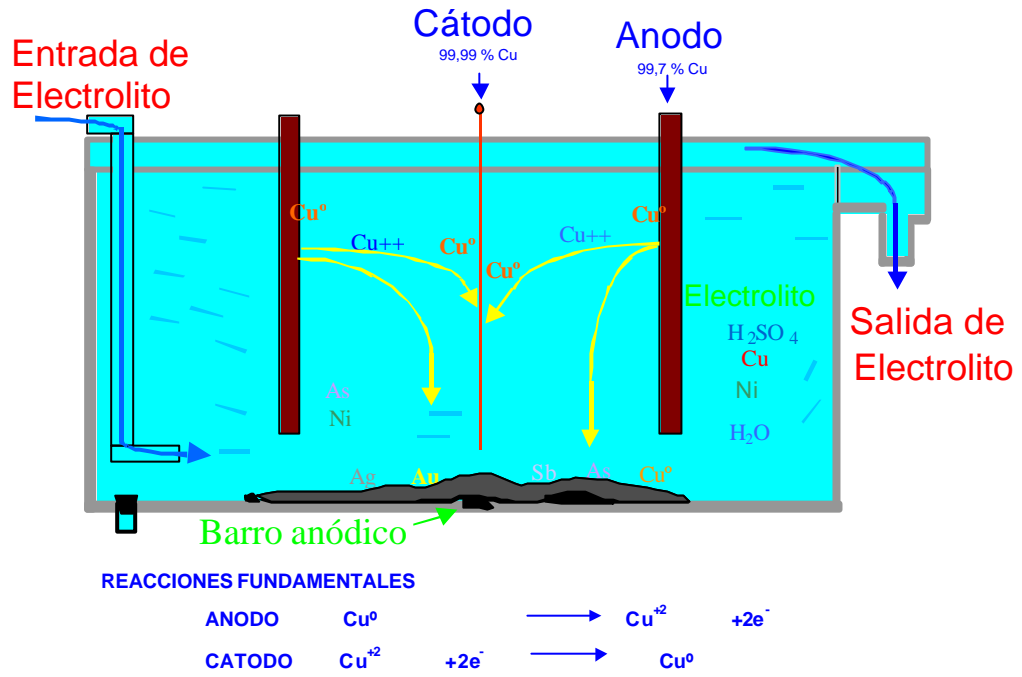


Figura B.2 Diagrama de Procesos Planta Metales Nobles División Ventanas.

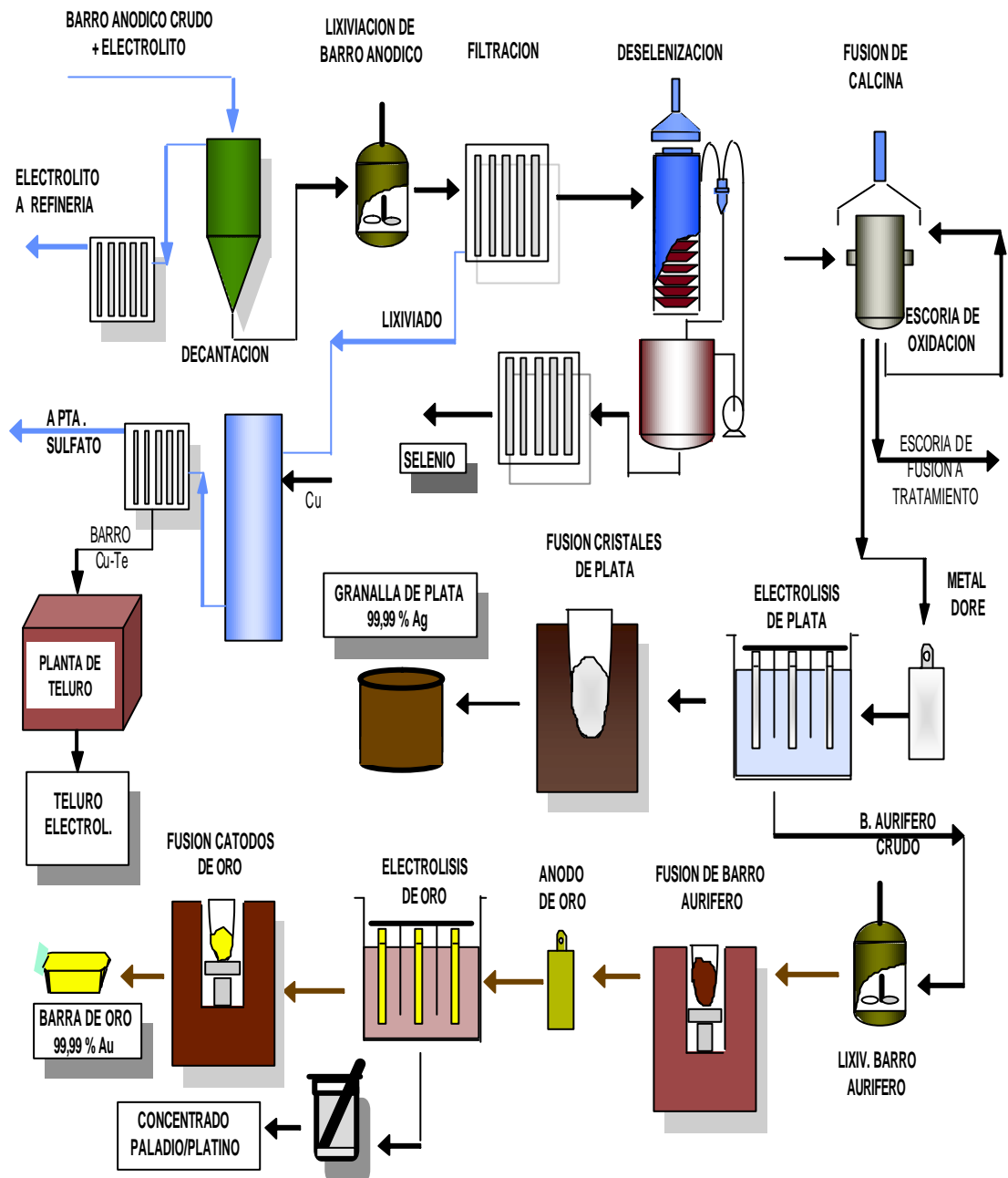


Figura B.3 Diagrama de procesos planta tratamiento de barros División Codelco Norte.

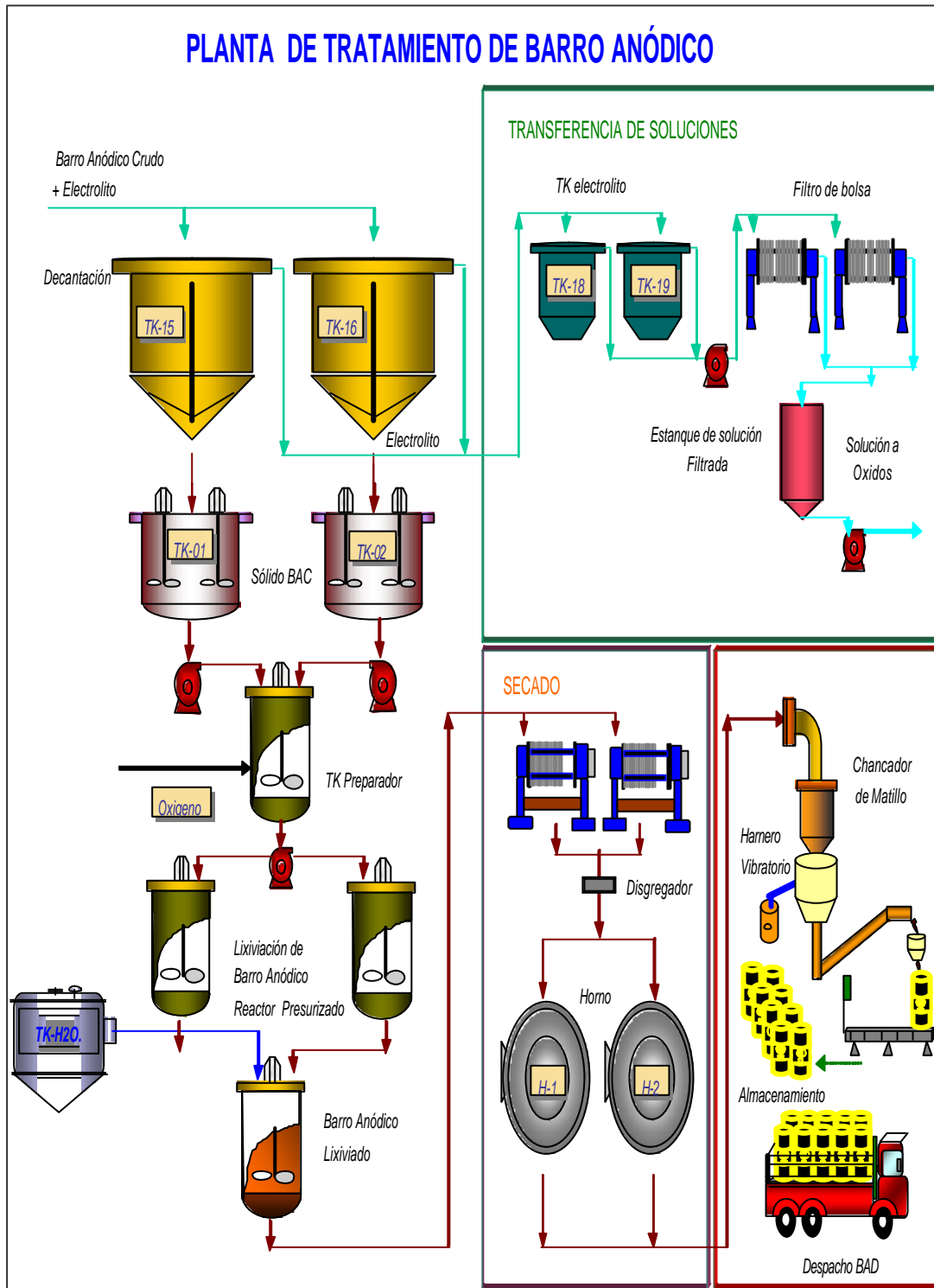


Figura B.4 Diagrama de procesos planta tratamiento de barros División Salvador.

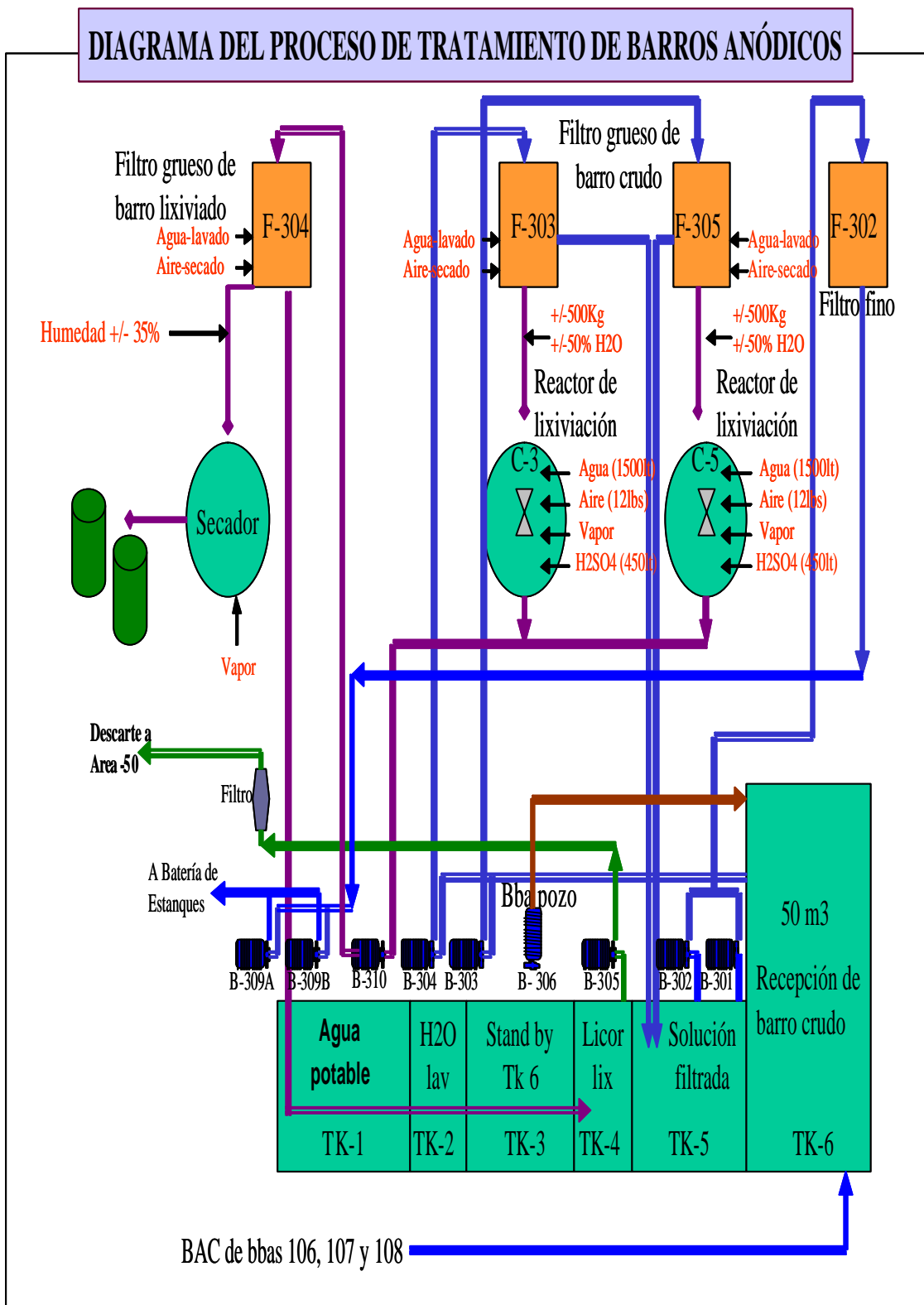
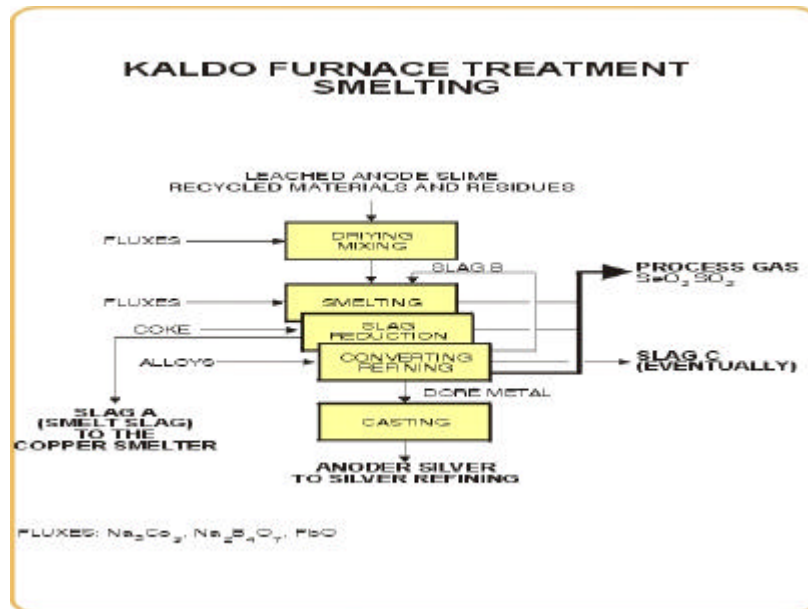
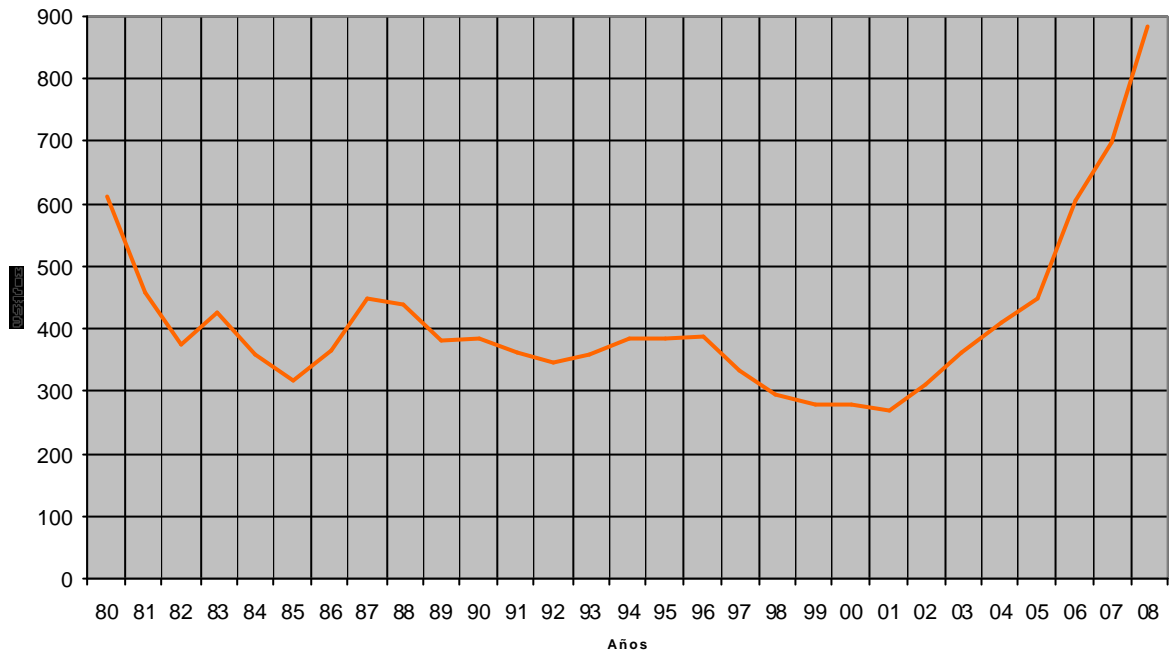


Figura B.5 Diagrama de proceso KALDO para barro anódico.



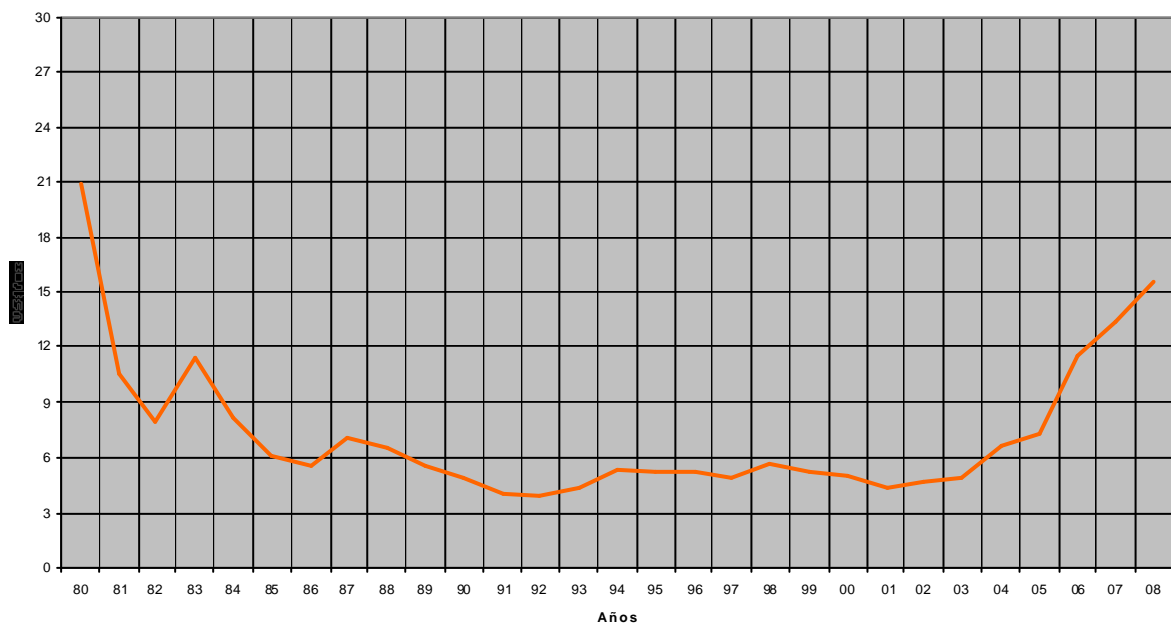
ANEXO C PRECIOS DE METALES PRECIOSOS

Figura C.1 Precios del oro (US\$/oz).



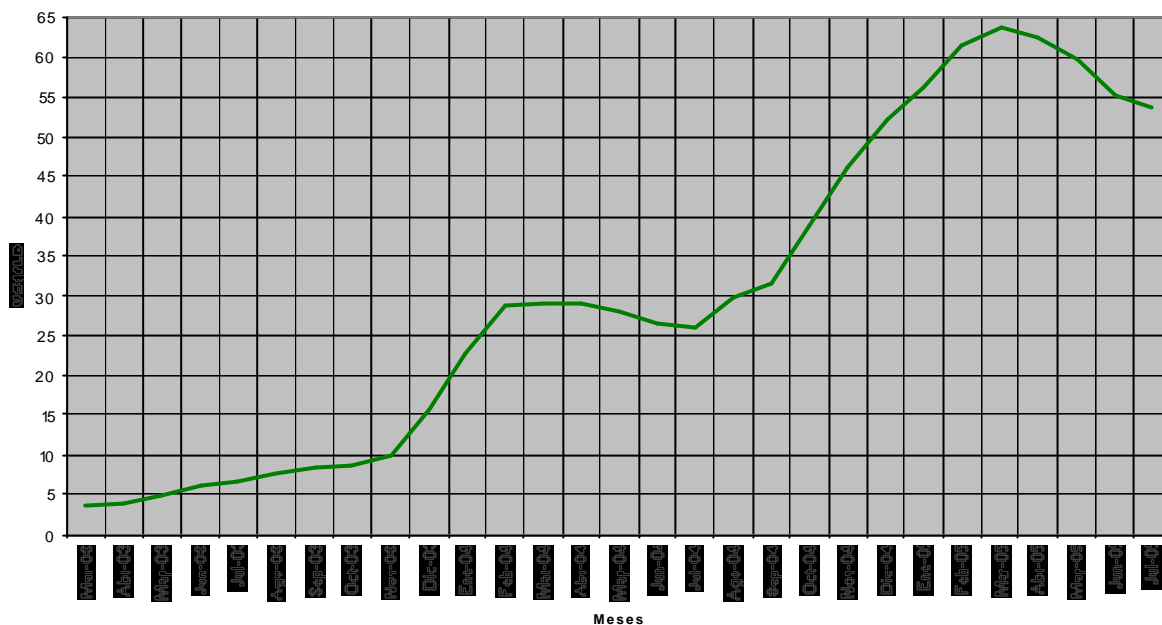
Fuente: Cochilco

Figura C.2 Precios de la plata (US\$/oz).



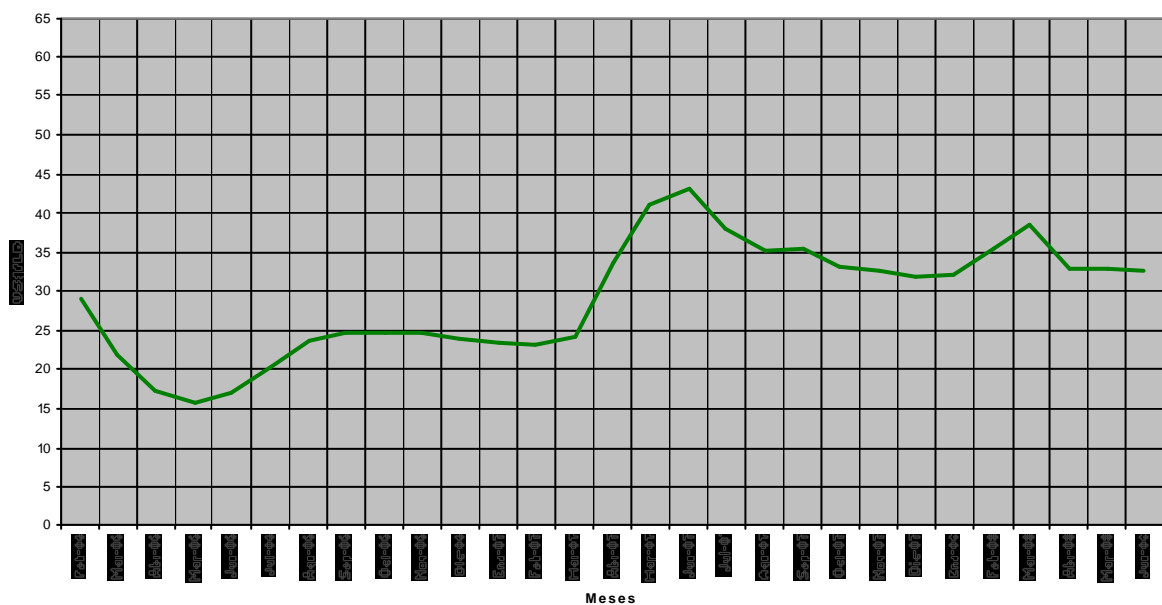
Fuente: Cochilco

Figura C.3 Precios del selenio 2003-2005 (US\$/lb).



Fuente: Metalprices

Figura C.4 Precios del selenio 2006-2008 (US\$/lb).

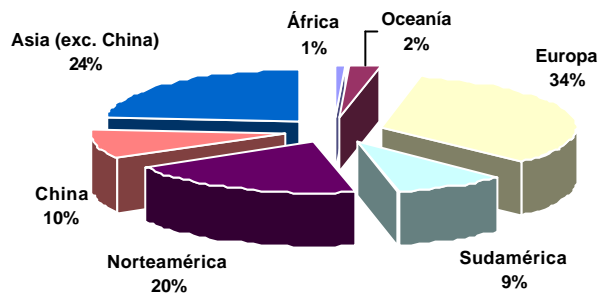


Fuente: Metalprices

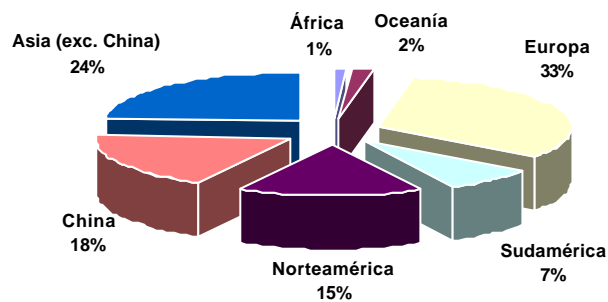
ANEXO D DATOS ESTADÍSTICOS DE PRODUCCIÓN

Figura D.1 Distribución de la producción mundial de barros anódicos.

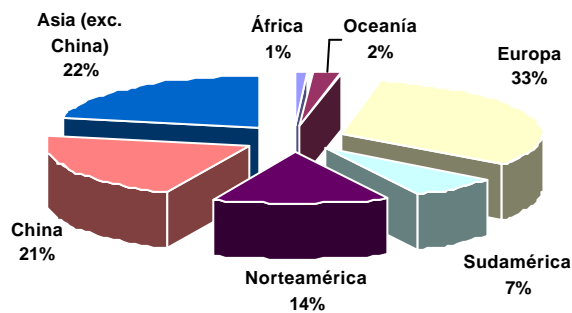
Producción estimada de barros año 2000
(Total mundial 45.320 tm)



Producción estimada de barros año 2007
(Total mundial 54.500 tm)

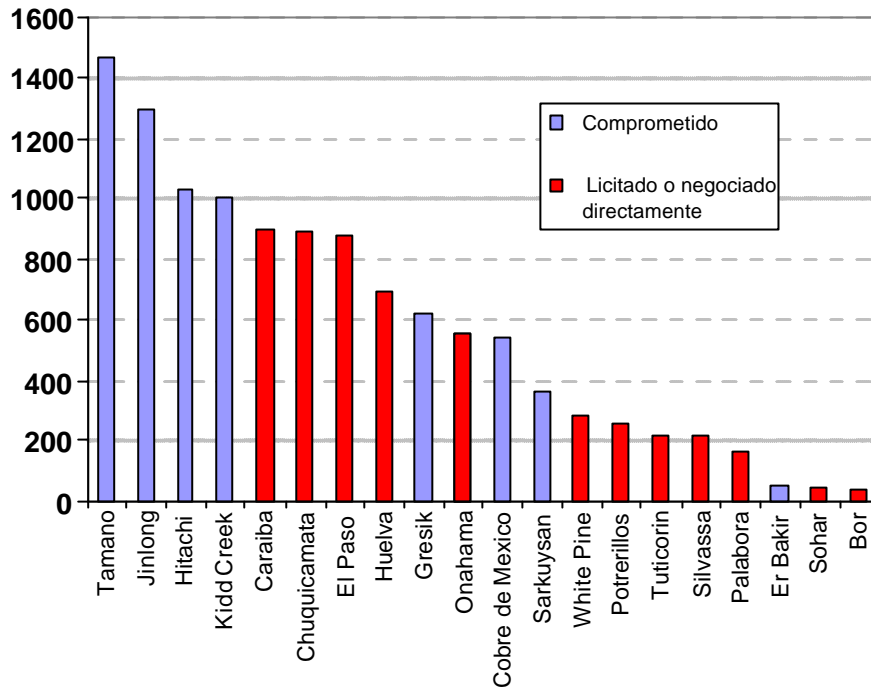


Producción estimada de barros año 2010
(Total mundial 63.747 tm)



Fuente: Brook Hunt, CRU, CODELCO

Figura D.2 Principales productores de barros que son procesados por terceros.



	Toneladas	% del total
Total comprometido	6,934	13%
Total "licitable"	5,142	9%
Total procesado in-house	42,457	78%
Total Barros producidos	54,533	100%

Tabla D.1 Producción mundial de oro de mina (tmf).

Región	2002	2003	2004	2005	2006
Africa	657	629	579	547	530
América	839	827	802	844	852
Latinoamérica	392	406	413	462	496
Norteamérica	447	421	389	382	356
Asia	511	541	508	568	522
Europa	21	19	20	19	20
Oceanía	279	296	272	277	256
CIS	305	308	311	295	291
Total mundo	2.612	2.620	2.492	2.550	2.471

Fuente: Gold Fields Mineral Services Ltd. Y estimaciones de Cochilco para cifras de Chile en base a información publicada por los principales productores mundiales

Tabla D.2 Producción mundial de oro de mina. Principales países (tmf).

País	2002	2003	2004	2005	2006
Sudáfrica	419	398	363	315	292
EEUU	299	281	260	262	252
China	202	211	217	230	247
Australia	266	283	258	263	245
Perú	157	172	173	208	203
Federación Rusa	181	182	182	175	173
Indonesia	158	164	114	166	114
Canadá	148	141	129	120	104
Uzbekistán	83	80	84	79	79
Ghana	70	69	58	63	70
Papúa N. Guinea	65	69	75	69	60
Malí	56	47	40	46	54
Brasil	46	43	43	45	50
Tanzania	39	45	48	49	44
Chile	39	39	40	40	42
Otros	384	396	408	420	442
Total mundo	2.612	2.620	2.492	2.550	2.471

Fuente: Gold Fields Mineral Services Ltd. Cochilco para cifras de Chile en base a los antecedentes publicados por SERNAGEOMIN

Tabla D.3 Principales empresas productoras de oro en el mundo (tmf).

Ranking		Compañía	País de la casa matriz	Producción		
2005	2006			2004	2005	2006
3	1	Barrick Gold	Canadá	154	170	269
1	2	Newmont Gold	EEUU	212	200	185
2	3	AngloGold Ashanti	Sudáfrica	188	192	175
4	4	Gold Fields Ltd.	Sudáfrica	128	131	126
6	5	Harmony	Sudáfrica	102	81	73
7	6	Navoi Metals and Mining	Uzbekistán	62	59	58
5	7	Freeport McMoran	EEUU	45	87	54
12	8	Goldcorp	Canadá	20	35	53
8	9	Cia. De Minas Buenaventura	Perú	51	56	48
11	10	Newcrest	Australia	26	44	48
10	11	Kinross	EEUU	49	48	43
13	12	Polyus	Rusia	34	34	38
9	13	Río Tinto	Reino Unido	48	54	31
15	14	Lihir	Australia	13	16	20
16	15	Iamgold	Canadá	12	14	20
Total acumulado				1.144	1.221	1.241
Total producción mundial				2.492	2.550	2.471
Participación producción mundial				46%	48%	50%

Fuente: Gold Fields Mineral Services Ltd. En Cochilco

Tabla D.4 Principales países recicladores de chatarra de oro (tmf).

País	2002	2003	2004	2005	2006
Arabia Saudita y Yemen	88	94	84	93	133
Turquía	60	64	62	68	83
EEUU	63	68	62	60	81
India	112	127	107	94	80
Egipto	105	98	71	73	77
Indonesia	41	72	64	67	72
Italia	37	43	38	47	59
China	27	29	35	42	45
Pakistán	28	34	33	31	33
Japón	22	25	29	25	27
Federación Rusa	15	19	18	19	19
Otros	243	271	246	267	399
Total mundial	841	944	849	886	1.108

Fuente: Gold Fields Mineral Services Ltd.

Tabla D.5 Demanda mundial de oro por sectores (tmf).

Sector	2002	2003	2004	2005	2006
Fabricación	3.142	2.995	3.166	3.281	2.919
Joyería	2.660	2.482	2.614	2.707	2.280
Electrónica	206	233	260	279	304
Usos dentales	69	67	68	62	61
Monedas oficiales	97	107	115	111	129
Monedas no oficiales y medallas	27	26	26	37	59
Otros usos industriales	83	80	83	85	86
Inversiones	676	435	679	349	599
Atesoramiento en barras	264	180	257	263	226
Operaciones de de-hedgin de productores	412	255	422	86	373
Total demanda	3.818	3.430	3.845	3.630	3.518

Fuente: Gold Fields Mineral Services Ltd. Y HSBC Gold Outlook.

Tabla D.6 Producción chilena de oro por empresas (kg de oro).

Empresa	Mina	Región	2004	2005	2006
1. Minería primaria del oro:					
Cia. Minera Can Can	Can Can	III	234	0	81
Cia. Minera Cerro Bayo	Cerro Bayo	XI	1.862	1.979	1.365
Cia. Minera dayton	Andacollo Oro	IV	297	51	1.303
Cia. Minera Mantos de Oro	La Coipa	III	5.780	5.205	4.200
Cia. Minera Maricunga	Refugio	III	578	1.896	7.268
Cia. Minera meridian	El Peñón	III	9.769	9.439	7.158
Cia. Minera Petorca	Petorca	V	230	289	374
Cia. Minera Pimentón	Pimentón	V	103	92	0
Cia. Minera Pullalli	Pullalli	V	569	590	526
ENAMI y otros	Varias	Varias	1.021	972	519
Minera Florida S. A.	Pedro de Valencia	RM	2.221	2.338	2.258
Soc. Const. Minera El Toqui	El Toqui	XI	611	911	1.145
Soc. Minera Nueva Esperanza	Las Vacas	IV	181	245	230
SubTotal 1			23.456	24.007	26.427
2. Minería del cobre y otras:					
Cia. Const. Minera Candelaria	Candelaria	III	3.886	3.316	3.066
CODELCO	Divisiones	Varias	2.359	2.759	2.554
ENAMI y otros	Varias	Varias	3.504	4.725	4.767
Minera Escondida	Escondida	II	6.781	5.640	5.286
Subtotal 2			16.530	16.440	15.673
Total Chile			39.986	40.447	42.100

Fuente: Sernageomin

Tabla D.7 Producción chilena de oro por regiones (kg de oro).

Regiones	2002	2003	2004	2005	2006
Primera	-	-	-	-	-
Segunda	15.483	17.081	17.519	16.267	13.317
Tercera	15.938	14.543	13.939	14.687	18.834
Cuarta	2.569	1.331	1.441	1.635	3.086
Quinta	1.000	1.589	1.696	1.636	1.504
Sexta	1.824	1.971	2.222	2.337	2.258
Séptima	281	290	440	604	591
Octava	-	-	-	-	-
Novena	-	-	-	-	-
Décima	-	-	-	-	-
Décimo primera	1.593	2.148	2.729	3.281	2.510
Décimo segunda	-	-	-	-	-
Total país	38.688	38.953	39.986	40.447	42.100

Fuente: Preparado por Cochilco en base a antecedentes de Sernageomin.

Tabla D.8 Producción mundial de plata de mina (tm).

Región	2002	2003	2004	2005	2006
Africa	429	378	377	442	465
América	10.107	10.023	10.187	10.404	10.933
Latinoamérica	4.637	4.938	5.073	5.226	5.825
Norteamérica	5.470	5.085	5.114	5.178	5.108
Asia	2.481	2.630	2.746	2.939	3.141
Europa	1.702	1.786	1.747	1.646	1.635
Oceanía	2.108	1.895	2.254	2.448	1.772
CIS	1.641	1.971	2.042	2.223	2.154
Total mundo	18.468	18.683	19.353	20.102	20.100

Fuente: Elaborado sobre la base de Worl Silver Survey 2007 (GFMS, The Silver Institute) y Sernageomin.

Tabla D.9 Producción mundial de plata de mina. Principales países (tmf).

País	2002	2003	2004	2005	2006
Perú	2.762	2.921	3.060	3.192	3.471
México	2.747	2.569	2.569	2.894	2.999
China	1.646	1.828	1.967	2.083	2.345
Australia	2.077	1.864	2.222	2.404	1.728
Chile	1.210	1.312	1.360	1.399	1.607
Polonia	1.211	1.376	1.362	1.261	1.257
Rusia	699	1.070	1.233	1.315	1.232
EE.UU.	1.350	1.240	1.250	1.220	1.140
Canadá	1.373	1.276	1.295	1.063	969
Kazajstán	849	802	703	805	811
Otros	2.544	2.325	2.332	2.466	2.541
Total mundo	18.468	18.683	19.353	20.102	20.100

Fuente: Elaborado sobre la base de Worl Silver Survey 2007 (GFMS, The Silver Institute) y Sernageomin.

Tabla D.10 Principales empresas productoras de plata primaria en el mundo (tmf).

Ranking		Compañía	País de la casa matriz	Producción		
2005	2006			2005	2006	Var. %
2	1	Industrias Peñoles	México	1.474,3	1.458,7	-1,1
3	2	KGHM Polzka Miedz	Polonia	1.244,1	1.241,0	-0,2
1	3	BHP Billiton	Australia	1.673,3	1.150,8	-31,2
4	4	Kazakhmys	Kazajstán	637,6	668,7	4,9
5	5	Polymetal	Rusia	587,8	538,1	-8,5
7	6	Cia. De Minas Buenaventura	Perú	475,9	528,8	11,1
6	7	Grupo México	México	575,4	503,9	-12,4
8	8	Rio Tinto	Reino Unido	463,4	435,4	-6,0
9	9	Coeur d'Alene Mines	EE.UU.	426,1	423,0	-0,7
19	10	Goldcorp	Canadá	223,9	416,8	86,2
Total acumulado				7.781,8	7.365,2	
Total producción mundial				20.102	20.100	
Participación producción mundial				38,7%	36,6%	

Fuente: Elab. sobre la base de Worl Silver Survey 2007 (GFMS, The Silver Institute)

Tabla D.11 Demanda mundial de plata por sectores (tm).

Sector	2002	2003	2004	2005	2006
Aplicaciones Industriales	10.467	10.786	11.329	12.622	13.375
Joyería y platería	7.822	8.153	7.498	7.479	6.995
Fotografía	6.353	5.999	5.629	5.040	4.535
Monedas y medallas	983	1.108	1.318	1.245	1.237
Total demanda	25.625	26.046	25.774	26.386	26.142

Fuente: Elab. sobre la base de Worl Silver Survey 2007 (GFMS, The Silver Institute)

Tabla D.12 Producción chilena de plata por regiones (kg de plata).

Regiones	1990	1995	2000	2005	2006
Primera	26.786	4.213			
Segunda	261.864	326.636	495.861	663.777	649.091
Tercera	198.419	420.297	466.607	281.109	525.436
Cuarta	55.390	89.311	81.035	49.025	60.956
Quinta	66.862	71.464	90.769	109.718	107.143
Metropolitana	10.099	70.728	45.671	66.858	41.052
Sexta	33.000	37.894	30.528	71.917	77.122
Séptima	4	1.671			
Octava					
Novena	3				
Décima					
Décimo primera	2.176	18.884	31.723	157.135	146.364
Décimo segunda					
Total país	654.603	1.041.098	1.242.194	1.399.539	1.607.164

Fuente: Preparado por Cochilco en base a antecedentes de Sernageomin.

Tabla D.13 Producción chilena de plata por origen y escala (kg de plata).

	2004	2005	2006
Minería de la plata:	129	133	298
Pequeña minería	129	133	298
Minería del oro:	609.857	539.404	752.303
Gran minería	229.691	157.138	380.647
Mediana minería	361.037	363.473	356.220
Pequeña minería	19.129	18.793	15.436
Minería del cobre:	747.095	857.435	852.908
Gran minería	694.248	789.771	778.515
Mediana minería	32.365	47.304	55.340
Pequeña minería	20.482	20.360	19.053
Minería del plomo y zinc:	3.059	2.567	1.655
Mediana minería	3.059	2.567	1.655
Total producción	1.360.140	1.399.539	1.607.164

Fuente: Preparado por Cochilco en base a antecedentes de Sernageomin.

ANEXO E EQUIPOS PLANTA METALES NOBLES

Procesamiento de barras anódicas crudas:

Flujo de Recepción	: 400 m3/día
Equipos de Clarificación	: clarificador estático de pulpa
Estanques TK-11 A y TK-11 B	: 25 m3
Estanques TK-12 y TK-13	: 20 m3
Estanque TK-14	: 12 m3
Filtros Prensa F-1 y F-3.	: 26 placas, área 1 m2 cada una
Reactores de Lixiviación, 3	: 5 m3 cada uno
Filtro Prensa F-2	: 26 placas, área 1 m2 cada una
Equipos de bombeo de pulpa	
Sistema de suministro de aire, vapor, oxígeno y ácido sulfúrico.	

Precipitación de telurio y producción de telurio electrolítico:

Torre de precipitación	: 8,5 m3 acero inoxidable
Filtro Prensa	: 22 placas , área 0,6 m2 cada una
Equipos de bombeo de pulpa	
Líneas de suministro de aire, vapor	
Celda	: 220 litros
Cátodo	: 7 cátodos de acero inoxidable de 38 x 30 cm
Ánodo	: 8 ánodos de acero inoxidable
Intensidad de corriente	: 188 A/m2

Producción de sulfato de cobre:

Cristalizadores, 2 unidades	: 6 m3 acero inoxidable, camisa refrigerada con agua
Centrífuga	: Ciclo automático, descarga manual
Equipos de bombeo	
Líneas de suministro de agua de lavado	

Deselenización de barro anódico descobrizado:

Hornos de Tostación	: Eléctricos, 5 unidades
Capacidad	: 900 kg de calcina/horno
Tipo de reacción	: Tostación sulfatante
Estanques de circulación	: 5 unidades
Tiempo de proceso	: 28 hrs

Fusión de calcina y producción de metal doré:

Equipo de fusión	: Horno rotatorio, basculante (Trof)
Combustible	: gas natural
Quemador	: oxígeno / gas
Tiempo de proceso	: 12 - 14 hrs
Producto	: metal doré 96% Ag y 4% Au

Refinación de plata:

Celdas fibra de vidrio/resina	: 3 grupos con 6 celdas cada uno : 510 lt / celda : 12 ánodos/celda; 5 cátodos/celda.
Cátodos	: titanio
Electrolito	: nitrato de plata y ácido nítrico
Densidad de corriente	: 420 A / m ²
Ciclo de electrólisis	: 40 - 48 hrs
Rectificadores	: 3 unidades
Horno fusión cristales	: eléctrico, capacidad 250 kg cristales

Refinación de oro:

Celdas de fibra	: 4 celdas de capacidad 21,5 lts
Cátodos	: titanio
Electrolito	: ácido clorhídrico, ión áurico
Densidad de corriente	: 1200 A / m ²
Ciclo de electrólisis	: 20 - 24 hrs
Rectificador	: 1 unidad
Horno fusión cátodo	: eléctrico, 1 unidad

Producción de concentrado de platino-paladio:

Debido a los volúmenes que se manejan, el proceso se realiza a escala laboratorio.

ANEXO F DATOS ESTADÍSTICOS DE COSTOS

Tabla F.1 Distribución de gastos de las plantas de Codelco hasta barro anódico descubrizado 2007.

Ítem de gasto	Codelco Norte	Salvador	Ventanas
Remuneraciones	18	22	18
Materiales	6	10	10
Serv. Terceros	5	4	5
Otros servicios	1	1	0
Depreciación	12	0,2	6
Mantención	30	34	17
Suministros	12	3	14
Serv. Apoyo a la producción	3	10	6
Serv. Internos y de adm.	13	16	24
	100	100	100

ANEXO G TABLAS EVALUACIÓN ECONÓMICA

Tabla G.1. Flujo de caja alternativa I (KUS\$).

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
INGRESOS		78.431	74.422	72.413	71.084	126.629	135.323	133.367	129.464	161.055	161.055	158.482	159.828
Venta Productos		78.431	74.422	72.413	71.084	126.629	135.323	133.367	129.464	161.055	161.055	158.482	159.828
Metal Doré		74.117	70.122	68.204	66.736	118.543	126.835	125.012	121.375	150.821	150.821	148.422	149.678
Selenio		1.361	1.442	1.410	1.583	2.957	3.137	3.090	2.996	3.753	3.753	3.692	3.724
Escorias		2.954	2.858	2.799	2.765	5.129	5.352	5.266	5.093	6.481	6.481	6.369	6.426
EGRESOS		77.521	73.368	71.392	69.879	123.811	132.589	130.691	126.906	157.562	157.562	155.065	156.374
Compra BAD		75.783	71.610	69.660	68.001	120.743	129.150	127.291	123.582	153.607	153.607	151.162	152.442
Compra BAD CN		40.268	40.157	38.615	40.703	91.862	89.612	87.753	83.938	114.069	114.069	111.624	112.798
Compra BAD SAL		35.517	31.453	31.045	27.298	28.881	39.538	39.538	39.644	39.538	39.538	39.538	39.644
Costos de procesamiento		1.738	1.758	1.731	1.878	3.069	3.439	3.400	3.324	3.955	3.955	3.903	3.932
BAD Codelco Norte		641	709	683	825	1.938	1.889	1.850	1.769	2.404	2.404	2.353	2.377
Tratamiento		641	709	683	825	1.938	1.889	1.850	1.769	2.404	2.404	2.353	2.377
Refinación Aq		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Refinación Au		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BAD Salvador		1.097	1.049	1.049	1.053	1.132	1.550	1.550	1.554	1.550	1.550	1.550	1.554
Tratamiento		1.097	1.049	1.049	1.053	1.132	1.550	1.550	1.554	1.550	1.550	1.550	1.554
Refinación Aq		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Refinación Au		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL BENEFICIOS		910	1.054	1.021	1.205	2.817	2.734	2.676	2.558	3.494	3.494	3.418	3.454

Tabla G.1. Flujo de caja alternativa I (KUS\$), continuación.

13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

INGRESOS	160.850	160.850	155.291	157.666	155.703	162.702	163.114	163.945	160.438	161.261	157.865	157.975	157.865
-----------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Venta Productos	160.850	160.850	155.291	157.666	155.703	162.702	163.114	163.945	160.438	161.261	157.865	157.975	157.865
Metal Doré	150.629	150.629	145.448	147.664	145.832	152.356	152.740	153.516	150.245	151.013	147.846	147.951	147.846
Selenio	3.748	3.748	3.615	3.672	3.625	3.793	3.803	3.822	3.739	3.758	3.677	3.679	3.677
Escorias	6.472	6.472	6.228	6.331	6.247	6.554	6.572	6.607	6.454	6.491	6.341	6.345	6.341

EGRESOS	157.362	157.362	151.968	154.276	152.368	159.160	159.560	160.370	156.963	157.762	154.465	154.576	154.465
----------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Compra BAD	153.412	153.412	148.129	150.388	148.520	155.173	155.564	156.355	153.020	153.803	150.575	150.681	150.575
Compra BAD CN	113.874	113.874	108.591	110.743	108.982	115.635	116.026	116.711	113.482	114.265	111.037	111.037	111.037
Compra BAD SAL	39.538	39.538	39.538	39.644	39.538	39.538	39.538	39.644	39.538	39.538	39.538	39.644	39.538
Costos de procesamiento	3.950	3.950	3.839	3.889	3.847	3.988	3.996	4.014	3.942	3.959	3.891	3.895	3.891
BAD Codelco Norte	2.400	2.400	2.289	2.334	2.297	2.437	2.446	2.460	2.392	2.408	2.340	2.340	2.340
Tratamiento	2.400	2.400	2.289	2.334	2.297	2.437	2.446	2.460	2.392	2.408	2.340	2.340	2.340
Refinación Ag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Refinación Au	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BAD Salvador	1.550	1.550	1.550	1.554	1.550	1.550	1.550	1.554	1.550	1.550	1.550	1.554	1.550
Tratamiento	1.550	1.550	1.550	1.554	1.550	1.550	1.550	1.554	1.550	1.550	1.550	1.554	1.550
Refinación Ag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Refinación Au	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

TOTAL BENEFICIOS	3.487	3.487	3.323	3.380	3.336	3.542	3.554	3.575	3.475	3.500	3.399	3.399	3.399
-------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Tabla G.2. Flujo de caja alternativa II (KUS\$).

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----

INGRESOS		78.994	75.069	73.039	71.871	128.169	136.955	134.975	131.022	163.010	163.010	160.408	161.767
-----------------	--	--------	--------	--------	--------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Venta Productos		78.994	75.069	73.039	71.871	128.169	136.955	134.975	131.022	163.010	163.010	160.408	161.767
Oro		34.460	31.086	29.831	28.378	45.697	51.752	51.198	50.122	59.064	59.064	58.333	58.751
Plata		39.728	39.156	38.486	38.556	73.198	75.491	74.220	71.650	92.215	92.215	90.543	91.384
Selenio		1.361	1.442	1.410	1.583	2.957	3.137	3.090	2.996	3.753	3.753	3.692	3.724
Conc. Pt-Pd		491	527	513	589	1.188	1.224	1.203	1.161	1.496	1.496	1.469	1.483
Escorias		2.954	2.858	2.799	2.785	5.129	5.352	5.268	5.093	6.481	6.481	6.369	6.426

EGRESOS		77.982	73.906	71.918	70.469	124.904	133.752	131.837	128.017	158.950	158.950	156.438	157.751
----------------	--	--------	--------	--------	--------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Compra BAD		75.783	71.610	69.600	68.001	120.743	129.150	127.291	123.582	153.607	153.607	151.162	152.442
Compra BAD CN		40.266	40.157	38.615	40.703	91.862	89.612	87.753	83.938	114.069	114.069	111.624	112.798
Compra BAD SAL		35.517	31.453	31.045	27.298	28.881	39.538	39.538	39.644	39.538	39.538	39.538	39.644
Costos de procesamiento		2.199	2.286	2.258	2.467	4.161	4.602	4.545	4.435	5.342	5.342	5.268	5.309
BAD Codeko Norte		921	1.019	981	1.185	2.782	2.714	2.657	2.542	3.454	3.454	3.380	3.416
Tratamiento		641	709	683	825	1.998	1.889	1.850	1.789	2.404	2.404	2.353	2.377
Refinación Ag		243	269	259	313	734	716	702	671	912	912	892	902
Refinación Au		37	41	39	47	111	108	106	102	138	138	135	136
BAD Salvador		1.277	1.277	1.277	1.282	1.379	1.888	1.888	1.893	1.888	1.888	1.888	1.893
Tratamiento		1.097	1.097	1.097	1.101	1.184	1.621	1.621	1.625	1.621	1.621	1.621	1.625
Refinación Ag		112	112	112	113	121	166	166	167	166	166	166	167
Refinación Au		68	68	68	69	74	101	101	101	101	101	101	101

TOTAL BENEFICIOS		1.012	1.162	1.121	1.402	3.265	3.204	3.139	3.005	4.061	4.061	3.975	4.016
-------------------------	--	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Tabla G.2. Flujo de caja alternativa II (KUS\$), continuación.

13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

INGRESOS	162.802	162.802	157.174	159.579	157.591	164.678	165.095	165.936	162.385	163.219	159.779	159.891	159.779
-----------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Venta Productos	162.802	162.802	157.174	159.579	157.591	164.678	165.095	165.936	162.385	163.219	159.779	159.891	159.779
Oro	59.005	59.005	57.426	58.137	57.543	59.532	59.649	59.921	58.888	59.122	58.157	58.224	58.157
Plata	92.081	92.081	88.463	89.979	88.736	93.285	93.553	94.059	91.814	92.349	90.141	90.180	90.141
Selenio	3.748	3.748	3.615	3.672	3.625	3.793	3.803	3.822	3.739	3.758	3.677	3.679	3.677
Conc. Pt-Pd	1.494	1.494	1.435	1.460	1.440	1.514	1.518	1.527	1.490	1.499	1.463	1.463	1.463
Escorias	6.472	6.472	6.228	6.331	6.247	6.554	6.572	6.607	6.454	6.491	6.341	6.345	6.341

EGRESOS	158.748	158.748	153.305	155.634	153.708	160.562	160.965	161.783	158.345	159.151	155.825	155.937	155.825
----------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Compra BAD	153.412	153.412	148.129	150.388	148.520	155.173	155.564	156.355	153.020	153.803	150.575	150.681	150.575
Compra BAD CN	113.874	113.874	108.591	110.743	108.982	115.635	116.026	116.711	113.482	114.265	111.037	111.037	111.037
Compra BAD SAL	39.538	39.538	39.538	39.644	39.538	39.538	39.538	39.644	39.538	39.538	39.538	39.644	39.538
Costos de procesamiento	5.336	5.336	5.176	5.247	5.188	5.390	5.402	5.427	5.324	5.348	5.250	5.256	5.250
BAD CODELCO NORTE	3.448	3.448	3.288	3.353	3.300	3.502	3.513	3.534	3.436	3.460	3.362	3.362	3.362
Tratamiento	2.400	2.400	2.289	2.334	2.297	2.437	2.446	2.460	2.382	2.408	2.340	2.340	2.340
Refinación Ag	910	910	868	885	871	924	928	933	907	913	888	888	888
Refinación Au	138	138	131	134	132	140	140	141	137	138	134	134	134
BAD SALVADOR	1.888	1.888	1.888	1.893	1.888	1.888	1.888	1.893	1.888	1.888	1.888	1.893	1.888
Tratamiento	1.621	1.621	1.621	1.625	1.621	1.621	1.621	1.625	1.621	1.621	1.621	1.625	1.621
Refinación Ag	166	166	166	167	166	166	166	167	166	166	166	167	166
Refinación Au	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101

TOTAL BENEFICIOS	4.054	4.054	3.869	3.944	3.882	4.115	4.129	4.153	4.040	4.067	3.954	3.955	3.954
-------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Tabla G.3. Indicadores económicos alternativa I.

NOMBRE DEL PROYECTO :		EVALUACION NEGOCIO BARRO ANÓDICO															
ALTERNATIVA DE EVALUACION :		Alternativa I															
TASA DE DESCUENTO		8,0%															
TASA DE IMPUESTOS		57,0%															
Año Calen- dario.	Año Cor- relativo.	Inversion y Rein- versiones	Capital de Trabajo	Inver- siones Evitadas	Ingresos y Ahorros	Costos Operac. Manten.	Depre- ciación	Utilidad antes de impuesto	Impuesto a la Renta	Utilidad Desp. de impuesto	Flujo de Caja AI	Flujo Actual AI	F. Caja Acum. AI	Flujo de Caja DI	Flujo Actual DI	F. Caja Acum DI	
2008	-1	15.000			0	0	0	0	0	0	-15.000	-16.200	-16.200	-16.200	-16.200	-16.200	
2009	1		155		78.431	77.521	600	910	177	733	755	699	-15.501	578	536	-15.664	
2010	2		158		74.422	73.368	600	1.054	259	795	896	768	-14.732	637	546	-15.118	
2011	3		161		72.413	71.392	600	1.021	240	781	860	683	-14.049	620	492	-14.626	
2012	4		164		71.084	69.879	600	1.205	345	860	1.040	765	-13.285	696	511	-14.115	
2013	5		168		126.629	123.811	600	2.817	1.264	1.553	2.649	1.803	-11.482	1.386	943	-13.172	
2014	6		171		135.323	132.589	600	2.734	1.216	1.518	2.563	1.615	-9.866	1.347	849	-12.323	
2015	7		175		133.367	130.691	600	2.676	1.184	1.493	2.502	1.460	-8.407	1.318	769	-11.554	
2016	8		178		129.464	126.906	600	2.558	1.116	1.442	2.380	1.286	-7.121	1.264	683	-10.871	
2017	9		182		161.055	157.562	600	3.494	1.649	1.844	3.312	1.657	-5.464	1.663	832	-10.039	
2018	10		185		161.055	157.562	600	3.494	1.649	1.844	3.308	1.532	-3.932	1.659	768	-9.271	
2019	11		189		158.482	155.065	600	3.418	1.606	1.812	3.229	1.385	-2.547	1.623	696	-8.575	
2020	12		193		159.828	156.374	600	3.454	1.627	1.827	3.261	1.295	-1.252	1.634	649	-7.926	
2021	13		197		160.850	157.362	600	3.487	1.646	1.842	3.291	1.210	-42	1.645	605	-7.321	
2022	14		201		160.850	157.362	600	3.487	1.646	1.842	3.287	1.119	1.077	1.641	559	-6.762	
2023	15		205		155.291	151.968	600	3.323	1.552	1.771	3.119	983	2.060	1.567	494	-6.268	
2024	16		209		157.666	154.276	600	3.390	1.590	1.800	3.182	929	2.989	1.591	464	-5.804	
2025	17		213		155.703	152.368	600	3.336	1.559	1.776	3.123	844	3.833	1.564	423	-5.381	
2026	18		217		162.702	159.160	600	3.542	1.677	1.865	3.325	832	4.665	1.648	412	-4.969	
2027	19		221		163.114	159.560	600	3.554	1.684	1.870	3.333	772	5.438	1.649	382	-4.587	
2028	20		226		163.945	160.370	600	3.575	1.696	1.879	3.350	719	6.156	1.654	355	-4.232	
2029	21		230		160.438	156.963	600	3.475	1.639	1.836	3.245	645	6.801	1.606	319	-3.913	
2030	22		235		161.261	157.762	600	3.500	1.663	1.847	3.265	601	7.401	1.612	296	-3.617	
2031	23		240		157.865	154.465	600	3.399	1.596	1.804	3.160	538	7.940	1.564	266	-3.350	
2032	24		244		157.975	154.576	600	3.399	1.596	1.804	3.155	498	8.437	1.559	246	-3.104	
2033	25		249		157.865	154.465	600	3.399	1.596	1.804	3.150	460	8.897	1.554	227	-2.877	
TOTAL		15.000			3.537.080	3.463.375	15.000	73.704	33.461	40.243	53.740	8.897	-58.184	20.278	-2.877	-221.639	
INDICADORES ECONOMICOS																	
ANTES DE IMPUESTOS					DESPUES DE IMPUESTOS												
VAN (KUS\$)				9.349	VAN (KUS\$)				-1.553								
TIR (%)				13%	TIR (%)				7%								
IVAN (°/1)				0,62	IVAN (°/1)				-0,10								
Per Rec Capital (años)				14	Per. Rec Capital (años)				No Recup								

Tabla G.4. Indicadores económicos alternativa II.

NOMBRE DEL PROYECTO :		EVALUACION NEGOCIO BARRO ANÓDICO														
ALTERNATIVA DE EVALUACION :		Alternativa II														
TASA DE DESCUENTO		8.0%														
TASA DE IMPUESTOS		57.0%														
Año Calen- dario.	Año Cor- relativo.	Inversion y Rein- versiones	Capital de Trabajo	Inver- siones Evitadas	Ingresos y/o Ahorros	Costos Operac. Manten.	Depre- cación	Utilidad antes de impuesto	Impuesto a la Renta	Utilidad Desp. de impuesto	Flujo de Caja A/I	Flujo Actual AI	F. Caja Acum. AI	Flujo de Caja DI	Flujo Actual DI	F. Caja Acum DI
2008	-1	20.000			0	0	0	0	0	0	-20.000	-21.600	-21.600	-21.600	-21.600	-21.600
2009	1		155		78.994	77.982	800	1.012	121	891	857	794	-20.806	736	682	-20.918
2010	2		158		75.069	73.906	800	1.162	207	956	1.004	861	-19.945	798	684	-20.234
2011	3		161		73.039	71.918	800	1.121	183	938	959	762	-19.184	777	616	-19.618
2012	4		164		71.871	70.469	800	1.402	343	1.059	1.238	910	-18.274	894	657	-18.960
2013	5		168		128.169	124.904	800	3.265	1.405	1.860	3.038	2.108	-16.166	1.632	1.152	-17.809
2014	6		171		136.955	133.752	800	3.204	1.370	1.834	3.033	1.911	-14.255	1.662	1.048	-16.761
2015	7		175		134.975	131.837	800	3.139	1.333	1.806	2.964	1.729	-12.525	1.631	952	-15.809
2016	8		178		131.022	128.017	800	3.005	1.257	1.748	2.827	1.527	-10.998	1.570	848	-14.961
2017	9		182		163.010	158.950	800	4.061	1.859	2.202	3.879	1.940	-9.058	2.020	1.011	-13.950
2018	10		185		163.010	158.950	800	4.061	1.859	2.202	3.875	1.795	-7.263	2.017	934	-13.016
2019	11		189		160.405	156.430	800	3.975	1.810	2.165	3.786	1.624	-5.639	1.976	848	-12.169
2020	12		193		161.767	157.751	800	4.016	1.833	2.183	3.823	1.518	-4.121	1.990	790	-11.378
2021	13		197		162.802	158.748	800	4.054	1.855	2.199	3.857	1.418	-2.702	2.003	736	-10.642
2022	14		201		162.802	158.748	800	4.054	1.855	2.199	3.853	1.312	-1.390	1.999	680	-9.962
2023	15		205		157.174	153.305	800	3.869	1.749	2.120	3.664	1.155	-235	1.915	604	-9.358
2024	16		209		159.579	155.634	800	3.944	1.792	2.152	3.736	1.090	855	1.943	567	-8.791
2025	17		213		157.591	153.708	800	3.882	1.757	2.125	3.670	992	1.847	1.913	517	-8.274
2026	18		217		164.678	160.562	800	4.115	1.890	2.226	3.898	976	2.822	2.009	503	-7.771
2027	19		221		165.095	160.965	800	4.129	1.898	2.232	3.908	905	3.728	2.010	466	-7.305
2028	20		226		165.936	161.783	800	4.153	1.911	2.242	3.928	843	4.571	2.016	433	-6.873
2029	21		230		162.385	158.345	800	4.040	1.847	2.193	3.810	757	5.327	1.963	390	-6.483
2030	22		235		163.219	159.151	800	4.067	1.862	2.205	3.833	705	6.032	1.970	362	-6.120
2031	23		240		159.779	155.825	800	3.954	1.798	2.156	3.715	633	6.665	1.917	326	-5.794
2032	24		244		159.891	155.937	800	3.955	1.798	2.156	3.710	585	7.250	1.912	302	-5.492
2033	25		249		159.779	155.825	800	3.954	1.798	2.156	3.705	541	7.791	1.907	278	-5.214
TOTAL		20.000			3.578.994	3.493.401	20.000	85.593	37.388	48.205	60.629	7.791	-137.273	23.240	-5.214	-315.262
INDICADORES ECONOMICOS																
ANTES DE IMPUESTOS					DESPUES DE IMPUESTOS											
IVAN (KUS\$)		8.695			IVAN (KUS\$)		-3.346									
TIR (%)		12%			TIR (%)		6%									
IVAN (P/I)		0,40			IVAN (P/I)		-0,15									
Per. Rec. Capital (años)		16			Per. Rec. Capital (años)		No Recup									

Tabla G.5. Retorno por procesamiento de barras anódicas de División Codelco Norte hasta de oro y plata.

US\$/tms	Tratar en Ventanas hasta oro y plata	Vender BAD al mercado
Ingreso operacional	101.860	
Costo operacional	2.962	
Ingreso neto	98.897	97.830

Tabla G.6. Retorno por procesamiento de barras anódicas de División Codelco Norte hasta metal doré.

US\$/tms	Tratar en Ventanas hasta MD	Vender BAD al mercado
Ingreso operacional	101.614	
Costo operacional	2.062	
Ingreso neto	99.552	97.830

Tabla G.7. Retorno por procesamiento de barras anódicas de División Salvador hasta oro y plata.

US\$/tms	Tratar en Ventanas hasta oro y plata	Vender BAD al mercado
Ingreso operacional	109.988	
Costo operacional	5.089	
Ingreso neto	104.899	115.838

Tabla G.8. Retorno por procesamiento de barras anódicas de División Salvador hasta metal doré.

US\$/tms	Tratar en Ventanas hasta MD	Vender BAD al mercado
Ingreso operacional	109.358	
Costo operacional	4.369	
Ingreso neto	104.989	115.838