



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELÉCTRICA**

**POTENCIAL DE RECUPERACIÓN ENERGÉTICA EN RELAVES
DE LA GRAN MINERÍA DEL COBRE
FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA**

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELECTRICISTA

ASTRID VERÓNICA POBLETE ABASOLO

**PROFESOR GUÍA
RODRIGO PALMA BEHNKE**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN
NICOLAS BELTRAN MATURANA
ARIEL VALDENEGRO ESPINOZA**

**SANTIAGO DE CHILE
MARZO 2012**

RESUMEN

La presente memoria de título explora el potencial de generación eléctrica existente en la Gran Minería del Cobre, sobre la base de “Recuperación Energética” a partir de fuentes cinéticas y térmicas presentes en sus procesos, considerando para ello el incremento en la aplicación de iniciativas ya existentes como la exploración de nuevas opciones. Lo anterior, se enmarca en la consciencia del impacto que la Minería Nacional tiene sobre la matriz energética país y sobre las condiciones medioambientales.

En términos específicos, el estudio atiende el análisis en torno a la factibilidad técnico-económica de la generación eléctrica a partir del flujo de relaves, tanto desde la aplicación de la generación mini hidráulica como de la generación mecánica a partir de correas regenerativas, en nueve faenas de las principales compañías mineras cupríferas nacionales. El análisis considera la proyección operacional de ambas soluciones, la evaluación económica durante su vida útil, las potenciales fuentes de financiamiento y los modelos de negocio asociados.

Los resultados establecen que el aporte de la solución mini hidráulica a la demanda local es muy bajo (<1% del consumo de cada minera), presentando una TIR negativa y tiempos de recuperación de inversión muy altos que inviabilizan la solución desde un punto de vista financiero. La principal causa radica en los costos de recambio de piezas reforzadas de las bombas por concepto de desgaste, costo que no es amortizado por el ahorro de energía y los ingresos derivados de los bonos de carbono.

En contraste, se establece que la implementación de correas regenerativas es más efectiva, tal que los niveles de generación se sitúan entre un 0,2% y un 12% de las demandas locales, habilitando el autoabastecimiento en 5 de las faenas estudiadas. Estos proyectos recuperan su inversión en periodos entre 7 a 10 años con una tasa de descuento del 6% y una $TIR_{15 \text{ años}}$ que oscila entre el 8 y 20% (valores que son sensibles al nivel de la inversión y configuración de la correa).

Dedicado a mi familia, por su cariño y apoyo siempre incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Al cierre de una importante etapa de la vida, es muy necesario dar las gracias por todo lo recibido.

Gracias a mis padres y hermanas por su cariño, sus consejos y apoyo siempre presente, elementos claves y esenciales en mi desarrollo.

Gracias a los profesores de ayer y de hoy, a los del colegio y de la universidad, por mostrarme aspectos de la vida y de las ciencias que me permitieron definir mi vocación profesional.

Gracias especiales al Profesor Rodrigo Palma, por su disposición, conocimiento y compromiso como Profesor Guía, elementos que fueron claves y esenciales para culminar esta etapa.

Gracias a los profesores Ariel Valdenegro y Nicolás Beltrán por sus oportunos aportes e indicaciones.

Gracias a la Universidad de Chile y a la Escuela de Ingeniería por la calidad de su formación técnica, pero especialmente por su visión humanista y pluralista, manifiesta en el respeto y defensa de la diversidad de pensamiento, de los valores y derechos de los individuos.

Finalmente, gracias al Departamento de Ingeniería Eléctrica, a sus profesores y administrativos.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN	11
1.1 Motivación.....	11
1.2 Objetivos Generales.	13
1.3 Objetivos Específicos.....	13
1.4 Alcances	13
1.5 Estructura del trabajo.....	14
CAPITULO 2 CONSUMO ELÉCTRICO GRAN Y MEDIANA MINERÍA NACIONAL Y SUS IMPLICANCIAS ACTUALES Y FUTURAS.	16
2.1 Visión de la Generación Eléctrica Nacional y su proyección de crecimiento.	16
2.1.1 Niveles de Generación.	16
2.1.2 Comportamiento Precios Energía.	18
2.2 Consumo Eléctrico de la Gran Minería e impacto en demanda país.	19
2.2.1 Producción de la Gran Minería e impacto en la economía nacional.....	19
2.2.2 Proyección Producción Cuprífera 2010-2020.....	21
2.2.3 Consumo de Energía Eléctrica de la Gran Minería del Cobre.....	22
2.2.4 Proyección Consumo Eléctrico 2010-2020 Sector Minero Cuprífero.	23
2.2.5 Incremento Parque Generación SING/SIC – Inversiones.....	25
2.3 Visión emisión de gases invernadero asociados a la minería y sus costos	25
2.3.1 Emisiones Gases GEI asociadas a la minería	26
2.3.2 Proyección Emisiones Gases GEI asociadas a la minería 2010-2020.	29
CAPITULO 3 RECUPERACIÓN ENERGÉTICA	32
3.1 Concepto de “Recuperación Energética”.	32
3.1.1 NegaWatts – Cuantificación de la Eficiencia Energética.	34
3.2 Marco Regulatorio y de Incentivos asociado a la Eficiencia Energética.	34
3.2.1 Marco Regulatorio y de Incentivos asociados.	35
3.2.2 Análisis Aplicabilidad normativa e incentivos en torno a las ERNC y “Eficiencia Energética” a la “Recuperación Energética”.	37
3.3 Potenciales Fuentes Financiamiento proyectos “Eficiencia Energética”.	38
3.3.1 Financiamiento de los Costos de Implementación	38
3.3.2 Financiamiento de los Costos Operacionales	39
3.4 Potencial Energético en torno a la Gran y Mediana Minería.	40
3.5 Iniciativas de Recuperación Energética en el Sector Minero.	44
3.5.1 Iniciativas “Recuperación Energética” en Operación o planificadas	44
3.6 Selección Iniciativa de “Eficiencia Energética” a estudiar en detalle.....	47

CAPITULO 4	GENERACIÓN ELÉCTRICA A PARTIR DE RELAVES - APLICABILIDAD RECUPERACIÓN ENERGÉTICA EN EL SECTOR MINERO NACIONAL.....	48
4.1	Sobre los Relaves.....	48
4.2	Generación Eléctrica a partir del Flujo de Relaves.	51
4.3	Marco del Estudio “Generación Eléctrica a partir de Relaves”	58
4.4	Análisis Potencial Generación a partir de Relaves en Faenas Mineras	59
4.4.1	Análisis Caso Anglo American Los Bronces.....	61
4.4.2	Análisis Caso Antofagasta Minerals Los Pelambres.	63
4.4.3	Análisis Caso BHP Billiton Minera Escondida.	67
4.4.4	Análisis Caso Minera La Candelaria.	72
4.4.5	Análisis Caso Codelco División Andina.	75
4.4.6	Análisis Caso Codelco División El Salvador.....	79
4.4.7	Análisis Caso Codelco Norte.....	84
4.4.8	Análisis Caso Minera Collahuasi.	88
4.5	Visión Global / Potencial de Recuperación Energética en Relaves.	92
4.5.1	Generación Mini Hidráulica en Relaves.....	92
4.5.2	Generación Eléctrica vía Correas Regenerativas en Relaves.....	92
4.6	Evaluación Técnico-Económica - Generación Mini Hidráulica.....	94
4.6.1	Generación Eléctrica vía Turbinas en Relaves.....	94
4.6.2	Generación Eléctrica vía Correas Regenerativas en Relaves.....	95
4.7	Proyección iniciativa de recuperación eléctrica a todo el sector minería	100
CAPITULO 5	DISCUSIÓN GENERAL DE LOS RESULTADOS.....	101
5.1	Sobre las Soluciones.	101
5.2	En Comparación con otras iniciativas de Eficiencia Energética.....	103
5.3	En cuanto a la aportación a las metas ERNC 20/20.	104
CAPITULO 6	CONCLUSIONES Y COMENTARIOS.....	105
6.1	Sobre la Recuperación Energética	105
6.2	Sobre la “Recuperación Energética a partir del Flujo de Relaves”.....	106
6.3	Sobre el Potencial de Recuperación Energética.....	107
6.4	Recomendaciones para otros estudios.....	108
6.5	Conclusión Final.	108
CAPITULO 7	BIBLIOGRAFÍA / REFERENCIAS.....	109
CAPITULO 8	ANEXOS.....	112
Anexo A	Conceptos Base en torno a Relaves.....	112
Anexo B	Tendencias en el Tratamiento de los Relaves	114
Anexo C	Caracterización Depósitos de Relave	118
Anexo D	Planillas de cálculos escenarios generación.....	158
Anexo E	Análisis Sensibilidad Generación Correa Regenerativa.....	163

INDICE ILUSTRACIONES

Figura 2.1 - Potencia Eléctrica Neta Instalada 2010	16
Figura 2.2 - Generación Eléctrica Bruta 2000-2020/CNE	17
Figura 2.3 - Matriz Energética 2010/CNE	17
Figura 2.4 - Potencia Eléctrica Neta Instalada 2010/CNE	18
Figura 2.5 - Variación Precio Medio Mercado Base/CNE	19
Figura 2.6 - Participación Minería en PIB y Exportaciones 2003-2010.....	20
Figura 2.7 - Proyección TMF Productos Finales Cobre 2009-2020.....	21
Figura 2.8 - Proyección Consumo Energía Eléctrica Sector Minería.....	24
Figura 2.9 - % embarques Cobre 2009 según continente destino.....	26
Figura 2.10 - Cargas Unitarias CO2 por proceso productivo minero	27
Figura 2.11 - Relación TMF de Cobre por Tonelada CO2, 2001-2008.....	28
Figura 2.12 - Emisiones Directas e Indirectas Sector Minería Cobre	28
Figura 2.13 - Matriz Energética SING 2009 y 2020	29
Figura 2.14 - Matriz Energética SING 2009 y 2020	29
Figura 3.1 - Recuperación Energética en la Minería	32
Figura 3.2 - Minería / Iniciativas Optimización del Consumo Energético.....	33
Figura 3.3 - Fuentes de Financiamiento Proyectos Eficiencia Energética	37
Figura 3.4 - Comportamiento Precio Bono de Carbono 2009-2011	39
Figura 3.5 - Recuperación energía cinética en Correas transportadoras	41
Figura 3.6 - Recuperación de energía cinética en stocks pile	41
Figura 3.7 - Recuperación de energía hidráulica en cañerías de relaves.....	42
Figura 3.8 - Recuperación energía hidráulica en cañerías de agua alim.....	42
Figura 3.9 - Recuperación de energía cinética en molinos SAG y de Bolas	43
Figura 4.1 - Sinopsis Proceso Minero.....	48
Figura 4.2 - Esquemas Generación Eléctrica vía aplicación de turbinas.....	51
Figura 4.3 - Ruta Relaveducto División El Teniente	52
Figura 4.4 - Generación Eléctrica vía aplicación Correas Regenerativas	55
Figura 4.5 - Tipos de Correas.....	56
Figura 4.6 - Correas con guías o topes contenedores	57
Figura 4.7 - Marco Estudio Generación a partir de Relaves.....	58

INDICE TABLAS

Tabla 2.1 - Sistemas Generación Eléctrica Nacional (2010)	16
Tabla 2.2 - Distribución según sector, Minería del Cobre	19
Tabla 2.3 - Producción Anual Cobre Fino por Región	20
Tabla 2.4 - Proyección TMF Productos Finales Cobre 2009-2020.....	21
Tabla 2.5 - Proyección Producción Regional Cobre de Mina 2009-2020	22
Tabla 2.6 - Consumo Energía Eléctrica por Tonelada de material tratado.....	23
Tabla 2.7 - Proyección Producción Regional Cobre por Sist. Interconectado	23
Tabla 2.8 - Proyección Coeficientes Unitarios por Sistema Interconectado	24
Tabla 2.9 - Emisiones Gases GEI de la Minería del Cobre 2000-2008	27
Tabla 4.1 - Variación Pendiente Limite según Concentración en Relave	50
Tabla 4.2 - Codelco Div. El Teniente/Caso Piloto Generación Vía Relaves	54
Tabla 4.3 - Correas Regenerativas	57
Tabla 4.4 - Indicadores operacionales Correas Regenerativas	57
Tabla 4.5 - Estructura Análisis / faenas productoras concentrado de cobre.....	59
Tabla 4.6 - Variables Operacionales Anglo American Los Bronces	61
Tabla 4.7 - Variables Operacionales Minera Los Pelambres.....	64
Tabla 4.8 - Los Pelambres / Proyección Generación Mini Hidráulica	65
Tabla 4.9 - Los Pelambres / Proyección Generación Correas Regenerativas.....	66
Tabla 4.10 - Variables Operacionales Minera Escondida.....	68
Tabla 4.11 - Escondida / Proyección Generación Mini Hidráulica	70
Tabla 4.12 - Escondida / Proyección Generación Correas Regenerativas.....	71
Tabla 4.13 - Variables Operacionales Minera Candelaria	73
Tabla 4.14 - Minera Candelaria / Proyección Generación Mini Hidráulica.....	74
Tabla 4.15 - Variables Operacionales Codelco Andina	76
Tabla 4.16 - Codelco Andina / Proyección Generación Mini Hidráulica.....	77
Tabla 4.17 - Codelco Andina / Proyec. Generación Correas Regenerativas.....	78
Tabla 4.18 - Variables Operacionales Codelco Salvador	80
Tabla 4.19 - Codelco Salvador / Proyección Generación Mini Hidráulica.....	82
Tabla 4.20 - Codelco Salvador / Proyec. Generación Correas Regenerativas.....	83
Tabla 4.21 - Variables Operacionales Codelco Norte	85
Tabla 4.22 - Codelco Norte / Proyección Generación Mini Hidráulica.....	86
Tabla 4.23 - Codelco Norte / Proyec. Generación Correas Regenerativas	87
Tabla 4.24 - Variables Operacionales Collahuasi.....	89
Tabla 4.25 - Collahuasi / Proyección Generación Mini Hidráulica	90
Tabla 4.26 - Collahuasi / Proyección Generación Correas Regenerativas.....	91
Tabla 4.27 - Cuadro Sinóptico Generación Mini Hidráulica en Relaves	92
Tabla 4.28 - Cuadro Sinóptico Generación vía Correas Regenerativas	93
Tabla 4.29 - Cuadro Sinóptico Generación vía Turbinas en Relaves	94
Tabla 4.30 - Cuadro Sinóptico Generación vía Correas Regenerativas	96
Tabla 4.31a - Cuadro Sinóptico Reducción Viable Trazado Relaves	99
Tabla 4.31b - Cuadro Sinóptico Generación vía Correas Regenerativas en Relaves (Reducción tramos Correas Transportadoras Normales)	99

Tabla 5.1 - Viabilidad Generación vía Relaves.....	102
Tabla 5.2 - Comparación Faena por mecanismos Generación vía Relaves.....	102
Tabla 5.3 - Comparación con otras iniciativas ERNC.....	103
Tabla 5.4- Comparación aportes Eficiencia Energética.....	104

ACRÓNIMOS

AChEE	Agencia Chilena de Eficiencia Energética
CDEC	Centro de Despacho Económico de Carga
CNE	Comisión Nacional de Energía
CONAMA	Comisión Nacional del Medio Ambiente
CORFO	Corporación de Fomento
ERNC	Energías Renovables No Convencionales
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GJ	Gigajoule = 10^9 Joule
GWh	Gigawatt-hora = 10^6 Kilowatt-hora
IMEL	Iniciativa Minera por la Energía Limpia (CORFO – PPEE)
kWh	Kilowatt-hora
MDL	Mecanismos de Desarrollo Limpio
MMUS\$	Millones de Dólares
msnm	Metros sobre nivel del mar
MUS\$	Miles de Dólares
PMM	Precio Medio de Mercado (precios medios ponderados obtenidos a partir de los contratos informados).
PPEE	Programa País de Eficiencia Energética, Comisión Nac. Energía
SEIA	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
SIC	Sistema Interconectado Central
SING	Sistema Interconectado del Norte Grande
TJ	Terajoule = 10^{12} Joule
TMF	Tonelada Métrica de Cobre Fino
Tpd	Toneladas por día
Tph	Toneladas por hora
TWh	Terawatt hora = 3600 TJ

CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación.

Hoy en día, el sector productivo nacional y su potencial desarrollo en los próximos años se encuentran fuertemente desafiados por el aseguramiento del abastecimiento eléctrico, sus costos asociados y las implicancias medioambientales que conllevan.

Chile proyecta un crecimiento del PIB entre un 4 a un 6% anual para el decenio entrante, sustentado principalmente por el desarrollo productivo y comercial de sectores tales como: minería, servicios financieros e industrial manufacturero.

Dada la naturaleza de los sectores que sustentan el crecimiento-país, es claro que este crecimiento productivo está asociado a un incremento en la demanda energética, particularmente en torno a la generación eléctrica, generación para la cual se proyecta un crecimiento de un 48% sobre el nivel de generación del año 2010. La tasa de incremento proyectado es muy similar a la del último decenio (2000-2010), en la cual el crecimiento fue de un 50%.

Durante el 2010 Chile generó 58.660 GWh [1], generación que se estima debiera presentar una tasa de crecimiento anual del orden de 5% llegando a un nivel de 95.000 GWh en el año 2020. Este crecimiento se traducirá, en que la capacidad de generación del SING al 2020 debiese ascender a 5.314 MW, mientras en el SIC debiese ser de 17.801 MW [2].

Cabe destacar que en este escenario, el sector eléctrico no sólo deberá enfrentar el aumento en la demanda energética, sino también una redefinición y redistribución de sus fuentes de generación, hecho gatillado tanto por las dificultades de aprovisionamiento de gas como de la disminución de las condiciones pluviométricas que están afectando al país en los últimos años. Todo lo anterior, redundará en un alto factor de riesgo aplicado sobre la hidrogenación.

Durante el último quinquenio la matriz energética nacional ha sufrido una redistribución en torno a la participación de las distintas fuentes de generación. Los problemas presentados tanto en el suministro de gas natural como en torno a la escasez pluviométrica han revalorizado las fuentes de generación térmica a partir del carbón, pasando de un 8% de participación en el 2006 a un 27% durante el 2009. Es así como, la proyección de la matriz energética nacional para el 2020 indica que la presencia termoeléctrica llegará a un 62%, dónde el principal incremento ocurre en

torno a la generación a base de carbón ascendiendo al 36% del total de energía nacional generada.

La tendencia en torno a la generación eléctrica carbono-intensiva ha sido particularmente clara en el SING, sistema en el cual el 63% proviene de la generación en base a Carbón o Petcoke. Al 2020, se proyecta que cerca del 88% de la demanda del SING sea cubierta con generación en base a carbón.

En cuanto a la visión de los clientes, uno de los principales sectores cliente es el sector Minería, el cual consume 34% de la generación eléctrica nacional, y cuya producción presentará un aumento de un 27% en los próximos 10 años. Es este aumento en producción el que sobre exigirá al sector eléctrico nacional, exigencia que será particularmente intensiva en el Sistema Interconectado del Norte Grande SING, sistema que atiende al 71% de la producción cuprífera con un consumo asociado del 66% de su generación total.

En este escenario, el sector minería se ve fuertemente impactado, tanto por la disponibilidad energética como por la naturaleza de su generación, dado que:

- el costo de la energía eléctrica compromete un 8 a 15% del costo unitario de producción, y
- en el futuro se prevé la aplicación de gravámenes a las importaciones en función del grado de impacto ambiental de la energía empleada en el proceso productivo.

El hecho de que un importante porcentaje de la matriz energética del SING este migrando hacia una generación basada en el carbón, conlleva serios riesgos en torno a las futuras restricciones y gravámenes que pudiesen sufrir los productos finales sobre la base de las emisiones de CO₂. Cabe señalar que el 24% de las emisiones país de CO₂ proviene del sector minero.

Por lo anterior, cobran especial relevancia todas las iniciativas del sector tendientes a:

- incrementar la eficiencia energética en los procesos mineros en pos de optimizar los niveles de consumo, así como
- lograr recuperación energética sobre los procesos mismos, estableciendo mecanismos de cogeneración en pos de un autoabastecimiento eléctrico.

En este marco, el presente estudio analiza en forma general, el potencial y factibilidad de establecer fuentes de “recuperación energética” al interior de los distintos procesos mineros (aprovechando la energía potencial existente en procesos cinéticos, vibratorios y/o térmicos), y en particular la efectividad de recuperación a partir de los flujos de relaves.

1.2 Objetivos Generales.

Los objetivos generales declarados para el presente estudio son:

- Establecer y declarar el potencial de recuperación eléctrica presente en el sector minero a partir de incrementar la aplicación de iniciativas ya en operación, así como explorar nuevas opciones.
- Evaluar su potencial aplicación y sus retornos directos e indirectos (operacionales, financieros, comerciales).

1.3 Objetivos Específicos.

En el marco de los objetivos generales indicados, los objetivos específicos son:

Recuperación Energética en términos generales

- Identificar y analizar experiencias de “Recuperación Energética Eléctrica” en operación en el sector minero nacional, evaluando su potencial de aplicación intensiva en todo el sector de la Gran Minería del Cobre.
- Proponer alternativas de “Recuperación Energética Eléctrica” al interior de los procesos mineros sobre la base del aprovechamiento de fuerzas cinéticas, vibratorias y/o térmicas.

Recuperación Energética a partir del flujo de relaves.

- Determinar y evaluar el potencial de recuperación energética en los flujos de relaves.
- Proponer alternativas de “Recuperación Energética Eléctrica” en el flujo de relaves.
- Evaluar la factibilidad técnico/económica de la aplicación intensiva en el sector de la Gran Minería del Cobre de las alternativas propuestas: nivel de inversión, costos de operación, retornos esperados (ahorros por disminución de provisión energética externa, venta bonos de carbono. etc.), reducción de emisiones CO₂, reducción de riesgos comerciales (restricciones, gravámenes).
- Establecer caso tipo de “Recuperación Energética Eléctrica” para una compañía minera promedio.
- Establecer aplicabilidad al sector de la Gran Minería del Cobre.
- Proyectar inversión requerida e identificar potenciales fuentes de financiamiento sobre la base de: regulaciones e incentivos en torno a iniciativas de Eficiencia Energética, mercado de Bonos de Carbono, otros.
- Evaluar la aplicación de “Recuperación Energética” a otros sectores.

1.4 Alcances.

El estudio establece en primera instancia las necesidades del sector minero en torno a las iniciativas de recuperación energética, tanto en pos de aumentar la disponibilidad de energía eléctrica para los procesos directos e indirectos como en torno a la reducción de las emisiones de CO₂. El estudio considera la “Recuperación de Energía” a partir de procesos cinéticos, vibratorios y/o térmicos de los procesos mineros mismos.

Se identifican las iniciativas en operación y su proyección al resto del sector, así como las fuentes potenciales de energía en los distintos procesos mineros, proponiendo y analizando en primera instancia soluciones de recuperación para cada caso.

Para el caso puntual de la recuperación energética a partir del flujo de relaves, se establecen dos alternativas, su factibilidad de aplicación, estimación de recuperación energética, estimación de inversión requerida, estimación de ahorro de emisiones CO₂, potenciales fuentes de capital.

Finalmente, se analiza el impacto que iniciativas de naturaleza “recuperativa” tendrían en todo el sector de la gran y mediana minería nacional.

Cabe destacar que este estudio no implica diseños acabados, sino que busca establecer un ejercicio exploratorio de potenciales aplicaciones de “Recuperación Energética Eléctrica” en los procesos de producción minera cuprífera, su viabilidad de aplicación y potenciales fuentes de inversión.

1.5 Estructura del trabajo.

El estudio desarrolla la siguiente estructura de contenidos:

Capítulo 1 Introducción.

Introduce a las motivaciones y objetivos del presente estudio.

- Motivación
- Objetivos
- Objetivos Específicos
- Alcances
- Estructura del trabajo

Capítulo 2 Consumo eléctrico de la gran y mediana minería nacional y sus implicancias actuales y futuras.

Contextualiza el estudio en torno a las iniciativas de recuperación energética del sector minería, describiendo y desarrollando las necesidades energéticas y comerciales del sector, así como el concepto de recuperación energética, su potencial y beneficios cualitativos.

- Visión del Consumo eléctrico en la Gran Minería Nacional.
 - Caracterización de la Situación Eléctrica Nacional.
 - Caracterización del Consumo Eléctrico de la Gran Minería y su impacto en el consumo nacional.
- Visión de la emisión de gases invernadero asociados a la minería y sus costos directos e indirectos.

Capítulo 3 Recuperación Energética.

Presenta el concepto de recuperación energética, su potencial en el sector minería y beneficios cualitativos esperados.

- Concepto de “Recuperación Energética”.
- Beneficios Cualitativos asociados a la Recuperación Energética.
- Iniciativas de Recuperación Energética Eléctrica del sector.
- Marco regulatorio y de incentivos asociado.
- Análisis Aplicabilidad de la normativa e incentivos en torno a la “Eficiencia Energética” y al concepto de “Recuperación Energética”.

Capítulo 4 Generación Eléctrica a partir de Relaves - Aplicabilidad de la Recuperación Energética en el Sector Minero Nacional.

Explora las posibilidades de ampliar la aplicación de las iniciativas de recuperación energética eléctrica ya existentes, así como la determinación de potenciales aplicaciones en el mismo marco.

- Generación Eléctrica a partir del Flujo de Relaves
 - Generación Eléctrica vía aplicación de Turbinas sobre relaveducto.
 - Generación Eléctrica vía aplicación de Correas Regenerativas para el transporte de los lodos.
- Análisis factibilidad técnica/económica de soluciones de Recuperación Eléctrica.
 - Tecnologías potenciales aplicables a la recuperación.
 - Soluciones de recuperación.
 - Potencial de recuperación eléctrica, niveles de generación, reducción de costos, reducción de emisiones de CO₂.
 - Factibilidad técnico/económica. Modelo de negocio.
- Proyección iniciativa de recuperación eléctrica a todo el sector de la minería nacional. Impacto en la demanda y disponibilidad energética.

Capítulo 5 Discusión General de los Resultados.

Presenta los distintos enfoques de análisis y resultados derivados de este, en el marco de las expectativas del estudio.

- Marco Operacional
- Consideraciones
- Recomendaciones/Observaciones

Capítulo 6 Conclusiones y Comentarios.

Conclusiones finales sobre los resultados obtenidos en el estudio.

Capítulo 7 Bibliografía.

Detalle de la documentación consultada en el desarrollo del estudio.

Capítulo 8 Anexos

CAPITULO 2 CONSUMO ELÉCTRICO DE LA GRAN Y MEDIANA MINERÍA NACIONAL Y SUS IMPLICANCIAS ACTUALES Y FUTURAS.

La minería nacional es una de las principales fuentes de divisas a nivel nacional, aportando un importante porcentaje del presupuesto país, razón por la cual se constituye como uno de los sectores productivo-comerciales estratégicos, tanto por su situación actual (6% crecimiento anual, 2010: PIB Minero MMUS\$ 39.000) [3,4] como por las inversiones comprometidas en los próximos años (2012/2020: MMUS\$ 67.000) [5]. Por lo anterior, la operación minera es atendida tanto en el marco de resguardar y optimizar su operación, su rentabilidad, y su flujo comercial.

Bajo estas consideraciones, el presente estudio atiende la búsqueda de fuentes de aprovisionamiento energético sustentable para dicha operación, que permitan reducir los costos operacionales y atender las potenciales restricciones comerciales y medioambientales (CO₂).

2.1 Visión de la Generación Eléctrica Nacional y su proyección de crecimiento.

2.1.1 Niveles de Generación.

El sistema de generación eléctrica nacional tiene una potencia total de 15.558 MW y está compuesto por 4 sistemas distribuidos a lo largo del país, con coberturas independientes, siendo los sistemas SING y SIC quienes proveen el 99% de la generación país [23].

Sistema	Potencia Instalada	Cobertura
Sistema Interconectado del Norte Grande SING	3.575 MW	I y II Región
Sistema Interconectado Central SIC	11.845 MW	III a la X Región
Sistema Aysén	49 MW	XI Región
Sistema Magallanes	89 MW	XII Región

Tabla 2.1 - Sistemas Generación Eléctrica Nacional (2010)

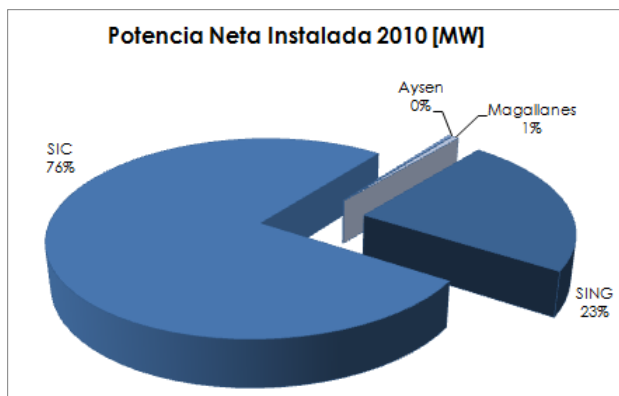


Figura 2.1 - Potencia Eléctrica Neta Instalada 2010

En términos de la tasa de crecimiento de la generación eléctrica, se aprecia que en el periodo 2000-2010 el incremento fue de un 50%, proyectándose que para el periodo 2010-2020 el crecimiento será del orden de un 48%, llegando a 95.000 GWh. Este crecimiento implica, que la tasa de crecimiento anual promedio del SING será de un 4,6%, mientras en el SIC será de 5,4% [6].

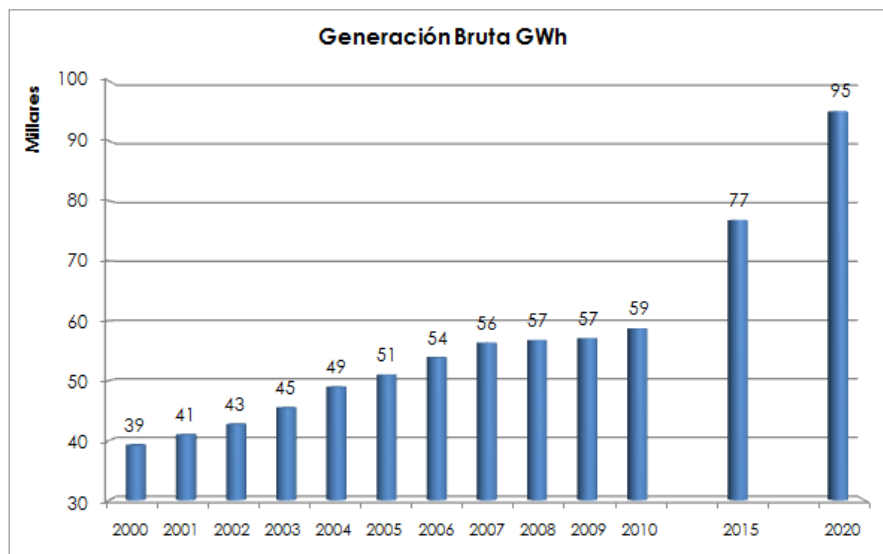


Figura 2.2 - Generación Eléctrica Bruta 2000-2020/CNE

En cuanto a la Matriz Energética sobre la cual se sustenta la generación eléctrica país, se establece que la potencia instalada proviene mayormente de fuentes térmicas e hídricas, tal que las capacidades de generación instaladas [25] son:

- Termoeléctrica 10.020 MW,
- Hidroeléctrica 5.376 MW,
- Eólica 161 MW,
- Renovable 2 MW.

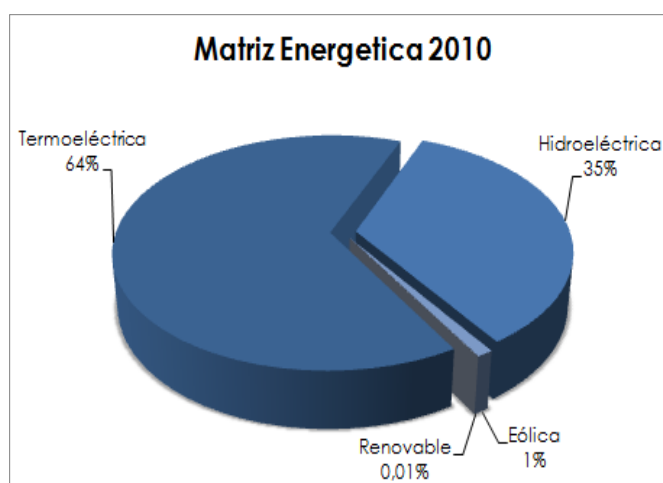


Figura 2.3 - Matriz Energética 2010/CNE

Cabe destacar que, la generación termoeléctrica país está a su vez compuesta por la generación vía diversas fuentes térmicas:

- 49% Gas,
- 25% Carbón,
- 24% Petróleo,
- 2% Biomasa.

En los principales sistemas generadores (SING, SIC), se aprecia que las matrices energéticas de cada sistema presentan distintas distribuciones según la accesibilidad a las diversas fuentes, siendo:

- el SING mayormente térmico (99%), y
- el SIC mayormente hidráulico (45%).

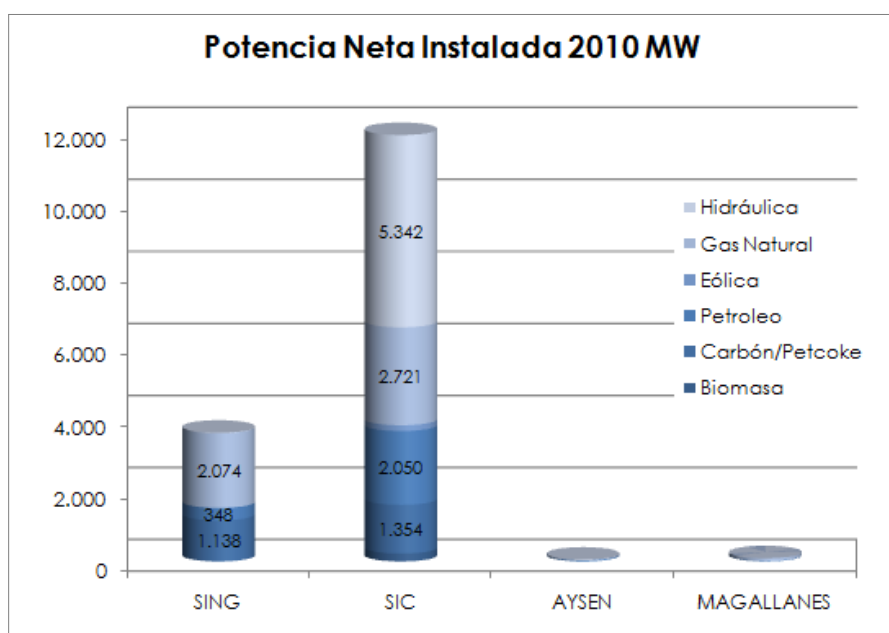


Figura 2.4 - Potencia Eléctrica Neta Instalada 2010/CNE

2.1.2 Comportamiento Precios Energía.

La heterogeneidad en la composición de cada matriz conlleva a tener importantes variaciones a nivel de los Precios Medios de Mercado (PMM) [22], tal que:

PMM SING = 1,12 PMM SIC

Los precios cuya componente es mayormente carbono-intensiva son más altos que los que sustentan su generación en recursos hídricos [24].

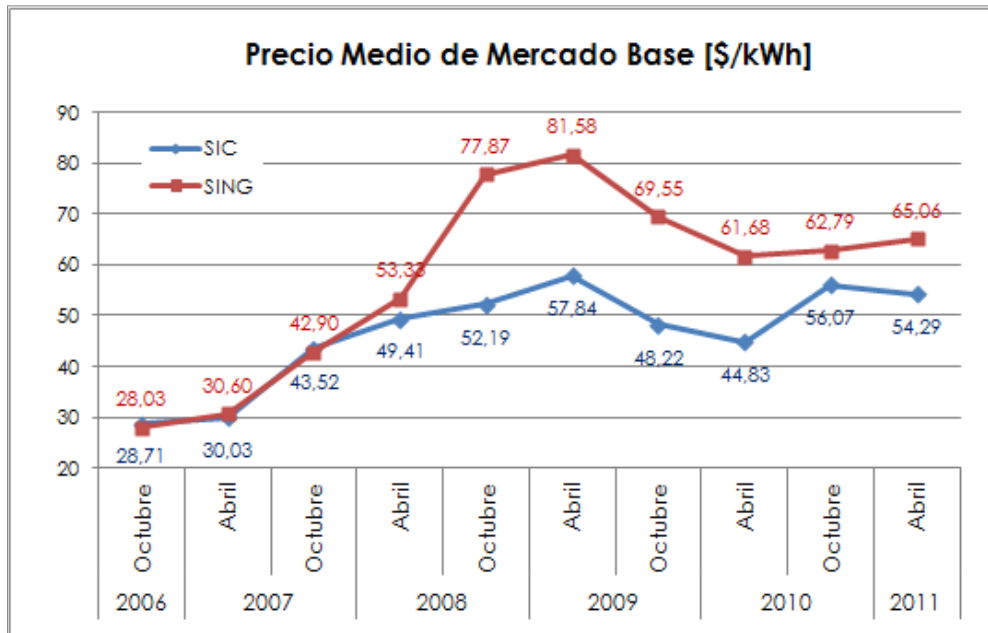


Figura 2.5 - Variación Precio Medio Mercado Base/CNE

2.2 Consumo Eléctrico de la Gran Minería e impacto en demanda país.

2.2.1 Producción de la Gran Minería e impacto en la economía nacional.

La Gran Minería es uno de los principales sectores productivos sobre los cuales se sustenta el desarrollo económico del país, aportando el 20% del PIB [7] y generando el 93% de la producción minera país [8], la cual es mayormente cuprífera [30].

Sector	Nº Empresas	% Producción Cuprífera Nacional
Gran Minería	17 empresas	90 a 94%
Mediana Minería	22 empresas	5 a 9%
Pequeña Minería	-	1%

Tabla 2.2 – Distribución según sector, Minería del Cobre

La minería representa el 65% de las exportaciones totales del país, siendo el cobre el principal producto exportado con un 91% sobre el total de exportación minera.

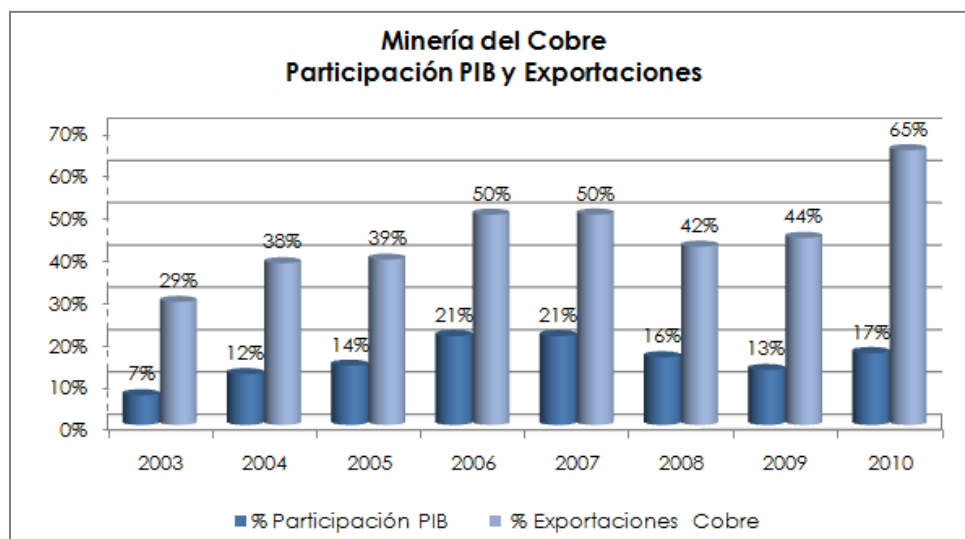


Figura 2.6 - Participación Minería en PIB y Exportaciones 2003-2010/Cochilco

El sector cuprífero ha presentado en los últimos años una tasa de crecimiento anual de un 1,5% promedio [9] y su aporte en el PIB ha aumentado fuertemente, impulsado por el aumento en el precio de la libra de cobre, el incremento en la demanda internacional y el desarrollo de nuevos proyectos de explotación [9].

El crecimiento sostenido del sector se ha sustentado en la fuerte inversión aplicada, tal que la minería ha concentrado el 32% de la inversión extranjera ingresada al país durante el periodo 2000-2009. Cabe destacar que la inversión extranjera durante el 2009 en relación a la efectuada durante el 2000 fue un 400% superior, situación que se espera se incremente dados los proyectos de ampliación o de nuevas faenas en cartera o ejecución.

Durante el 2010 la producción cuprífera ascendió a 5.743 miles toneladas de cobre fino, de las cuales un 73% de la producción se concentra en las regiones I, II y III.

PRODUCCIÓN ANUAL DE COBRE FINO POR REGIONES EN GRAN MINERÍA										
TOTAL COBRE GRAN MINERÍA (TM de Cobre Fino)										
Región	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	% Distrib
I	660.666	635.743	606.305	676.039	597.071	638.315	647.890	671.159	730.739	14%
II	2.204.865	2.084.128	2.339.420	2.700.349	2.862.215	2.858.217	3.104.783	2.822.980	2.879.634	57%
III	309.804	279.167	300.568	282.124	246.209	256.381	251.391	260.400	239.935	5%
IV	396.322	335.611	337.793	362.649	333.869	335.143	300.075	372.256	340.380	7%
V	322.342	286.992	306.070	308.931	314.645	305.167	291.094	269.344	251.094	5%
RM	182.864	181.361	207.846	231.578	227.262	226.017	229.305	233.689	235.490	5%
VI	355.600	334.306	339.440	435.658	437.393	418.332	404.738	381.224	404.035	8%
Total	4.432.463	4.137.308	4.437.442	4.997.328	5.018.664	5.037.572	5.229.276	5.011.052	5.081.307	100%

Fte.: SERNAGEOMIN/SONAMI

Tabla 2.3 - Producción Anual Cobre Fino por Región / Sernageomin, Sonami

2.2.2 Proyección Producción Cuprífera 2010-2020.

Para el 2020 se proyecta un incremento de la producción de un 27%¹ por sobre la producción del 2010, esencialmente aportado por las nuevas faenas.

A nivel de productos finales, la proyección indica un crecimiento del 60% a nivel concentrado y una disminución de un 28% en Cátodos SxEw.

PRODUCTO	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Concentrados	3.277	3.582	3.749	3.783	4.014	4.478	4.724	5.233	5.650	5.771	5.866	5.732
Cátodos SxEw	2.113	2.161	2.119	2.130	2.015	2.005	2.033	1.976	1.929	1.745	1.673	1.554

Millones de toneladas de Cu fino al año
Fte: Cochilco - "Inversión Minería Chilena del Cobre y del Oro Proyección del período 2010 – 2015 Actualizada Mayo 2010"

Tabla 2.4 - Proyección TFM Productos Finales de Cobre 2009-2020/Cochilco

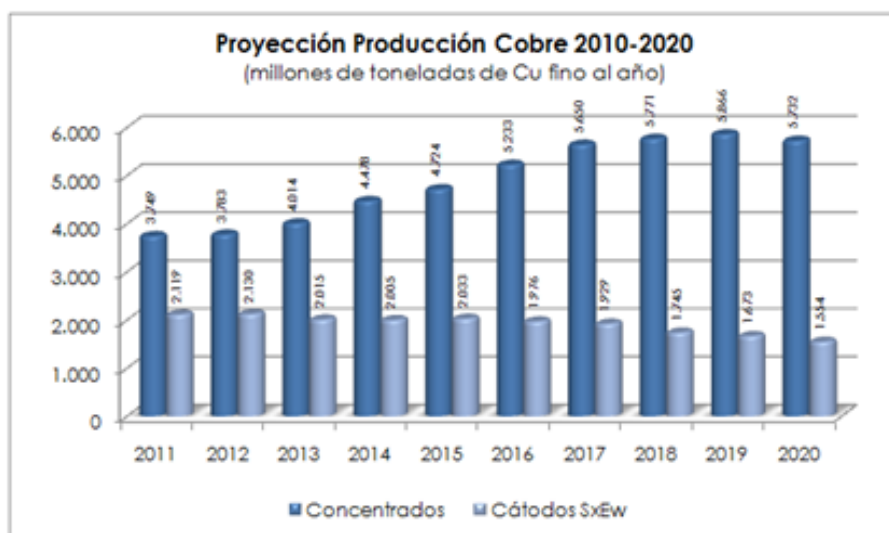


Figura 2.7 - Proyección TFM Productos Finales de Cobre 2009-2020/Cochilco

En cuanto a la producción regional, el crecimiento se concentra en torno a la I y V Región, tal que entre la I y II regiones el aumento debiese ser de 643 MTM (incremento 16%) mientras entre la III y V regiones debiese ser de 1.096MTM (incremento 131%) [11].

¹ Aumento de un 60% en concentrados y disminución de un 28% en Cátodos SxEw.

² Reología: estudio de la deformación y el fluir de la materia.

³ Estudio Cochilco - Consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la minería, año 2009

Región	PROYECCIÓN PRODUCCIÓN REGIONAL COBRE MINA AL AÑO 2020 (Miles TM Cobre Fino)												% Var 2009-2020
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
I	731	728	700	650	735	827	794	784	982	1.104	1.236	1.206	65%
II	2.880	3.116	3.161	3.191	3.109	3.280	3.327	3.500	3.682	3.574	3.478	3.281	14%
III	240	354	326	265	350	547	684	809	824	799	775	752	213%
IV	340	449	542	567	549	536	522	521	521	517	506	506	49%
V	251	310	341	343	328	308	458	669	663	667	685	672	168%
RM	235	229	229	294	375	402	429	417	412	392	392	392	66%
VI	404	415	427	468	451	451	411	375	362	330	336	345	-15%
s/asig.		142	142	135	132	132	132	132	132	132	132	132	-
Total	5.081	5.743	5.868	5.913	6.029	6.483	6.757	7.207	7.578	7.515	7.540	7.286	27%

Fte: Cochilco "Inversión en la Minería Chilena del Cobre y del Oro/Proyección del período 2010 – 2015"

Tabla 2.5 - Proyección Producción Regional de Cobre de Mina 2009-2020/Cochilco

2.2.3 Consumo de Energía Eléctrica de la Gran Minería del Cobre.

La Gran Minería del Cobre es un consumidor intensivo de energía eléctrica, comprometiendo el 34% de la generación eléctrica nacional (2009: 66.000 Terajoule), consumo que impacta fuertemente sus costos operacionales, tal que entre un 8 a un 15% de este es por concepto de energía [28,54].

En el periodo 2001-2009, el consumo de energía eléctrica por parte del sector cuprífero se incrementó en un 44,5%, del cual un 54% del incremento fue sobre el consumo SING, y el 27% sobre el consumo SIC. Este crecimiento se generó esencialmente a partir de:

- el aumento de un 14% de la producción en el mismo periodo, y
- un incremento en los consumos promedio de energía por tonelada tratada.

Cabe destacar que, los consumos promedio por tonelada tratada en los procesos de extracción y concentración han aumentado entre un 9 a un 34% en relación a los valores del año 2001, incrementos que encuentran su justificación en la disminución de las leyes de los minerales y en la ampliación de las faenas por avance de explotación [27].

En relación a esta tendencia alcista en los consumos, es dable pensar que debiese mantenerse en los años venideros, particularmente sobre la proyección de disminución de un 15% de las leyes del mineral para el periodo 2011-2015 [10,11].

CONSUMO ENERGÍA ELÉCTRICA POR TON. DE MATERIAL EXTRAÍDO Y PROCESADO POR PROCESO										% Var 2009_2001
Coeficientes Unitarios Promedio Ponderado - Minería del Cobre										
Megajoule/TMF	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	
Mina Rajo (mineral extraído)	4,6	4,6	5,2	5,8	5,9	5,8	5,8	5,4	5,3	15%
Mina Subterránea (mineral extraído)	14,0	14,4	14,9	13,3	16,2	17,1	17,1	20,7	18,8	34%
Mina (mineral extraído)	6,0	6,0	6,5	6,9	7,2	7,2	7,2	6,8	6,6	10%
Concentradora (mineral procesado)	67,2	69,6	71,5	70,0	69,9	72,0	73,6	76,8	73,4	9%
Fundición (concentrados proc.)	1.143	1.205	1.221	1.219	1.182	1.179	1.207	1.229	1.112	-3%
LX / SX / EW (en cátodos SX-EW))	64,5	62,6	61,0	61,2	51,7	51,7	49,6	42,5	45,1	-30%

Fte: Cochilco Anuario 2009

Tabla 2.6 - Consumo de Energía Eléctrica por Tonelada de material tratado en cada proceso

2.2.4 Proyección Consumo Eléctrico 2010-2020 del sector minero cuprífero.

El aumento de producción proyectado para el año 2020 asciende a un 27% por sobre nivel del año 2010, implicando un aumento en la demanda eléctrica del sector de un 35%.

Este crecimiento de la demanda eléctrica deberá ser atendido por los 2 principales sistemas de generación, en el marco de que:

- del orden del 61% de la producción 2020 estará concentrada entre la I y II región, producción que deberá ser atendida por el sistema SING,
- solo el 38% restante deberá ser abastecido de energía proveniente del sistema SIC.

Región	PROYECCIÓN PRODUCCIÓN REGIONAL COBRE MINA AL AÑO 2020 (Miles TM Cobre Fino)												
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
I	731	728	700	650	735	827	794	784	982	1.104	1.236	1.206	SING
II	2.880	3.116	3.161	3.191	3.109	3.280	3.327	3.500	3.682	3.574	3.478	3.281	
III	240	354	326	265	350	547	684	809	824	799	775	752	SIC
IV	340	449	542	567	549	536	522	521	521	517	506	506	
V	251	310	341	343	328	308	458	669	663	667	685	672	
RM	235	229	229	294	375	402	429	417	412	392	392	392	
VI	404	415	427	468	451	451	411	375	362	330	336	345	
s/asig.		142	142	135	132	132	132	132	132	132	132	132	
Total	5.081	5.743	5.868	5.913	6.029	6.483	6.757	7.207	7.578	7.515	7.540	7.286	

Fte: Cochilco "Inversión en la Minería Chilena del Cobre y del Oro/Proyección del período 2010 – 2015

Tabla 2.7 - Proyección Producción Regional Cobre Mina según Sistema Interconectado

La proyección del consumo de energía eléctrica asociada a la minería cuprífera para los próximos años (sobre la base del consumo 2010), indica que:

- el consumo total se incrementará en un 35% (25.452 TJ),
- el consumo del SING aumentará en un 27% (12.096 TJ), y
- el consumo del SIC aumentará en un 49% (13.356 TJ).

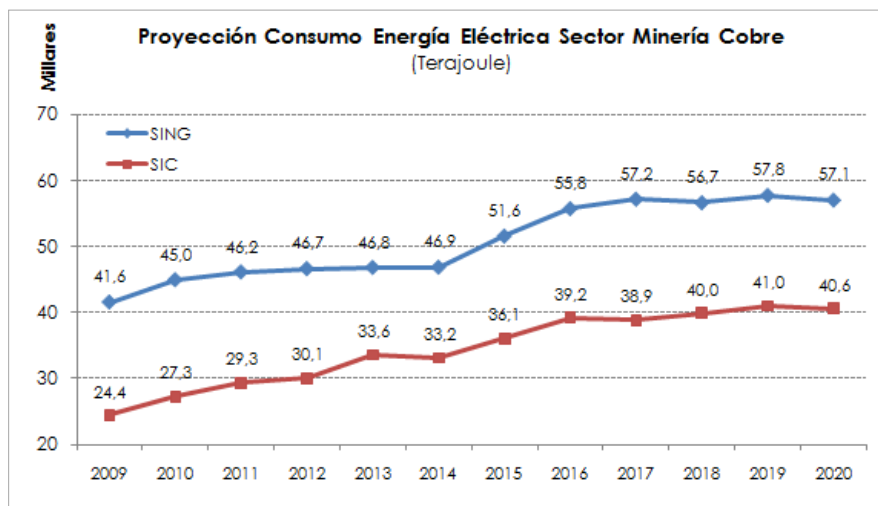


Figura 2.8 - Proyección Consumo Energía Eléctrica Sector Minería del Cobre/ Cochilco 2010

Esta proyección sobre la demanda eléctrica se sustenta en los aumentos de producción proyectados y en la variación de los coeficientes de consumo promedio de energía por tonelada tratada, coeficientes que tienen incrementos anuales de un 1,5 a 2% en los procesos de consumo eléctrico intensivo.

KWH/Ton Cu fino	Proyección Coeficientes Unitarios por Sistemas Eléctricos Interconectados					
	SIC			SING		
	2008	2020	%Var Anual	2008	2020	%Var Anual
Concentrados	3.244,8	4.298,2	2,37%	2.224,1	2.789,3	1,90%
Fundición	978,3	1.014,2	0,30%	1.281,4	1.563,6	1,67%
Ánodos/Blíster/Raf	4.323,4	5.445,3	1,94%	3.574,3	4.439,2	1,82%
Refinería	368,8	352,8	-0,37%	345,0	370,4	0,59%
Cátodos Er	4.713,9	5.825,4	1,78%	3.937,2	4.831,8	1,72%
Cátodos Sxew	3.908,3	4.916,5	1,93%	3.430,3	3.845,8	0,96%
Servicios	136,1	124,6	-1,23%	167,3	192,3	1,16%

Fte: Cochilco

Tabla 2.8 - Proyección Coeficientes Unitarios por Sistema Interconectado

2.2.5 Incremento Parque Generación SING/SIC – Inversiones.

Para satisfacer las demandas venideras del sector productivo nacional, y en particular las asociadas al sector minero, el sector eléctrico está desarrollando nuevas inversiones tanto a nivel de establecer nuevas centrales, como de asegurar la continuidad operacional migrando a fuentes de generación térmica carbono-dependientes [24].

En este norte, las iniciativas consideran:

a. Ampliación Plataforma de Generación SING.

2011 -....	Incorporación de 598 MW de potencia bruta en centrales térmicas a carbón.
2011- 2012	Incorporación de 264 MW adicionales de capacidad bruta.
2012 -....	198 MW en construcción, 3.021 MW con SEIA aprobado, 826 MW con evaluación SEIA en curso. El monto total de inversión asciende a 8.461 MMUS\$.

b. Ampliación Plataforma de Generación SIC.

2012 -....	2.265 MW en construcción, 11.135 MW con SEIA aprobado, 2.885 MW con evaluación SEIA en curso. El monto total de inversión asciende a 25.919 MMUS\$.
------------	--

Cabe señalar que el 44% de la generación adicional es de naturaleza térmica a carbón.

c. Interconexión SING-SIC.

Iniciativa de interconexión SING-SIC, que busca equilibrar la generación a lo largo del país. Su costo se estima entre 800 a 1.000 MMUS\$ [12].

2.3 Visión de la emisión de gases invernadero asociados a la minería y sus costos directos e indirectos.

Hoy en día el registro, seguimiento y gestión de las emisiones de gases GEI asociadas a la explotación y producción minera cobra especial relevancia, dado los mercados clientes y sus regulaciones en el marco de promover y favorecer la producción libre de carbono.

Durante los últimos años, organismos internacionales y algunos países y comunidades han empezado a desarrollar e implementar normativas restrictivas tanto a las producciones locales como a las importaciones, siendo la Comunidad Económica Europea y EEUU pioneros en este proceso.

En este escenario, las exportaciones mineras chilenas se verán prontamente afectadas por estas regulaciones, pudiendo derivar en:

- ingreso de productos restringido, y/o
- encarecimiento por concepto de gravámenes, multas o habilitaciones.

Cabe señalar que el 34% de los embarques van a mercados europeos o americanos, mercados que ya están empezando a aplicar normativa “Carbono resistente”.

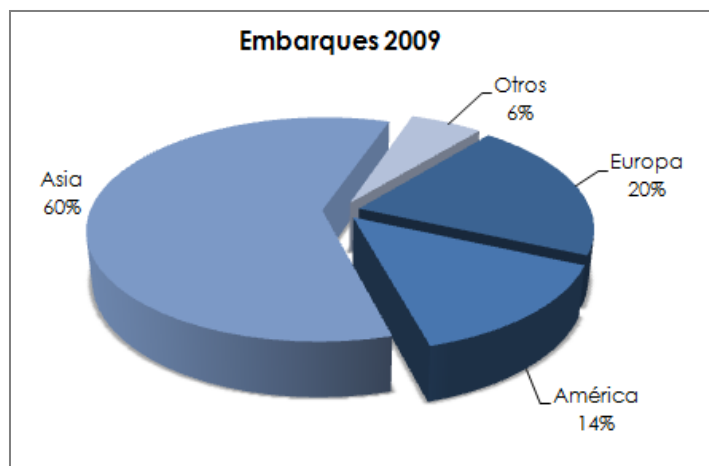


Figura 2.9 - % embarques Cobre 2009 según continente destino

2.3.1 Emisiones de Gases GEI asociadas a la minería y factores que inciden en ella.

La Gran Minería nacional es una de las principales fuentes de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), tanto en forma directa como indirecta. Sus principales fuentes radican en la operación misma de los procesos mineros, y en los mecanismos de generación eléctrica asociados a la energía eléctrica que consumen.

El nivel de emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) asociado a la minería durante el 2009 ascendió a 17,4 millones de toneladas de CO₂, 24% por emisión directa y 76% por emisión indirecta (generación eléctrica) [29,26].

Cabe señalar que, durante los últimos años la incidencia de las emisiones indirectas ha crecido, particularmente por:

- incremento de la demanda eléctrica,
- cambio en la composición de la matriz energética,
- Mayor parque de generación carbono-intensiva en la matriz nacional,
- Incremento en los coeficientes de consumo energético del proceso minero (KW/ton).

EMISIONES TOTALES GASES DE EFECTO INVERNADERO - MINERÍA DEL COBRE										% Var 2008_2000
Millones de TM de CO2 equivalente										
Emisiones	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
Directas	2,98	2,91	2,89	2,97	3,02	3,06	3,28	3,84	4,08	37%
Indirectas	7,33	5,98	6,76	6,76	8,48	8,09	9,38	12,42	12,94	77%
Total	10,31	8,89	9,65	9,73	11,51	11,15	12,66	16,26	17,02	65%

Fte : Cochilco

Tabla 2.9 - Emisiones Gases GEI de la Minería del Cobre 2000-2008/Cochilco

A nivel de los procesos mineros, los mayores coeficientes de emisión se concentran en torno a aquellos con mayor consumo de energía eléctrica, presentando variaciones en el marco de la composición de la matriz energética.

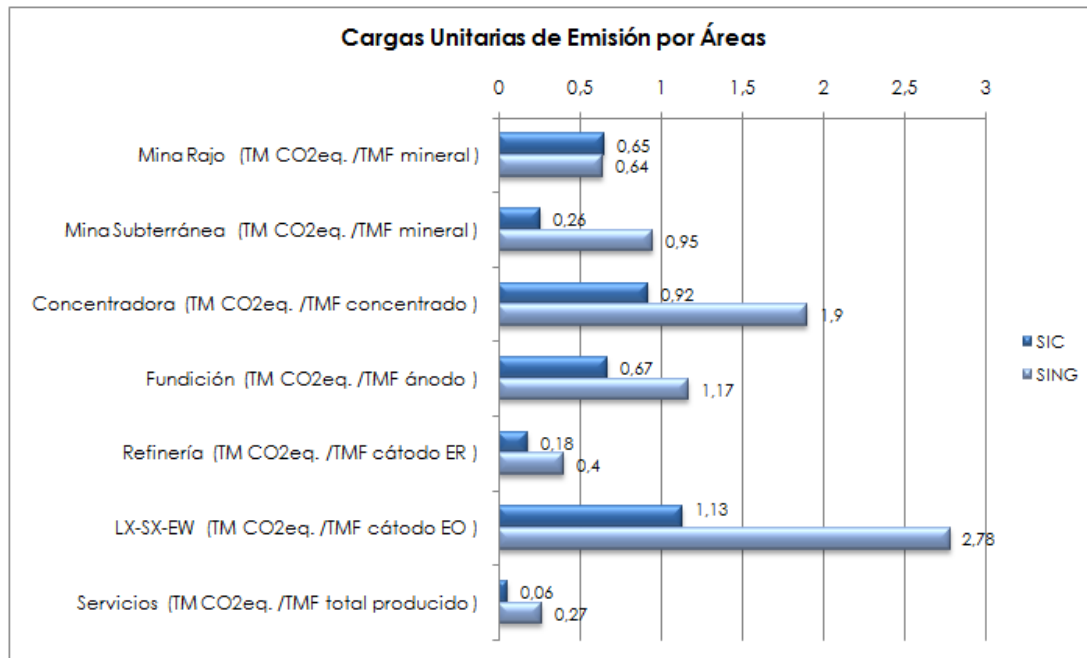


Figura 2.10 - Cargas Unitarias de CO2 por proceso productivo minero/ Cochilco 2009

Para las emisiones directas, la tasa de toneladas métricas finas que deben ser procesadas para emitir 1 tonelada de CO₂ ha disminuido a un 59% (2001-2008), tal que para obtener 1 TMF se genera un 70% más CO₂.

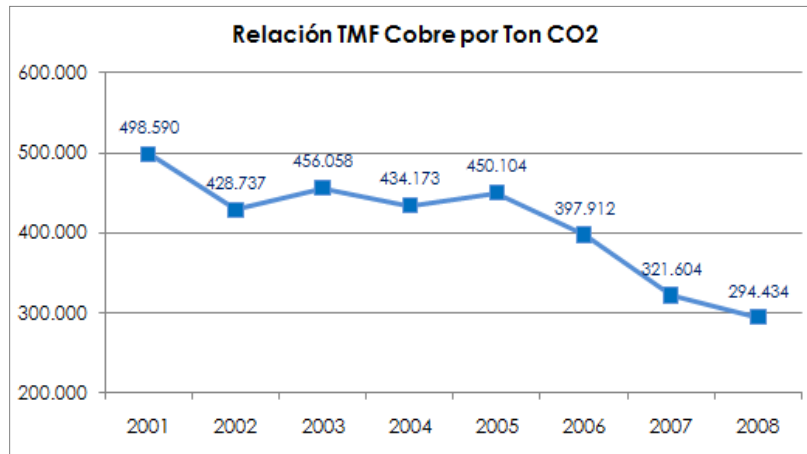


Figura 2.11 - Relación TMF de Cobre por Tonelada CO2, 2001-2008

En cuanto a las emisiones indirectas, estas aportan el mayor porcentaje de las emisiones GEI totales, dado el alto consumo eléctrico del sector minería.

Estas emisiones se han incrementado en un 77% en relación al año 2000, impulsada por el aumento del nivel de generación, así como la migración de la generación termoeléctrica desde la fuente gasífera a la fuente carbono intensiva.

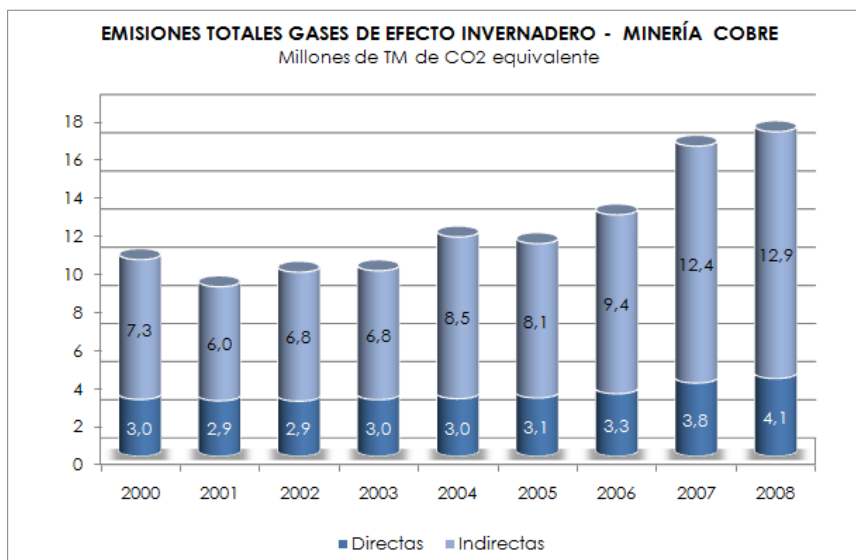


Figura 2.12 - Emisiones Directas e Indirectas Sector Minería Cobre

Cabe destacar que a nivel país, la emisión de CO₂ por kWh de energía eléctrica está entre 0,3-0,9 kg/kWh según la matriz energética vigente:

- 0,9 kg/kWh en el SING, y
- 0,3 kg/kWh en el SIC.

2.3.2 Proyección Emisiones Gases GEI asociadas a la minería 2010-2020.

Dado el aumento de producción esperado para el período 2010-2020 de un 27% por sobre nivel del año 2010, y de las variaciones en las matrices energéticas de los sistemas SING y SIC, se proyecta un aumento de la emisión de gases GEI de un 210% (en relación al 2008) llegando a 36,54 millones de toneladas de CO₂ en el 2020 [13,26].

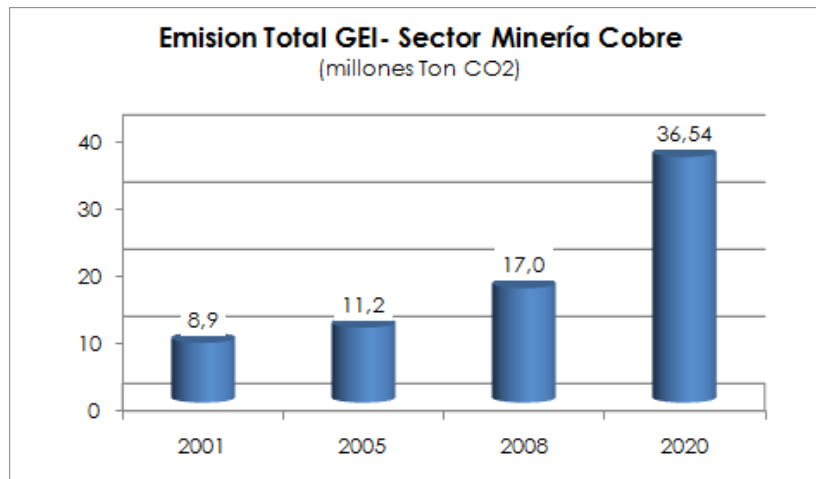


Figura 2.13 - Matriz Energética SING 2009 y 2020

Este fuerte incremento estará cimentado en:

- el aumento de producción minera,
- el aumento de coeficiente Ton CO₂ por TMF obtenida dadas las condiciones de reducción de ley de mineral, extensión de faena, etc.,
- el aumento del porcentaje de generación carbono intensiva en el sistema de generación nacional, particularmente en el SING.

Cabe destacar que para el año 2020, la matriz de generación del SING se proyecta migre a un escenario carbono intensivo a raíz de los inconvenientes de abastecimiento del gas natural, tal que un 88% sea carbono-intensiva.

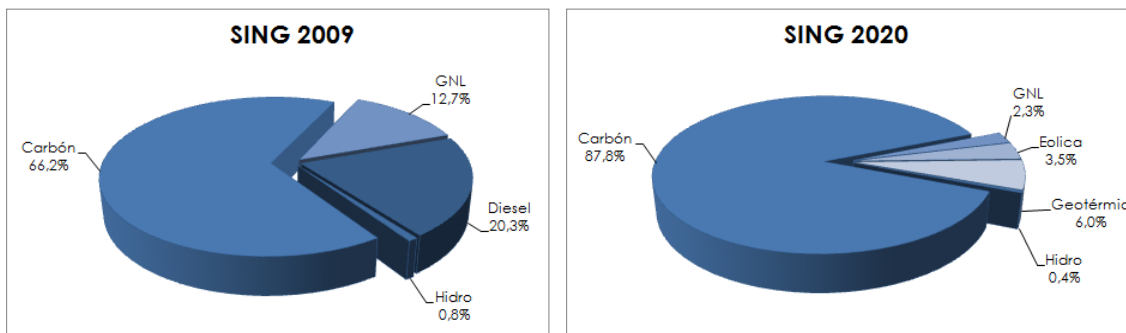


Figura 2.14 - Matriz Energética SING 2009 y 2020

Es esta migración la que incide fuertemente en el aumento de emisiones de CO₂ indirectas de la minería localizada entre la I y II Región, dado que la generación de carbón es la más contaminante, emitiendo 1.000 grms de CO₂ por kWh a diferencia del Gas (400 grms/kWh) o el Diesel (800 grms/kWh) [14].

2.3.3. Implicancias Comerciales en torno a las emisiones de CO₂ del sector minero cuprífero.

En los últimos años el “calentamiento global” y la preocupación que este genera a nivel mundial, ha promovido diversas iniciativas tendientes a regular y disminuir la emisión de gases GEI, principal causante de este calentamiento.

Estas iniciativas se han dado con mayor fuerza en las economías desarrolladas, principales clientes del sector minero nacional, y apuntan a:

- visibilizar las toneladas de CO₂ que los distintos productos han generado en su producción y traslado,
- incentivar o bloquear las importaciones de estos productos, y/ó
- gravar a los productos en función de estos niveles.

En este momento, estas iniciativas están en una fase de desarrollo primario y están siendo aplicadas algunas de ellas en otros sectores distintos al sector minero (ej.: alimentación), pero se estima que prontamente deberá verse impactado por ellas.

Algunas de estas iniciativas son:

- Comunidad Económica Europea, inicio el proceso de exigir la declaración de la Huella de Carbono en todos los productos importados. Ej.: Durante el 2011, Francia está exigiendo que los productos rotulen su huella de carbono.
- Plan 20-20-20 - Unión Europea, la cual propone recortar las emisiones de CO₂ en un 20%, mejorar la eficiencia energética en un 20% y que la generación eléctrica vía ERNC ascienda a un 20% de la energía total consumida, medidas todas que pueden ser extendidas a las importaciones en algún momento.
- Ley Waxman-Markey - USA, la cual establece un mercado a escala nacional de cuotas permitidas de emisiones de carbono, que cuando son excedidas deberán comprar el permiso para las emisiones excedentes. Esta ley podría ser extendida a las importaciones.
- Ley Grenelle - Francia, la cual establece la obligación de etiquetado y una barrera arancelaria a todo producto dentro o fuera del país, que contribuyan a la emisión de gases (GEI).
- Ley en proceso - Estados Unidos, la cual establece que a partir del 2020 las importaciones que provengan de países que no tienen obligaciones de reducción de emisiones comparables a EEUU, deberán comprar compensaciones de reducción.
- ONU, está proponiendo la implantación de un impuesto a las emisiones de CO₂.

Cabe destacar que:

- hasta el momento las exigencias de “Declaración de Huella de Carbono” todavía no son exigidas a las importaciones de cobre. Las principales compañías mineras nacionales ya se encuentran efectuando las primeras mediciones de ella,
- el concepto de “Huella de Carbono” está recién siendo aplicado al comercio internacional como un factor de decisión en la compra de los consumidores de EEUU y Europa.

Hoy en día Chile está abordando como primeros pasos la medición y sensibilización en torno a la generación de CO₂.

Dentro de las primeras acciones estuvo generar el concepto de “Factor de Emisión” asociado a la generación tanto del SING como del SIC, factor que informa periódicamente la emisión de CO₂ por cada MW generado. Esta iniciativa fue liderada por el Ministerio de Energía a través del Programa País de Eficiencia Energética y contó con la asistencia técnica del Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Factor de Emisión = Toneladas de CO₂ que se emiten por cada MWh generado por sistemas eléctricos.

Factor de Emisión (SIC 2009) = 0,48 Ton CO₂/MWh
Factor de Emisión (SING 2009) = 0,51 Ton CO₂/MWh

El objetivo de este factor es formalizar la base de cálculo de las reducciones de CO₂ en proyectos transables en los mercados de carbono, facilitando la acreditación de proyecto en el marco de Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL).

1 Tonelada de CO₂ equivale a US\$ 15 (valor 2009)

CAPITULO 3 RECUPERACIÓN ENERGÉTICA

3.1 Concepto de “Recuperación Energética”.

El concepto base del presente estudio corresponde a la “Recuperación Energética”, en el marco de aprovechar distintos tipos de energía presentes en el proceso minero para la generación eléctrica a partir de ellos. El concepto de “Recuperación Energética” busca potenciar el autoabastecimiento de un porcentaje de la energía eléctrica requerida por el proceso.



Figura 3.1 - Recuperación Energética en la Minería

Hoy en día existen 2 tendencias importantes en el sector, en pos de optimizar consumo y/o demanda de generación:

- la reducción o eficiencia de los consumos, y
- la recuperación energética.

A diferencia de las iniciativas de “Reducción/Eficiencia Consumos”; las cuales buscan una disminución de los consumos; las iniciativas de “Recuperación Energética” atienden la liberación de un porcentaje de la demanda sobre los sistemas de generación.

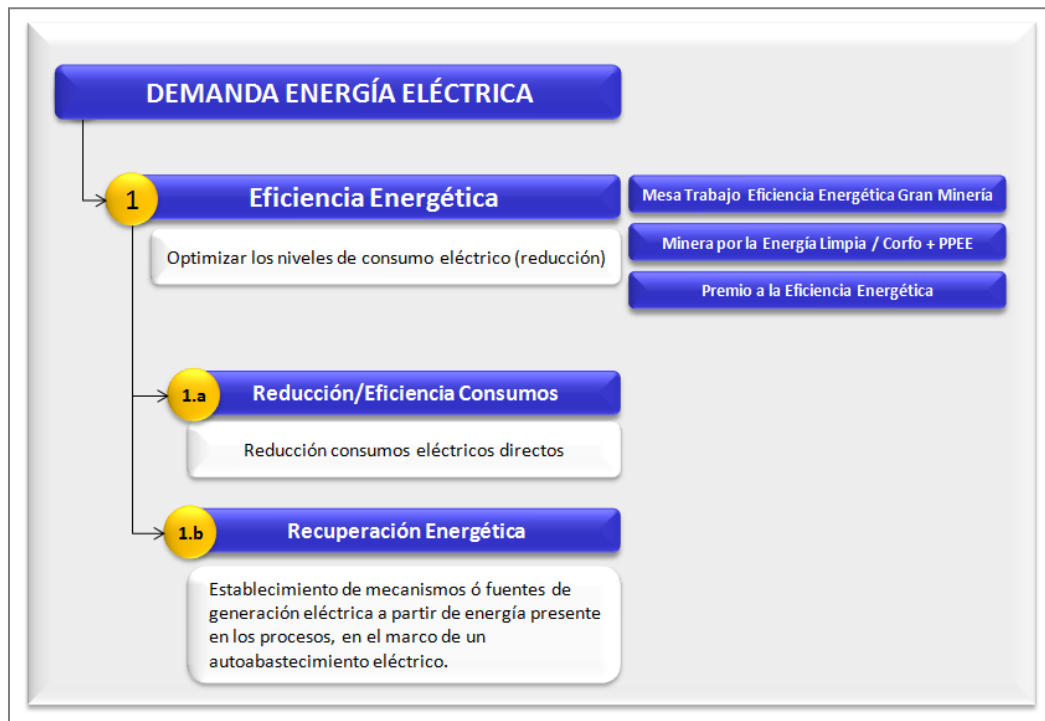


Figura 3.2 - Minería / Iniciativas en torno a la Optimización del Consumo Energético

Cabe destacar que, ambos flancos de acción buscan la optimización del consumo energético y de aquellos aspectos derivados tales como: niveles de generación, niveles de costos asociados, niveles de emisión de gases GEI, etc.

Dado el escenario productivo minero y el escenario de generación eléctrica, existen varias iniciativas tendientes a reducir los consumos eléctricos de los diversos procesos productivos, iniciativas todas bajo el concepto de “Eficiencia Energética”:

- Mesa de Trabajo de Eficiencia Energética en la Gran Minería, destinada a: apoyar la gestión en el uso de la energía, estudiar la aplicación de indicadores de eficiencia energética, promover el desarrollo de proyectos de Eficiencia Energética.
- Iniciativa Minera por la Energía Limpia (IMEL, CORFO + PPEE)
- Premio a la Eficiencia Energética (CORFO).

Chile ha definido como uno de sus objetivos país incorporar y reforzar el concepto y aplicación de la “Eficiencia Energética” en pos de lograr la iniciativa 20/20 ERNC: 20% de la generación eléctrica total a partir de ERNC.

[56, 57, 58, 60]

3.1.1 NegaWatts – Cuantificación de la Eficiencia Energética.

En el marco de cuantificar la aportación de la Eficiencia Energética, se definió el concepto “Negawatts”, el cual establece el ahorro energético logrado por estas iniciativas. Este concepto busca poner en valor a la reducción en los consumos sobre las unidades abastecedoras de energía [59].

1 Negawatt corresponde a la reducción de 1 Watt

Según lo indicado, la generación de negawatts puede radicar principalmente en:

- aumentos de eficiencia en los procesos productivos, o en
- autoabastecimiento energético que reduce demanda o que inyecta energía a la red.

Cabe destacar que la operación de esta medición, en conjunto con las iniciativas medioambientales y regulatorias sobre el sector generador, ha dado origen a un incipiente mercado en el cual se transan “Certificados de Negawatts” (CNW=1MWh de ahorro).

3.2 Marco Regulatorio y de Incentivos asociado a la Eficiencia Energética.

Chile durante los últimos años ha abordado el tema de la Eficiencia Energética, tanto desde una óptica país como en forma sectorial.

Hoy en día, los organismos relacionados al tema son:

- Ministerio de Energía,
- Comisión Nacional de Energía, cuyo rol es fijar y controlar generación, tarifas,
- Corfo, vía la operación de herramientas de inversión,
- Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE), cuyo rol es promover, fortalecer y consolidar el uso eficiente de la energía articulando a los actores relevantes, e implementando iniciativas público privadas en los distintos sectores de consumo energético.

Las iniciativas están enfocadas a potenciar:

- la aplicación de ERNC,
- la Eficiencia Energética,
- la Sustentabilidad Energética,

iniciativas que están muy ligadas a los temas de generación contempladas en el presente estudio,

Cabe destacar la definición de Energías Renovables No Convencionales (ERNC), contenida en la Ley 20.257:

“Los medios de generación renovables no convencionales son:

- Aquellos cuya fuente de energía primaria sea la energía de la biomasa, correspondiente a la obtenida de materia orgánica y biodegradable, la que puede ser usada directamente como combustible o convertida en otros biocombustibles líquidos, sólidos o gaseosos. Se entenderá incluida la fracción biodegradable de los residuos sólidos domiciliarios y no domiciliarios.
- Aquellos cuya fuente de energía primaria sea la energía hidráulica y cuya potencia máxima sea inferior a 20 MW.
- Aquellos cuya fuente de energía primaria sea la energía geotérmica, entendiéndose por tal, la que se obtiene del calor natural del interior de la tierra.
- Aquellos cuya fuente de energía primaria sea la energía solar, obtenida de la radiación solar.
- Aquellos cuya fuente de energía primaria sea la energía eólica, correspondiente a la energía cinética del viento.
- Aquellos cuya fuente de energía primaria sea la energía de los mares, correspondiente a toda forma de energía mecánica producida por el movimiento de las mareas, de las olas y de las corrientes, así como la obtenida del gradiente térmico de los mares, y
- Otros medios de generación determinados fundadamente por la CNE, que utilicen energías renovables para la generación de electricidad, contribuyan a diversificar las fuentes de abastecimiento de energía en los sistemas eléctricos y causen un bajo impacto ambiental, conforme a los procedimientos que establezca el reglamento.”

3.2.1 Marco Regulatorio y de Incentivos asociados.

Normativa asociada a la Generación vía ERNC.

En atención a los temas de interés, se identifican:

Leyes de fomento a las ERNC:

- Ley 19.657 de 2000, sobre concesiones de energía geotérmica
- Ley 19.940 de 2004 “Ley Corta I”, la cual libera del pago de peajes de transmisión a las centrales de generación con ERNC y pequeñas hidráulicas de potencia menor a 20 MW.
- Decreto Supremo N° 244, enero 2006, que establece el reglamento para medios de generación no convencionales y pequeños medios de generación establecidos en la Ley General de Servicios Eléctricos.
- La ley 20.257 (abril 2008), que declara la exigencia de que un 5% de la generación eléctrica provenga de ERNC (Energías Renovables No Convencionales) para el periodo 2010-2014, aumentando progresivamente hasta llegar a un 10% en el 2024.

- Resolución Exenta N°1278, que establece normas para la adecuada implementación de la Ley N° 20.257 que introdujo modificaciones a la Ley General de Servicios Eléctricos respecto de la Generación de Energía Eléctrica con Fuentes de Energías Renovables no Convencionales.

Leyes de fomento a la Eficiencia Energética:

- Modificación a la Ley General de Servicios Eléctricos, a través de la Ley N° 20.018 (Ley Corta II). Se agregó el Artículo 90 Bis que otorga el derecho a los generadores de electricidad para ofrecer incentivos a los consumidores regulados, para que éstos voluntariamente reduzcan o aumenten sus consumos. Su objetivo es introducir una mayor eficiencia llevando a los consumidores una señal de precio acorde con los costos de generación de corto plazo.

Iniciativas de Apoyo a la Generación vía ERNC y Eficiencia Energética.

Las herramientas de apoyo que el estado ha implementado para apoyar las ERNC o la Eficiencia Energética son:

Organismo	Iniciativa
Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE)	<p>Apoyo implementación de sistemas de gestión de energía en empresas energo-intensivas</p> <p>Programa piloto de apoyo en la implementación de un Sistema de Gestión de la Energía basado en la nueva norma ISO 50001 (Energy Management Systems), en empresas cuyos consumos energéticos sean significativos a nivel nacional y que pertenezcan al Sector Industria y Minería.</p> <p>Implementación proyectos de inversión en Eficiencia Energética</p> <p>Apoyo a la implementación de medidas de eficiencia energética (EE) en seis empresas del sector industrial, que cuenten con auditorías energéticas previas. Para este efecto se dispuso de un cofinanciamiento de un 40% de la inversión de los proyectos, con un tope de \$40.000.000.</p>
Corfo	<p>Programa de Preinversión en Eficiencia Energética</p> <p>Apoyo a la optimización del consumo energético y la reducción de costos asociados a su uso, que permita a las pymes identificar diversas alternativas de inversión y evaluarlas técnica, económica y financieramente.</p> <p>Subsidia estudios de eficiencia energética orientados a optimizar su consumo.</p> <p>Subsidia consultorías para: auditoría de eficiencia energética; plan de implementación de las medidas de eficiencia energética; proyecto de inversión para presentar a una fuente de financiamiento.</p> <p>Programa de Preinversión en Energías Renovables No Convencionales (ERNC)</p> <p>Apoyo a proyectos para la generación de energía a partir de fuentes renovables, que sean elegibles de acuerdo al Protocolo de Kyoto, subsidiando estudios de Pre Inversión o asesorías especializadas.</p> <p>Subsidia proyectos que busquen generar energía en base a fuentes renovables: geotérmica, eólica, solar, biomasa, mareomotriz, pequeñas centrales hidroeléctricas, y otras similares determinadas por la Comisión Nacional de Energía (CNE), con excedentes de potencia iguales o inferiores a 20.000 kw.</p>

Sector Minería	<p>“Protocolo de Acuerdo para la Eficiencia Energética en la Gran Minería”, actividad impulsada por el Programa País de Eficiencia Energética (PPEE) de la Comisión Nacional de Energía (CNE).</p> <p>Acuerdo que:</p> <ul style="list-style-type: none"> - incentiva y promueve las investigaciones que apunten a la identificación de las mejores prácticas en materia de Eficiencia Energética para el sector minero; - impulsa el desarrollo de proyectos y difunde sus resultados, así como evalúa la implementación de programas pilotos que se desarrollen en esta área y que requieren de la participación de privados; - favorece el desarrollo tecnológico e innovador en materia de Eficiencia Energética para la minería, además de favorecer el desarrollo de una cultura de esta índole en las empresas mineras.
-------------------	---

Tabla 3.1 - Iniciativas de Apoyo a la Generación vía ERNC y Eficiencia Energética

Se aprecia que el mayor porcentaje de las iniciativas están orientadas a la exploración y estudio, y en un menor porcentaje orientadas al apoyo de la implementación o ejecución de proyectos.

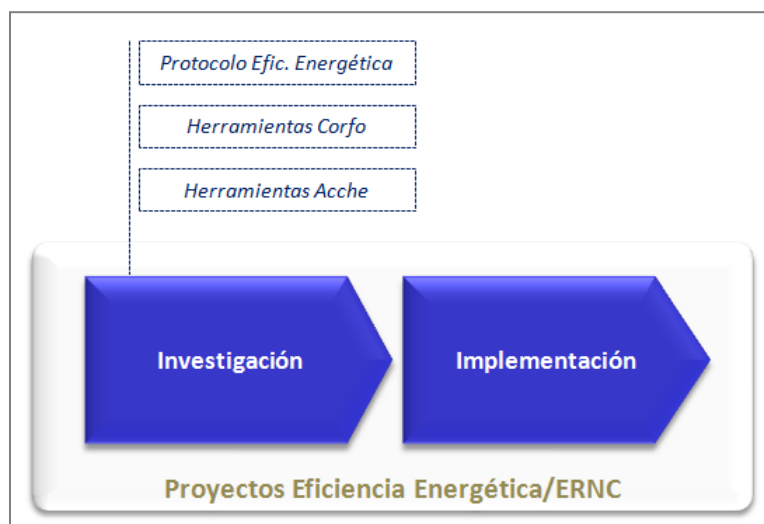


Figura 3.3 - Fuentes de Financiamiento Proyectos Eficiencia Energética

3.2.2 Análisis de Aplicabilidad de la normativa e incentivos en torno a las ERNC y “Eficiencia Energética” a la “Recuperación Energética”.

Analizadas las iniciativas públicas y privadas, se establece que un alto porcentaje está orientado a incentivar y apoyar la implementación de generación vía ERNC, y un porcentaje menor a la utilización de otras fuentes No Convencionales, marco en que se ubican las iniciativas de recuperación energética.

Si bien en los últimos años la atención sobre identificar y utilizar potenciales fuentes de generación presentes en los procesos industriales ha crecido, aun no existen mecanismos de apoyo a su evaluación o implementación.

Por lo anterior, se estima que la normativa existente solo puede fomentar la “Recuperación Energética” sobre la base de ser otra vía de aportación al cumplimiento de la meta 20/20, en cuanto se amplió el concepto de ERNC a ENC.

3.3 Potenciales Fuentes de Financiamiento para proyectos “Eficiencia Energética”.

Dada la naturaleza de los proyectos de “Eficiencia Energética”, existen varias fuentes potenciales de financiamiento para la implementación y/o operación de ellos, en el marco de la promoción y apoyo a proyectos tendientes a la reducción de gases GEI.

La postulación a estas fuentes de recursos pudiese abordarse en forma independiente por cada una de las empresas, o bien darle un enfoque de iniciativa-país, congregando a todas las potenciales implementaciones y poniendo en valor el beneficio-país.

Cabe destacar que las mayores fuentes de promoción y financiamiento están asociadas a organismos internacionales, dado el interés en torno al cambio climático.

En este norte, destacan las siguientes alternativas de financiamiento potencial:

3.3.1 Financiamiento de los Costos de Implementación

- Vía Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM o GEF), donde FMAM (Fondo para el Medio Ambiente Mundial) es una asociación internacional cuyos propósitos son la protección medioambiental y el desarrollo sustentable. FMAM es la principal fuente de financiamiento de proyectos de desarrollo sustentable en el mundo, especialmente en los países en desarrollo o en países de economías en transición.
- Vía Corporación Financiera Internacional (IFC) del Banco Mundial, corporación que financia proyectos de organismos privados.
- Vía financiamiento para proyectos MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio - Proyectos de Pequeña Escala), en cumplimiento a que los países industrializados pueden financiar proyectos de reducción de emisiones en países en desarrollo y recibir créditos de carbono por ello.

Se consideran Proyectos de Pequeña Escala a:

- Tipo I: Proyectos de Energía Renovable con capacidad instalada máxima equivalente de hasta 15 MW.

- Tipo II: Proyectos de Eficiencia Energética que reducen el consumo de energía en el punto de suministro y/o consumo, hasta equivalente de 15 GWh/año;
- Tipo III: Otros Proyectos que conjuntamente reduzcan emisiones de GEI en menos de 15.000 toneladas anuales de CO₂ equivalente.
- Vía Empresas Inversionistas Potenciales, interesadas tanto en la compra de los CERs como en invertir en los proyectos que los generan.
Ejs.:
 - EcoSecurities, empresa que participa en los vertederos Cosmito y Copilemu, y en la central hidroeléctrica de pasada Ojos de Agua de Endesa.
 - CantorCO2e en el proyecto de Lepanto.

3.3.2 Financiamiento de los Costos Operacionales

- Vía Comercialización de los Certificados de Reducción de Emisiones (1 CER = 1 Bono de Carbono = 1 Ton CO₂ equivalente), ya sea en el régimen de 10 años no renovables o en el régimen de 7 años renovables hasta 21 años [61].

Algunos de los proyectos nacionales emblemáticos que han comercializado CER's son:

- Proyecto Hidroeléctrico Hornitos
- Proyecto Hidroeléctrico Quilleco
- Proyecto Mini Hidroeléctrico Chacabuquito

Analizando el comportamiento del precio de los Bonos de Carbono (CER), se establece que durante el 2011 la tendencia presentada ha sido a la baja. Se estima que la principal causa radica en la crisis que está enfrentando Europa y EEUU, aunque las proyecciones de precios futuros lo sitúan en torno a los US\$ 12 promedio.

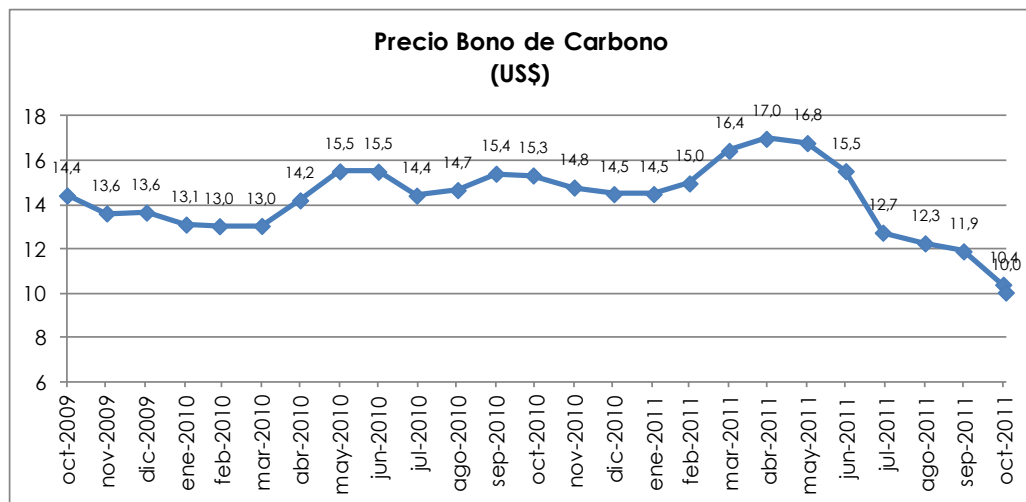


Figura 3.4 - Comportamiento Precio Bono de Carbono 2009-2011

- Comercialización de los Certificados de Negawatts, un mercado nuevo e incipiente cuyo principal objetivo es incentivar la disminución de la demanda eléctrica vía optimización o eficiencia en el consumo.
- Externalización de la Operación y Explotación del Sistema de Generación. Implementación y Operación del sistema de generación no convencional vía una empresa de servicios energéticos (ESCO - empresas orientadas a mejorar la utilización de la energía), facilitando el acceso al financiamiento para la ejecución de estos proyectos.

Cabe señalar que, el negocio entre la ESCO y la empresa originaria del proyecto, puede considerar:

- Ahorros compartidos, tal que la inversión asociada es asumida completamente por la ESCO,
- Inversión compartida entre la empresa originaria y la ESCO,
- Ahorros garantizados, la inversión asociada al Proyecto de Eficiencia Energética es asumido completamente por la empresa originaria, y
- Modo de financiamiento por terceros.

3.4 Potencial Energético en torno a la Gran y Mediana Minería.

La aplicación de soluciones de “Recuperación Energética Eléctrica” al sector minero nacional busca obtener los siguientes beneficios cualitativos:

- Recuperar y emplear la energía potencial residente en algunos procesos mineros, energía que hoy en día está siendo desestimada,
- Disminuir la demanda eléctrica sobre los sistemas interconectados, en particular sobre el SING, a través de un proceso de autoabastecimiento eléctrico de bajo consumo de insumos (sin combustible),
- Disminuir las toneladas de emisiones de gases GEI indirectas, asociadas a la demanda eléctrica liberada de los sistemas interconectados,
- Disminuir el riesgo de aplicación de restricciones comerciales sobre los productos mineros finales.

En un primer análisis general es posible establecer potenciales fuentes de “Recuperación Energética” en algunos de los procesos mineros, fuentes que se estima podrían tener la capacidad de entregar algún mecanismo inductor sobre una máquina de generación eléctrica, sea sobre una base de inducción traslacional, rotacional o térmica.

En este marco, se identifican como potenciales fuentes para la exploración de iniciativas de “Recuperación Energética” a:

Energía Potencial por diferencia de nivel (flujo descendente de material)

- Recuperación de energía cinética en Correas transportadoras.
- Recuperación de energía cinética presente en la caída de material, en puntos de transferencia entre Correas transportadoras.
Generación a partir de una turbina o arreglo similar, instalado en la caída de material de una correa a otra.
Se postula que los alabes de turbina deben ser de alta resistencia para disminuir desgaste por impacto del material en caída. La turbina debe ser instalada cerca de la correa alimentadora, tal que reciba el mineral con menor impacto de desgaste.

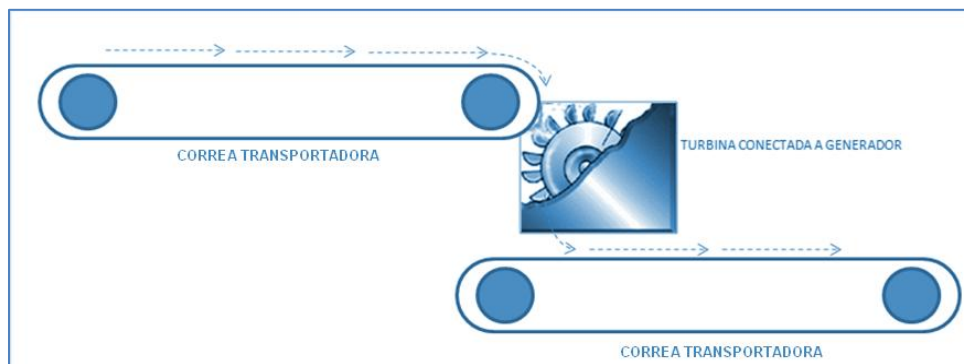


Figura 3.5 - Recuperación energía cinética en caída de material en Correas transportadoras

- Recuperación de energía cinética de la caída de material a stocks pile.
Generación a partir de una turbina o arreglo similar instalado en la caída de material al stock pile.
Se postula que los alabes de turbina deben ser de alta resistencia para disminuir desgaste por impacto del material en caída. La turbina debe ser instalada cerca de la correa alimentadora, tal que reciba el mineral con menor impacto de desgaste.

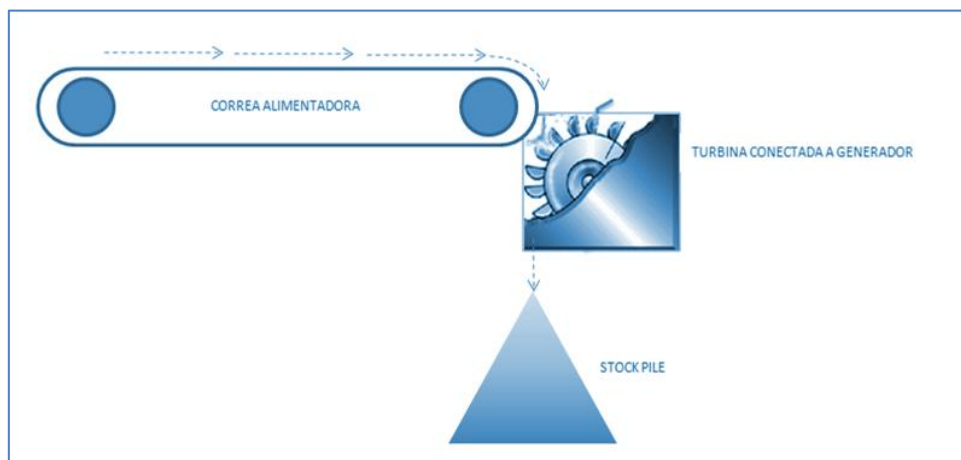


Figura 3.6 - Recuperación de energía cinética de la caída de material a stocks pile

- Recuperación de energía hidráulica en cañerías de pulpas o relaves con caudal de descenso.
Generación a partir de una turbina/generador o arreglo similar instalado en los ductos de descenso de relaves entre la planta y el depósito de relaves.

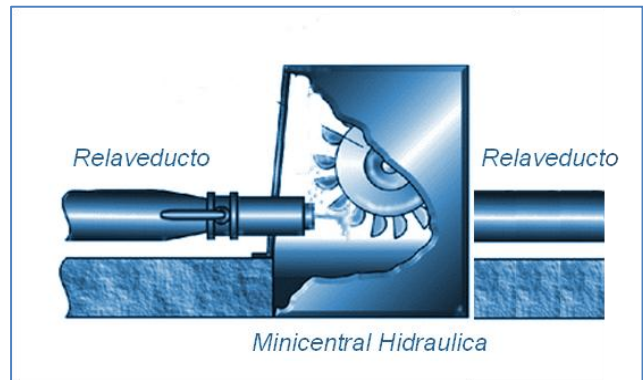


Figura 3.7 - Recuperación de energía hidráulica en cañerías de pulpas o relaves

- Recuperación de energía hidráulica en cañerías de agua de alimentación a proceso con caudal de descenso.
Generación a partir de una turbina/generador o arreglo similar instalado en los ductos de descenso de relaves entre la planta y el depósito de relaves.

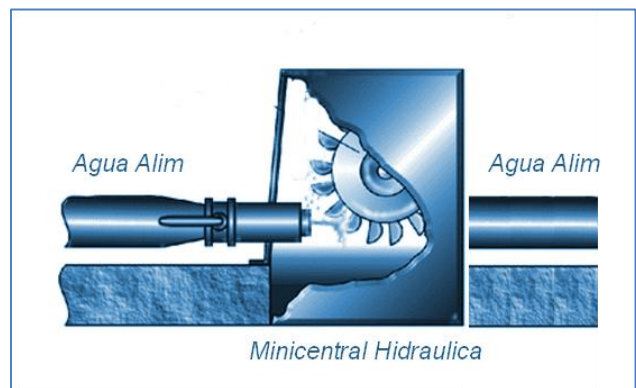


Figura 3.8 - Recuperación de energía hidráulica en cañerías de agua de alimentación

- Recuperación de energía gravitacional en el transporte de relaves con pendiente de descenso.
Generación a partir de correas regenerativas que transportan el relave entre la planta y su depósito.
- Recuperación de energía cinética de rotación en molinos SAG y de Bolas.

Generación a partir de minigeneradores en corona (“corona regeneradora”) que rotan en base al contacto físico o magnético con la banda de molinos. Se postula la utilización de minigeneradores empleados en generación eólica, sobre la base de que estos no deben sobrecargar el sistema.

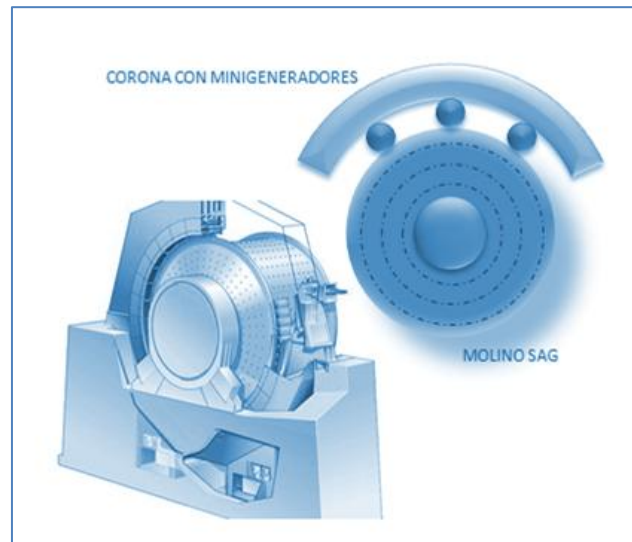


Figura 3.9 - Recuperación de energía cinética de rotación en molinos SAG y de Bolas

Energía Térmica

- Recuperación de energía térmica en vapor excedente de las calderas.
- Recuperación de energía térmica en proceso de fundición.
- Recuperación de energía térmica en proceso de lixiviación.

3.5 Iniciativas de Recuperación Energética en el Sector Minero.

3.5.1 Iniciativas de “Recuperación Energética” en Operación o planificadas a Nivel Nacional.

Las iniciativas en torno a implementar soluciones de “Recuperación Energética” han sido muy discretas en los últimos años, existiendo casos puntuales de aplicación en torno a:

- Correas transportadoras regenerativas en la alimentación de mineral a las plantas,
- Minicentrales de generación eléctrica a partir del flujo de agua de alimentación a procesos,
- Minicentrales de generación eléctrica a partir del flujo en bajada de relaves (piloto).

3.5.1.1 Correas Transportadoras Regenerativas.

En los años recientes, una de las principales aplicaciones en el marco de la recuperación energética corresponde a la aplicación de los “frenos regenerativos” en correas transportadoras con pendiente negativa, aplicación efectuada sobre el circuito de alimentación de mineral a las plantas. Estas correas generan electricidad a partir de su frenado, donde el movimiento de la correa es impulsado por la energía potencial dada la diferencia de cotas y el peso del material transportado.

La implementación de las llamadas “correas regenerativas” ha ocurrido en el desarrollo de nuevos proyectos o ampliaciones, tal que el 9% de los kms de correas transportadoras en operación al 2010 eran regenerativas. Estas correas entregaron anualmente del orden de 325.000 MWh.

Cabe destacar que el reemplazo de correas transportadoras antiguas a correas regenerativas ha ocurrido en menor escala, dado que la factibilidad de implementación de las correas regenerativas demanda contar con una inclinación mínima, inclinación que en los trazados antiguos era suavizada en el marco de minimizar la necesidad de dispositivos de frenado.

Situación Actual

- Existen 325 km de Correas Transportadoras en Gran Minería del Cobre.
- 30 kms (9%) corresponden a Correas Regenerativas (20.000 KW).

Simulación Ampliación Parque de Correas Regenerativas en la Gran y Mediana Minería.

Asumiendo los incentivos en torno a la “Eficiencia Energética” en el sector, es posible efectuar un primer ejercicio en torno al impacto en la autogeneración que significaría aumentar la participación “regenerativa”, sobre el supuesto de que un 20% de las correas se reconvirtieran a regenerativas.

Faena	Kms Correas Transportadoras			% Autoabast Electrico	Generación MWh-año (**)	Consumo MWh 2009
	Total	Regenerativas	%			
Collahuasi	33.007	17.093	52%			1.294.669
Los Bronces	2.448	414	17%			1.305.530
Los Pelambres	28.056	12.700	45%	15%	143.051	918.788
Altonorte	1.084					
Carmen de Andacollo	6.448	1.290	20%		14.525	
Codelco - Gabriela Mistral	14.708	2.942	20%		33.134	
Codelco Andina	34.810	6.962	20%		78.419	
Codelco Norte	58.530	11.706	20%	4%	131.855	6.619.000
Codelco Salvador	4.368					
El Tesoro	17.432	3.486	20%		39.270	
Escondida	52.944	10.589	20%	4%	119.271	3.194.477
Huasco	4.272					
Lomas Bayas	6.185	1.237	20%		13.933	
Mantos Blancos	15.155	3.031	20%		34.141	
Mantoverde	11.511	2.302	20%		25.932	
Michilla	2.908					
Quebrada Blanca	8.272	1.654	20%		18.634	
Refugio	5.851					
Zaldívar	16.624	3.325	20%		37.450	
Total kms correas	324.613					
Kms Regenerativa Real	30.207	9%				
Kms Regenerativa Supuesto + Real	78.731	24%				
Autoabast MWh anual	689.614					

(**): Se empleo tasa de generación de las correas regenerativas de Pelambres (Mwh/Km correa)

Fte: Catastro Equipamiento Minero 2009

Tabla 3.2 - Simulación 20% Correas Transportadoras Regenerativas Gran Minería del Cobre

Bajo los supuestos de:

- renovación de equipos existentes y retrasado del layout de algunas correas (de modo de obtener el nivel de descenso requerido),
 - ampliación del porcentaje de participación a un 20% sobre la extensión total de correas transportadoras en la Gran y Mediana Minería,
 - empleo de la tasa de generación de Pelambres (kWh/km correa regenerativa),
- es posible establecer que este Parque de Correas Regenerativas podría autogenerar el 4% de los consumos eléctricos de las faenas comprometidas.

3.5.1.2 Minicentrales de Generación Eléctrica a partir del Flujo de Agua de Alimentación a Procesos.

Estas iniciativas aprovechan el flujo de alimentación de agua en bajada desde el repositorio de agua en altura hasta la planta o lugar de consumo.

Caso en Operación (Piloto).

Minera Escondida consideró la implementación de una minicentral en tomas de agua de Monturaqui hacia la planta, aprovechando la diferencia de nivel entre la fuente y la planta concentradora. Esta minicentral considera la generación de 2 MW para un caudal entre 1 a 1,25 m³/seg.

Características Operación:

Minicentral en tomas de agua (pendiente descendente).....Escondida Monturaqui

- 2 MW para un caudal entre 1 a 1,25 m³/seg.,
- Minicentral instalada anexa al circuito principal de aducción,
- Operación automática con mínima supervisión,
- Operación en paralelo al sistema de distribución existente,
- Inversión estimada: US\$ 760.000,
- VAN (12,5%)= US\$ 1.039.313

Obs.: Codelco también ha considerado la implementación de una mini central de pasada en el Embalse Carén.

3.5.1.3 Minicentrales de Generación Eléctrica a partir del Flujo en Bajada de Relaves.

Esta iniciativa aprovecha el flujo de los relaves hacia su lugar de depósito, tal que se ubican turbinas sobre el ducto, empleando elementos reforzados para controlar el alto nivel de desgaste en los dispositivos generadores.

Caso en Operación (Piloto):

Codelco División El Teniente planea implementar 11 minicentrales en la bajada de sus relaves, proyecto que ejecutó la fase de prueba de su primera minicentral. El proyecto aprovecha la diferencia de nivel entre la planta a 2800 msnm y el tranque de relaves a 800 msnm.

Obs.: Minera Los Pelambres ha efectuado también una exploración del tema, desestimándola hasta el momento.

3.5.1.4 Generación Eléctrica a partir del calor recuperado en plantas de lixiviación.

Esta iniciativa recupera el calor excedente del circuito, empleándolo para estimular generadores eléctricos.

Caso en Operación (Piloto):

En la Planta de Electro-obtención de Quebrada Blanca, se implementó un generador Caterpillar 16CM43 con capacidad de generación de 11kV. El calor recuperado fue del orden de 36.000 MWh-año [15,16].

3.6 Selección Iniciativa de “Eficiencia Energética” a estudiar en detalle

En el marco de la presente tesis, se desarrollará en profundidad el análisis sobre el potencial de regeneración existente en los actuales flujos de relave en operación en la Gran Minería del Cobre.

La tesis considera como sujetos de análisis a:

Caso 1	Aplicación de la Recuperación Energética en cañerías de relaves con caudal en descenso.
Caso 2	Aplicación de la Recuperación Energética en transporte de relaves vía correas regenerativas.

Se analizará la factibilidad de aplicación en aquellas faenas con operación de concentradoras, estableciendo si cumplen las condiciones requeridas, potenciales niveles de generación, estimación de costos.

CAPITULO 4 GENERACIÓN ELÉCTRICA A PARTIR DE RELAVES - APLICABILIDAD DE LA RECUPERACIÓN ENERGÉTICA EN EL SECTOR MINERO NACIONAL.

El estudio considera la iniciativa de recuperación energética a partir del flujo de relaves, evaluando la factibilidad técnica-económica de aplicación de:

- Generación Mini-Hidráulica vía turbinas aplicadas al relaveducto, bajo condiciones reforzadas ante la abrasión del fluido, y
- Generación Electromecánica, vía aplicación de correas regenerativas para el transporte de lodos,

en atención a que:

- existen amplios trazados de relaveductos con importantes desniveles,
- es un flujo de alta disponibilidad, dado que está asociado a la operación de las plantas concentradoras (disponibilidad sobre 90%), y
- corresponde a un flujo de material de desecho que hoy por hoy no tiene ningún valor o aportación al negocio.

El análisis se efectuó sobre las faenas de la Gran Minería del Cobre exclusivamente; dado que ellas concentran el 95% de las toneladas de relave generadas a nivel país; y estableció como año de análisis el 2009, en el marco de contar con toda la información operacional necesaria.

Las simulaciones correspondieron a:

- Aplicación de Mini Generadores de pasada en diversos puntos del relaveducto.
- Aplicación de Correas Regenerativas para transporte de relaves.

4.1 Sobre los Relaves.

Los relaves son uno de los elementos importantes en el proceso productivo minero, dados los resguardos medioambientales a los que está condicionada tanto su manipulación o transporte como su acumulación.

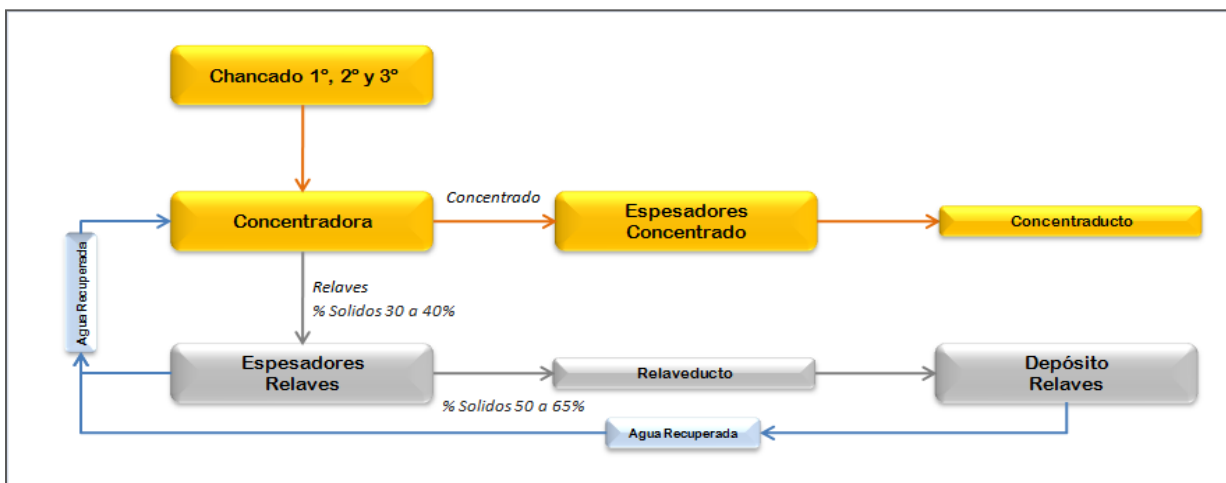


Figura 4.1 - Sinopsis Proceso Minero

Cabe mencionar sobre los relaves, que:

Niveles de Producción.

- Los relaves son residuos del proceso de concentración de minerales sulfurados, los cuales son conducidos en forma hidráulica a un tranque de almacenamiento.
- La producción de una tonelada de cobre recuperado genera entre 80 a 90 toneladas de relave [17].

Durante el 2009, la producción de 2,3 millones de toneladas de Cobre fino generó 195 millones de Toneladas de relaves [18].

- El flujo de relaves es de alta disponibilidad, dado que están asociados a la operación efectiva de las plantas concentradoras (sobre el 90%).

Caracterización Reológica y Humedad.

- Los relaves derivados inmediatamente del proceso de concentración tienen una composición de un 30% a 40% de sólidos.
- Luego del proceso de espesamiento, los relaves presentan una composición entre un 50 a 65% de sólidos, siendo un fluido de alta densidad y poder de abrasión.
- La caracterización reológica² de un alto porcentaje de los relaves [19], indica:
 - Densidad de sólidos de las partículas presentes varían entre 2,0 ton/m³ y 3,4 ton/m³ (promedio: 2,74 ton/m³).
 - Granulometría: diámetros característicos D16 (5 a 16 µm), D50 (20 a 110 µm), D84 (61 a 287 µm),
 - Concentración Volumétrica de Empaquetamiento (concentración en que la pulpa minera pasa de un estado visco-elástico a elástico, acercándose a comportarse como un sólido) 50 a 60%, equivalente a 74 y 80% en concentración en peso.
 - Tensión de Fluencia, entre 0,26 a 10,85 Pa,
 - Viscosidad, entre 3,55 y 6,99.
- Los relaves son limos arenosos de baja a nula plasticidad (IP<5%).

Transporte y Almacenamiento.

- Los Tranques de Relaves se encuentran ubicados en cotas inferiores a la localización de las plantas concentradoras, de modo que el escurrimiento se viese favorecido por la gravedad.
- La canalización de los relaves puede ser vía canal abierto o vía relaveducto (cañería presurizada).

² *Reología: estudio de la deformación y el flujo de la materia.*

Nuevas Tendencias asociadas al tratamiento de Relaves.

- Hoy en día existen varios proyectos tendientes a espesar aun mas los relaves, en el marco de:
 - aumentar la recuperación de agua del proceso (espesamiento 65% - 69%),
 - aumentar la estabilidad del material en los depósitos, disminuyendo los costos de construcción y operación asociados a los tranques/embalses de depositación.
- Las tecnologías más difundidas son:
 - Relaves Espesados - con una concentración de sólidos > 50% en peso y entre un 10 a 25% de contenido de agua, y
 - Relaves Secos o en Pasta Espesados - con una concentración de sólidos > 75% en peso y un 13% de contenido de agua [20].

Ambas tecnologías disminuyen fuertemente el escurrimiento gravitacional, teniéndose que a nivel del ángulo límite para comenzar a escurrir:

Variación Pendiente Limite según Concentración de Sólidos en Relave	
Pendiente Límite %	Porcentaje de Sólido en Peso %
< 2	< 50
2-3	55-66
3-5	60-63
4-6	63-65
> 6	> 65

Fte: Servicio Nacional de Geología y Minería, Departamento de Seguridad Minera/ Guía Técnica Operación y Control de Depósitos de Relaves, Diciembre 2007

Tabla 4.1 - Variación Pendiente Limite según Concentración de Sólidos en Relave

Cabe señalar que, el procesamiento de los relaves ocurre normalmente cerca de las plantas, de modo de que el agua recuperada esté próxima a los procesos que la demandan.

A nivel nacional, los nuevos proyectos están incorporando estas tecnologías, mientras las faenas en operación están evaluando la migración hacia ellas.

4.2 Generación Eléctrica a partir del Flujo de Relaves.

4.2.1 Generación Eléctrica vía aplicación de turbinas sobre relaveducto.

La aplicación del proceso de Generación Hidroeléctrica sobre la base de un flujo de Relave de pasada considera la recuperación de energía hidráulica en cañerías de pulpas o relaves con caudal de descenso del orden de 300 a 600 m³/hr.

El sistema contempla:

- La ubicación de minicentrales hidroeléctricas de pasada sobre el ducto que moviliza los relaves entre la planta concentradora y el tranque de relaves.
- La potencial redefinición del trazado de conducción de relaves – parcial o total, en pos de lograr la altura y caudal requerido.

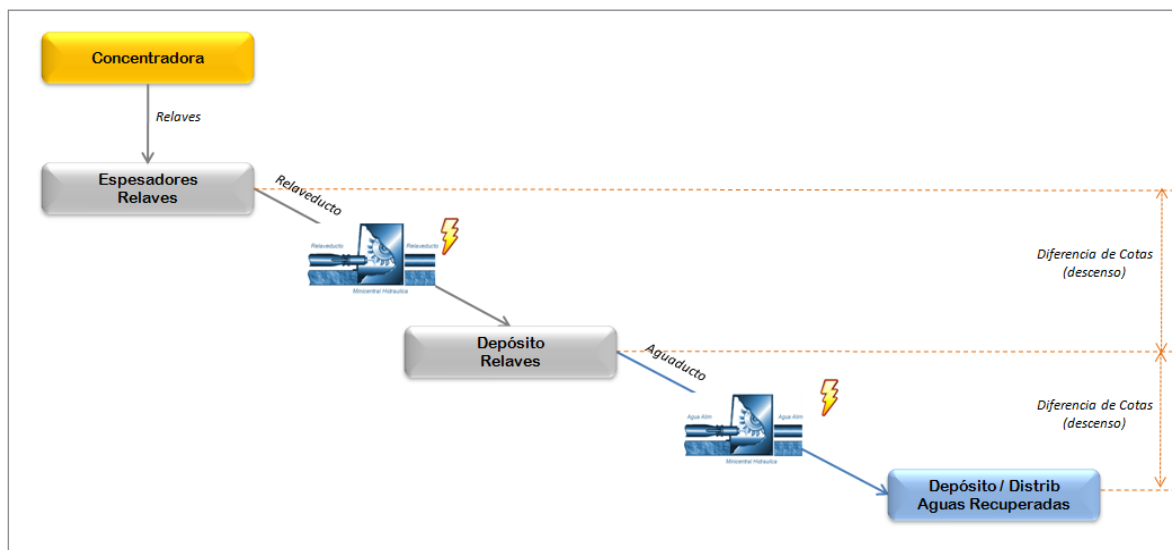


Figura 4.2 - Esquemas Generación Eléctrica vía aplicación de turbinas sobre relaveducto

Dada la naturaleza de la generación vía turbinas, se estima que esta modalidad corresponde a nuevas fuentes de energía, particularmente un “Medio de Generación No Convencional (MGNC)”.

4.2.1.1 Infraestructura asociada a la Generación Hidráulica (Relaves).

En el escenario base de generación hidráulica de energía, y dada la naturaleza altamente abrasiva de los relaves, se propone que los materiales y equipos comprometidos deben presentar características reforzadas que aseguren la mayor disponibilidad operacional.

En este marco, los equipos considerados en la instalación de cada nodo de generación se caracterizan por:

- Bombas horizontales reforzadas para pulpas abrasivas de mineral (relaves, concentrados), equipo trabajando como turbina conectada a generador eléctrico.
- Bypass - Ductos reforzados con HDPE, con alta resistencia a la abrasión y compresión.

Para el caso de las bombas reforzadas para trabajo con pulpas mineras (concentrados, relaves), las empresas con mayor presencia en el mercado son:

- Weir Minerals, con equipos que pueden procesar desde 5 m³/h hasta 16.000 m³/h de pulpa, y
- Metso Minerals, con bombas de pulpa de alta resistencia para trabajos en minería.

Estas bombas especiales, cuentan con piezas reforzadas en caucho, poliuretano y/o alto cromo.

4.2.1.2 Experiencia Piloto - 1^{ra} Minicentral Generación Eléctrica a partir del flujo de Relaves / Codelco División El Teniente.

Durante el 2010 y el primer semestre del 2011, la División El Teniente de Codelco desarrollo y probó la primera minicentral hidráulica de generación eléctrica a partir de relaves, ubicada sobre un bypass en el relaveducto principal. El objetivo de este piloto era determinar el nivel de generación y las condiciones operacionales y de mantención asociadas.

Características Flujo de Relaves caso El Teniente

- Los relaves son depositados a 80 km de la planta concentradora, vía canaleta abierta.

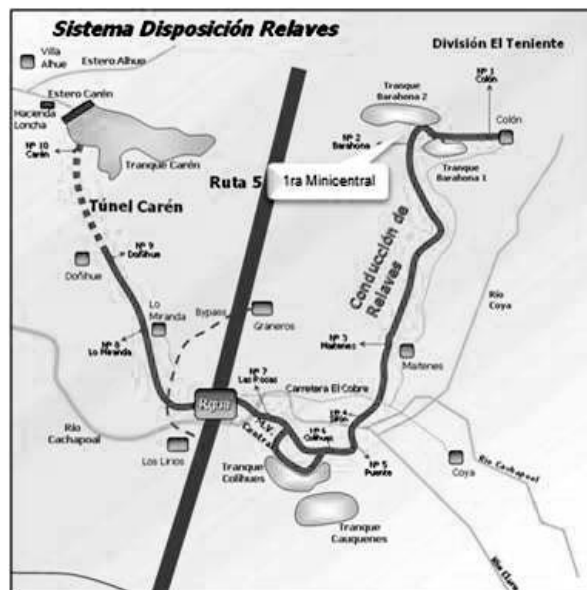


Figura 4.3 - Ruta Relaveducto División El Teniente

- La diferencia de cotas entre la Planta Concentradora y el Tranque de Relaves es de 2.000 msnm, presentándose 11 cascadas con diferentes pendientes (30 y 40°) a lo largo de la canaleta.
- El caudal total actual de relaves es de 6.000 m³/hr.
- El proyecto global contempla la instalación de 11 puntos de generación, turbinas con capacidad de producción de 1 MW-día cada uno.
- La generación total proyectada asciende a 11 MW-día, y se espera que satisfaga el 25% del consumo total de la Fundición.

Condiciones de Implementación Experiencia Piloto Caso El Teniente.

- El proyecto piloto operó entre Marzo 2010 hasta el primer semestre 2011.
- Se desvió un 8% del flujo circulante hacia la turbina respectiva (aprox. 400 a 500 m³/hr), con un desnivel de 41 metros. Densidad de pulpa: 1,5.
- El equipamiento asociado contempló:
 - Bomba como turbina (BCT), Marca WARMAN - Vuelco 6"x6" (150x150x355 Hash Pumpa Assembly), revestida con compuestos de caucho para líquidos abrasivos.
 - Alternador sincrónico trifásico, 400 V, 50 Hz, 1.500 RPM, de 70 kVA, marca MECC ALTE.
- Las condiciones operacionales fueron:
 - Caudal de diseño de 0,111 m³/s, 400 m³/h.
 - Altura de caída bruta: 41 m.
 - Altura neta: 38 m.
 - Peso específico del relave: 1,5 kg/m³.
 - Longitud tubería de presión: 205 m.
 - Diámetro nominal tubería de presión: 355 mm.
 - Diámetro nominal tubería de restitución: 315 mm.

Resultados Operacionales y Financieros Experiencia Piloto [38].

- La producción de la planta piloto fue de 1, 2 MW-día.
- Generación anual de la Planta Piloto proyectada es de 442 MW-año.
- Vida Útil estimada en 10 años.
- Inversión del piloto fue de US\$ 280.000.
- El costo operacional estimado aprox. 1/3 del valor de la energía generada.
- El costo de operación anual del equipo se estimó en US\$ 21.400 (8% Inversión Inicial).
- El costo de mantenimiento anual se estimó en US\$ 24.450 (reemplazo piezas internas bombas, poleas y correas de transmisión, 9% Inversión Inicial). Revisión y recambio de piezas críticas trimestral.
- El costo de generación de Energía Eléctrica para la planta piloto fue de 162 US\$ /MWh.
- El proyecto se detuvo dado el nivel de inversión, a fin de reevaluar si será atendido por Codelco o se buscará una empresa externa que invierta y opere.

En Suma, Caso Teniente:

Producción cuprífera		
Cu fino 2009 (Ton)	Ton	404.000
Cu fino 2010 (Ton)	Ton	403.616
Consumo energía eléctrica		
Consumo energía eléctrica faena 2009	MWh	1.938.889
% Consumo elec. sector minería 2009	%	10%
Sistema Interconectado que lo abastece		SIC
Generación total sist. interconectado 2009	GWh	7.046.111
Factor emisión CO ₂ ³	Ton/MWh	0,284
Precio medio mercado energía eléctrica 2009 ⁴	\$/kWh	53,804
% Demanda que consume sobre S. Interconectado	%	28%
CO ₂ asociado al consumo eléctrico	Ton	550.644
Costo energía consumida 2009	MM\$	104.320
Relaves		
Relaves 2009	Tpd	129.120
Caudal relave (m3/hr)	m3/hr	6.000
% Sólidos relave (en peso)	%	50%
Densidad granulométrica	micrones	d50, 50 micrones
Gravedad específica		1,4 a 1,6
Relaveducto	km	85
Desnivel Planta-Tranque	m	2.000
Estructura Generación "Recuperación Energética"		
Desnivel ducto alimentación minicentral	m	40
Flujo a turbina	m3/hr	400
Capacidad minicentral	MW-día	1,2
Nº minicentrales		11
Efecto Generación "Recuperación Energética"		
Potencia instalada total	MW-día	13
Generación potencial anual	MW-año	4.336
% Autoabastecimiento eléctrico	%	0,2%
Reducción sobre demanda sist. interconectado	%	0,1%
Reducción anual emisión CO ₂	Ton	1.231
Reducción anual en gasto energía	MM \$	233
	MM US\$	0,42

Tabla 4.2 - Codelco Div. El Teniente/Caso Piloto Generación Vía Relaves

³ Estudio Cochilco - Consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la minería, año 2009

⁴ PMM: Precio Medio Mercado / CNE

4.2.2 Generación Eléctrica vía Aplicación de Correas Regenerativas sobre trazado de relaveducto.

En el escenario de recuperar la energía gravitacional existente en el descenso del relave entre la planta concentradora y el depósito, se planteó la aplicación discreta o completa de correas regenerativas, de modo de soslayar el efecto abrasivo del flujo de relave.

Cabe señalar que el desgaste provocado sobre los equipos, se origina a partir de la condición abrasiva del relave propiamente y de la corrosión electroquímica debido a la diferencia de potencial electroquímico.

La proposición consideró la generación a partir de la movilización de relaves sobre tramos de correas regenerativas con alta pendiente de bajada, de modo de:

- superar el tema del desgaste abrasivo por alta fricción, presente en las turbinas, y
- viabilizar la solución al caso de los relaves espesados o secos.

La idea base fue:

- para el caso de los relaves mayormente húmedos: aplicar la regeneración sobre correas con guías de contención que inmovilicen el material depositado, evitando el escurrimiento sobre la correa misma pero provocando la continuidad de su accionamiento,
- para el caso de los relaves espesados o secos: aplicar correas regenerativas normales.

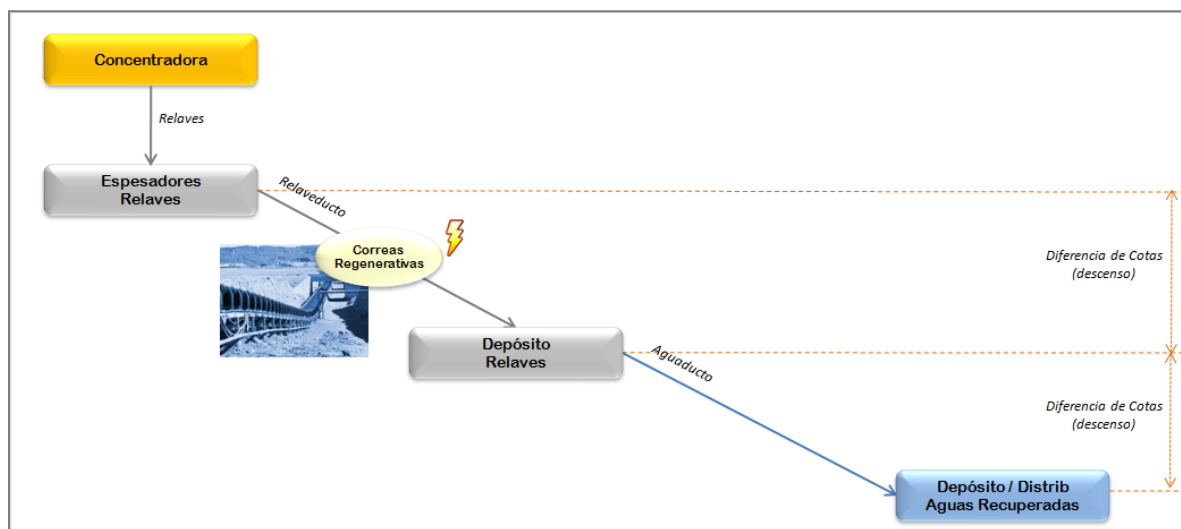


Figura 4.4 – Generación Eléctrica vía aplicación Correas Regenerativas sobre relaveducto

Se consideró la aplicación continua o discreta de correas regenerativas, sobre la base de reducción u optimización de costos de implementación.

Dada la naturaleza de la generación vía correas regenerativas, se estima que esta modalidad corresponde a un “Medio de Generación No Convencional (MGNC)”.

Cabe destacar que:

- la aplicación de correas transportadoras se cimienta esencialmente sobre la base del porcentaje de sólidos que caracteriza los relaves, permitiendo considerar desde un lodo altamente espesado hasta un material seco.
- la aplicación de correas transportadoras en minería ha estado concentrada en el transporte de mineral seco a planta o entre plantas (primeros tramos del proceso minero).
- las técnicas de transporte de relaves recomendadas por los especialistas favorecen la utilización de canales abiertos por sobre las tuberías, recomendación de la cual se hace cargo la utilización de correas transportadoras.
- las correas transportadoras facilitan el ajuste del canal de transporte a las características del terreno, incluyendo pendientes hasta 18°.

4.2.2.1 Infraestructura asociada a Correas Transportadoras Regenerativas.

Si bien las correas transportadoras en general se aplican a materiales secos, existen ciertas correas o cintas que pueden considerarse en la presente aplicación (lodos altamente espesados hasta materiales secos), asegurando el bajo escurrimiento del relave sobre la correa, y permitiendo operar con ángulos menores a 15%.

En términos generales, los tipos de correas se clasifican en:




Tipo	Uso
Lisa	Transporte horizontal o de poca inclinación.
Nervada 	Trazados con elevado ángulo de transporte.
Rugosa 	Transporte horizontal y/o inclinado en que se requiere alto coeficiente de rozamiento
Especial- Banda Bord 	Transporte que requiere contención del material transportado

Figura 4.5 – Tipos de Correas

Según la clasificación anterior, para el caso de los relaves aplican:

- correas nervadas, las cuales son las más adecuadas para el tema de los relaves con pendientes < 15%. Esta opción permite aprovechar la estructura de las correas regenerativas normales, con la única variante a nivel del tipo de cinta.
- las correas con guías o topes contenedores (Band Bord), que permiten ampliar su utilización a relaves más húmedos (con mayor potencial de escurrimiento).



(Ej.: Maxoflex- Contitech)

Figura 4.6 - Correas con guías o topes contenedores

Dada la extensión de las correas transportadoras en el caso de los relaves, es dable pensar que la aplicación de este tipo de correas pudiese ser difícil y costosa en comparación con las correas transportadoras corrientes. Hoy en día estas correas están aplicadas a tramos muy acotados.

4.2.2.2 Referencia Generación Correas Regenerativas en la Minería.

Para el análisis de aplicabilidad al caso relaves, se consideró:

1. el método de cálculo para correas transportadoras de Pirelli [63], y
2. la información base de la generación por correas regenerativas de Minera Los Pelambres, Collahuasi y Los Bronces.

- Estructura de principales Correas Regenerativas:

Faena	Nº Equipo	Marca	Tipo	Tensión kN/m	Capacidad tph	Velocidad m/s	Largo mts	Potencia Instalada Nº motores x kW/hp
Los Pelambres	120CV005	Phoenix	ST 7800	7800	8700	6	12.048	4 x 2.500 kW
Los Pelambres	120CV006	Phoenix	ST 7800	7800	8700	6	10.790	4 x 2.500 kW
Los Pelambres	120CV007	Phoenix	ST 4000	4000	8700	6	3.147	2 x 2.500 kW

Tabla 4.3 – Correas Regenerativas Referenciales

- Indicadores operacionales:

Faena	Longitud Correa	Desnivel mtrs	Angulo Descenso	Flujo Mineral transportado	Generación Anual	Potencia Prom
	Kms	mtrs	grados	ton/hr.	kWh-año	MW
Los Bronces	4,4	400	5,2	8.500	13.140.000	1,5
Pelambres	12,7	1397	6,3	8.700	143.050.501	17,0
Collahuasi	5,4	400	4,2	2.500	26.280.000	3,0

Tabla 4.4 - Indicadores operacionales Correas Regenerativas

4.3 Marco del Estudio “Generación Eléctrica a partir de Relaves”

El estudio consideró analizar para cada una de las faenas indicadas:



Figura 4.7 – Marco Estudio Generación a partir de Relaves

La Estructura de Análisis a efectuar en las faenas productoras de concentrado de cobre fue:

<p>Análisis</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación Potencial de la Generación Hidroeléctrica sobre flujos de relaves en el resto de las faenas mineras. • Aplicación Potencial de la Generación vía Correas Regenerativas sobre flujos de relaves en el resto de las faenas mineras. • Aplicación Potencial de Generación vía flujo de agua recuperada de los relaves en los tranques (opcional).
------------------------	---

Base de Análisis	<ul style="list-style-type: none"> • Faenas con conducción de relaves (tratamiento de minerales sulfuros). • Revisión de los trazados de canalización de los relaves existentes. • Evaluación preliminar de retrazado relaveducto. • Generación potencial y su aporte a: <ul style="list-style-type: none"> → al consumo eléctrico de cada faena, → a la liberación de energía de los respectivos sistemas interconectados, → a la reducción de costos medioambientales.
-------------------------	--

Tabla 4.5 - Estructura de Análisis a efectuar en faenas productoras de concentrado de cobre

4.4 Análisis Potencial Generación a partir de Relaves en Faenas Mineras

A continuación se presenta el análisis para las faenas:

- Minera Candelaria
- Codelco División El Teniente
- Codelco División Andina
- Codelco División El Salvador
- Codelco Norte
- Minera Collahuasi
- Minera Escondida
- Minera Los Bronces
- Minera Los Pelambres

El análisis consideró como referencia la operación del 2009, en atención a:

- Situación de Producción,
- Situación de Consumo Eléctrico,
- Generación de Relaves,
- Trazado Relaveducto,
- Factibilidad Operacional Generación Mini Hidráulica de Electricidad a partir del flujo de relaves,
- Factibilidad Operacional Generación de Electricidad vía correas regenerativas,
- Factibilidad Operacional Generación Hidráulica de Electricidad a partir del flujo de aguas recuperadas de relaves,
- Estimación de Costos y Evaluación Económica Proyecto y Operación en Régimen.

El análisis se estructuró en torno a:

- Identificación Condiciones Operacionales de cada faena.
- Análisis Caso 1: Generación Mini Hidráulica, sobre la base de las condiciones de generación del caso piloto Codelco División El Teniente.
- Análisis Caso 2: Generación vía Correas Regenerativas, sobre la base de cálculo Pirelli.

Observación:

- Ejercicio 1: Se consideró el reemplazó de un tramo del relaveducto por correas regenerativas, manteniendo el resto del circuito original bajo una óptica conservadora.
- Ejercicio 2: Se consideró la combinación de correas regenerativas con corrientes en el caso de disminuir los trayectos entre planta y tranque.

4.4.1 ANÁLISIS CASO ANGLO AMERICAN LOS BRONCES.

Compañía/Faena	Anglo American Los Bronces
Ubicación	Región Metropolitana (3.500 msnm)
Explotación	Minerales oxidados y sulfurados (cobre y molibdeno)

Antecedentes Operacionales

Escenario Actual		
Producción Cuprífera		
Cu fino 2009 (Ton)	Ton	235.000
Cu fino 2010 (Ton)	Ton	235.000
Concentrado 2010 (Ton)	Ton	190.000
Consumo Energía Eléctrica		
Consumo Energía Eléctrica Faena 2009	MWh	1.305.530
	TJ	4.699
% Consumo Elec. Sector Minería 2009	%	7%
Sistema Interconectado que lo abastece		SIC
Generación Total Sist. Interconectado 2009	GWh	7.046.111
Factor Emisión CO ₂	Ton/MWh	0,284
Precio Medio Mercado Energía Eléctrica 2009	\$/kWh	53,804
% Demanda que consume sobre S. Interconectado	%	19%
CO ₂ asociado al consumo eléctrico Faena	Ton	370.771
Costo Energía Consumida 2009 Faena	MM\$	70.243
Observaciones		
<ul style="list-style-type: none"> • Esta faena tiene su planta concentradora en el plano central, tal que considera un mineroducto entre la mina y la planta. • No existe relaveducto de extensión. 		
Relaves		
Relaves 2009	Ton	20.440.000
	Tpd	56.000
Origen		Planta Las Tórtolas
Destino		Tranque Las Tórtolas
Desnivel Planta-Tranque	m	Menor 5 m.
Extensión Relaveducto	m	Planta muy cercana a Tranque
Observaciones		
<ul style="list-style-type: none"> • Los relaves de los tranques en altura Pérez Caldera están siendo repulpeados y dirigidos al Tranque Ovejería. • Consumo de Agua 2009: 72.870.000 m³ (80% Agua reciclada en procesos). 		

Tabla 4.6 – Variables Operacionales Anglo American Los Bronces

Referencia Información: [31, 39, 40, 41, 42, 43]

Caso 1: Análisis Recuperación Energética - Generación Mini Hidráulica.

Caso Anglo American Los Bronces

Análisis Generación Mini Hidráulica a partir de flujo de Relaves

Potencial Generación



No Aplica.

Dado el bajo diferencial de cotas entre Planta Concentradora y el Tranque de Relaves, no existe la energía potencial requerida.

Análisis Generación Mini Hidráulica a partir del flujo de Agua Recuperada

Potencial Generación



No Aplica.

Caso 2: Análisis Recup. Energética - Generación Correas Regenerativas.

Caso Anglo American Los Bronces

Análisis Generación vía Correas Regenerativas - Transporte de Relaves

Potencial Generación



No Aplica.

Dada proximidad y diferencia de cotas entre Planta Concentradora y el Tranque de Relaves. No existe la energía potencial requerida.

4.4.2 ANÁLISIS CASO ANTOFAGASTA MINERALS LOS PELAMBRES.

Compañía	Antofagasta Minerals Minera Los Pelambres
Ubicación	IV Región
Explotación	Minerales oxidados y sulfurados (cobre y molibdeno)

Antecedentes Operacionales

Escenario Actual		
Producción Cuprífera		
Cu fino 2009 (Ton)	Ton	322.000
Cu fino 2010 (Ton)	Ton	398.000
Concentrado 2010 (Ton)	Ton	340.000
Consumo Energía Eléctrica		
Consumo Energía Eléctrica Faena 2009	MWh	918.789
	TJ	3.307
% Consumo Elec. Faena sobre Sector Minería 2009	%	5%
Sistema Interconectado que lo abastece		SIC
Generación Total Sist. Interconectado 2009	GWh	7.046.111
Factor Emisión CO ₂	Ton/MW	0,284
Precio Medio Mercado Energía Eléctrica 2009	\$/kWh	53,804
% Demanda que consume sobre S. Interconectado	%	2%
CO ₂ asociado al consumo eléctrico	Ton	260.936
Costo Energía Consumida 2009	MM\$	49.435
Relaves		
Relaves 2009	Ton	46.186.909
	Tpd	126.539
1er Tranque Los Quillayes		
Origen	Pta Concentradora (1605 msnm)	
Destino	Los Quillayes (1499 msn)	
Desnivel Planta-Tranque	m	106
Caudal Relave	m ³ /hr	76.667 tpd
% Sólidos Relave (en peso)	%	50 a 60%
Relaveducto	km	8,3 (aprox.)
Nº Tuberías	Nº	1
Diámetro Tuberías	Pulg.	28

Observaciones

- Relaveducto rodea el tranque por los cerros circundantes.
- Distancia entre espesadores a entrada tranque: 4,7 km en línea recta.



Fte: Google Earth

2do Tranque El Mauro		
Origen	Pta Concentradora (1605 msnm)	
Destino	Tranque El Mauro (850 msnm)	
Desnivel Planta-Tranque	m	755
% Sólidos Relave (en peso)	%	50 a 60%
Relaveducto	km	60
Nº Tuberías	Nº	2 (1 + 1 respaldo)
Diámetro Tuberías	Pulg.	36, 26
Observaciones		
• Relaveducto enterrado		

Trazado Relaveducto Concentradora – Quillayes – El Mauro



Google Earth

Tabla 4.7 – Variables Operacionales Minera Los Pelambres

Caso 1: Análisis Recuperación Energética - Generación Mini Hidráulica.

Caso Minera Los Pelambres

Análisis Generación Mini Hidráulica a partir de flujo de Relaves

Potencial Generación



Aplica Potencial Generación.

Dada la diferencia de cotas entre la Planta Concentradora y el Tranque El Mauro (755 m.), así como las características del fluido y del flujo, es dable estimar que existe potencial de generación hidráulica.

Análisis Trazado

- Se postula la instalación de 16 centros de generación entre las cotas 1.650 y 900 msnm, de modo de tener cercanía al centro de consumo eléctrico (Concentradora).
- Los centros de generación consideran la operación de 1 minigerador (1MW-día).

Proyección Generación (sobre Caso Base Generación Mini Hidráulica El Teniente)

Relaves	Pot_Generación	
Estructura Generación		
Desnivel ducto alimentación minicentral	m	40
Flujo a Turbina	m ³ /hr	400
Capacidad Minicentral	MW-día	1,2
Nº Minicentrales		16
Efecto Generación "Recuperación Energética"		
Potencia Instalada Total	MW-día	19
Generación Potencial Anual (***)	MW-año	6.307
% Autoabastecimiento Eléctrico	%	0,7%
Reducción sobre Demanda Sist. Interconectado	%	0,1%
Reducción Anual Emisión CO ₂	Ton	1.791
Reducción Anual en Gasto Energía (**)	MM \$	339
	MM US\$	0,61

** Sobre PMM 2009_Promedio, Dólar Promedio 2009 = 559,7 pesos

*** Factor de Planta 90%

Tabla 4.8 – Minera Los Pelambres / Proyección Generación Mini Hidráulica

Análisis Generación Mini Hidráulica a partir del flujo de Agua Recuperada


Potencial Generación



No Aplica.

Caso 2: Análisis Recup. Energética - Generación Correas Regenerativas.

Caso Minera Los Pelambres

Análisis Generación Correas Regenerativas - Transporte de Relaves
Potencial Generación
 Aplica Potencial Generación. Existe energía potencial por diferencia de cotas entre Planta y Tranque.
Análisis Trazado
Se postula el reemplazo de % ducto de relave actual por correas transportadoras con cintas nervadas. Se considera un tramo de 6 km de correa regenerativa, ubicada en la zona de mayor diferencia de nivel (\approx 600 m.).

Proyección Generación (sobre Modelo Cálculo Pirelli)		
Relaves	Pot_Generación	
Estructura Generación "Recuperación Energética"		
Relaves 2009	Tphr	5.272
Relaveducto	km	60
Desnivel Planta-Tranque	m	755
Características Aplicación Correas Regenerativas		
Opción Correa		Regen. + Ducto.
Tramo Correa Regenerativa	km	6
Desnivel Correa	m	600
Capacidad Generación Correa	MW-año	36.257
	MW-día	99,3
	MWh	4,1
Nº Tramos Correas Regenerativas		1,0
Efecto Generación "Recuperación Energética"		
Generación Potencial Anual (***)	MW-año	36.257
% Autoabastecimiento Eléctrico	%	3,9%
Reducción Demanda Sist. Interconectado	%	0,51%
Reducción Anual Emisión CO ₂	Ton	10.297
Reducción Anual en Gasto Energía (**)	MM \$	1.951
	MM US\$	3,49

Tabla 4.9 – Minera Los Pelambres / Proyección Generación Correas Regenerativas

4.4.3 ANÁLISIS CASO BHP BILLITON MINERA ESCONDIDA.

Compañía	BHP Billiton Minera Escondida
Ubicación	II Región Antofagasta
Explotación	Minerales oxidados y sulfurados

Antecedentes Operacionales

Escenario Actual		
Producción Cuprífera		
Cu fino 2009 (Ton)	Ton	1.103.000
Cu fino 2010 (Ton)	Ton	1.087.000
Concentrado 2010 (Ton)	Ton	786.603
Consumo Energía Eléctrica		
Consumo Energía Eléctrica Faena 2009	MWh	3.194.477
% Consumo Elec. Faena sobre Sector Minería 2009	%	17%
Sistema Interconectado que lo abastece		SING
Generación Total Sist. Interconectado 2009	GWh	11.894.722
Factor Emisión CO ₂	Ton/MW	0,912
Precio Medio Mercado Energía Eléctrica 2009	\$/kWh	78,936
% Demanda que consume sobre S. Interconectado	%	27%
CO ₂ asociado al consumo eléctrico	Ton	2.913.044
Costo Energía Consumida 2009	MM\$	252.158
Relaves		
Relaves 2009	Ton	75.331.450
	Tpd	206.388
Planta Concentradora Los Colorados - Depósito Laguna Seca		
Origen	Los Colorados	
Destino	Depósito Laguna Seca	
Desnivel Planta-Tranque	m	10
% Sólidos Relave (en peso)	%	48 y 53%
Relaveducto	km	14
Nº Tuberías	Nº	2
Diámetro Tuberías	Pulg.	48"
Planta Concentradora Laguna Seca - Depósito Laguna Seca		
Origen	Concentradora Laguna Seca	
Destino	Depósito Laguna Seca	
Desnivel Planta-Tranque	m	120
Caudal Relave	m ³ /hr	12.000 -18.000
% Sólidos Relave (en peso)	%	48 y 53%

Gravedad Específica	ton/m ³	2,7
Relaveducto	km	5
Nº Tuberías	Nº	1
Diámetro Tuberías	Pulg.	64"
Observaciones		
<ul style="list-style-type: none"> Tramo Relaveducto Laguna Seca-Depósito (ducto 64", 4.2 km, HDPE) tuvo un costo de MMUS\$ 12,6 (2008). Se instaló una canaleta de respaldo para los relaves en el tramo más bajo, vía cañón cercano. El costo fue de US\$ 400.000/canaleta abierta de 3m de ancho. 		

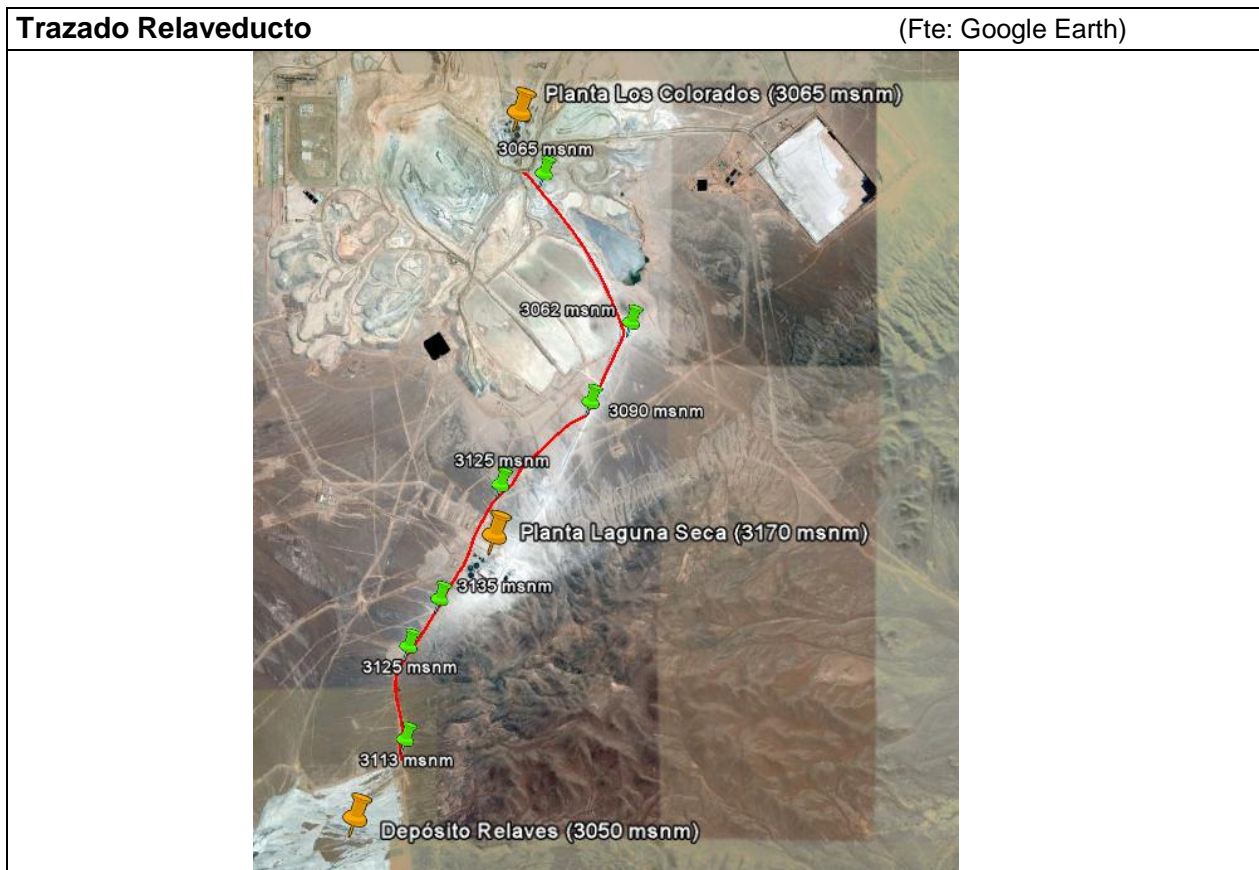


Tabla 4.10 – Variables Operacionales Minera Escondida

Observación - Ampliación Producción Fase V (inicio proyecto 2012)
<ul style="list-style-type: none"> Procesamiento total del mineral sulfurado será de 460.000 tpd (promedio anual). Aumento de un 70% por sobre el procesamiento actual. Aumento de la generación de relave: Relaves (Escondida + Fase V) = 128.063.465 ton anuales, 350.858 tpd. La Planta Concentradora de Fase V se ubicará muy cercada a Planta Laguna Seca. Se instalará una nueva tubería de 48" paralela a las existentes

Referencia Información: [44, 45, 46, 47, 48]

Caso 1: Análisis Recuperación Energética - Generación Mini Hidráulica.

Caso Minera Escondida

Análisis Generación Mini Hidráulica a partir de flujo de Relaves

Potencial Generación

✓ Aplica Potencial Generación.

Se propone la habilitación de deltas que nazcan del trazado original del relaveducto entre Los Colorados y el Deposito Laguna Seca, pero que aprovechen la diferencia de cotas con el cañón contiguo. Sobre estas deltas se instalaran las unidades generadoras.

Análisis Trazado

Se postula:

- la implementación de 10 deltas que aprovechen la diferencia de cotas entre el trazado original y el cañón cercano (120 m. altura, 2 km de largo).
- Cada brazo contendrá 2 minigeneradores en serie, aprovechando el impulso dado por la pendiente y el caudal original.
- Se estima un caudal por delta de 800 a 1.200 m³/hr.
- Estructura Deltas:



Análisis Generación Mini Hidráulica a partir del flujo de Agua Recuperada

Potencial Generación

✗ No Aplica.

Proyección Generación (sobre Caso Base Generación Mini Hidráulica El Teniente)		
Relaves	Pot_Generación	
Estructura Generación		
Desnivel ducto alimentación minicentral	m	40
Flujo a Turbina	m ³ /hr	400
Capacidad Minicentral	MW-día	1,2
Nº Minicentrales		20
Efecto Generación "Recuperación Energética"		
Potencia Instalada Total	MWh	24
Generación Potencial Anual (***)	MWh	7.884
% Autoabastecimiento Eléctrico	%	0,2%
Reducción sobre Demanda Sist. Interconectado	%	0,1%
Reducción Anual Emisión CO ₂	Ton	7.189
Reducción Anual en Gasto Energía (**)	MM \$	622
	MM US\$	1,11


** Sobre PMM 2009_Promedio, Dólar Promedio 2009 = 559,7 pesos

*** Factor de Planta 90%

Tabla 4.11 – Minera Escondida / Proyección Generación Mini Hidráulica

Caso 2: Análisis Rec. Energética - Generación vía Correas Regenerativas.

Caso Minera Escondida

Análisis Generación vía Correas Regenerativas - Transporte de Relaves
Potencial Generación
 Aplica Potencial Generación. Existe energía potencial por diferencia de cotas entre Planta y Tranque.
Análisis Trazado
<ul style="list-style-type: none"> Se postula el reemplazo del ducto de relave actual por correa transportadora regenerativa con cinta nevada sobre un brazo del delta propuesto para el caso 1.
Proyección Generación (sobre Modelo Cálculo Pirelli)

Relaves	Pot_Generación	
Estructura Generación "Recuperación Energética"		
Relaves 2009	Tphr	8.599
Relaveducto	km	5
Desnivel Planta-Tranque	m	120

Características Aplicación Correas Regenerativas		
Opción Correa		Regen.+ Ducto
Tramo Correa Regenerativa	km	2
Desnivel Correa	m	120
Capacidad Generación Correa	MW-año	6.331
	MW-día	17,3
	MWh	0,7
Nº Tramos Correas Regenerativas		1,0
Efecto Generación "Recuperación Energética"		
Generación Potencial Anual (***)	MW-año	6.331
% Autoabastecimiento Eléctrico	%	0,2%
Reducción Demanda Sist. Interconectado	%	0,05%
Reducción Anual Emisión CO ₂	Ton	5.773
Reducción Anual en Gasto Energía (**)	MM \$	500
	MM US\$	0,89

Tabla 4.12 – Minera Escondida / Proyección Generación Correas Regenerativas

4.4.4 ANÁLISIS CASO MINERA LA CANDELARIA.

Compañía	Minera La Candelaria
Ubicación	III Región Atacama
Explotación	Minerales oxidados y sulfurados

Antecedentes Operacionales

Escenario Actual		
Producción Cuprífera		
Cu fino 2009 (Ton)	Ton	134.000
Cu fino 2010 (Ton)	Ton	136.000
Consumo Energía Eléctrica		
Consumo Energía Eléctrica Faena 2009	MWh	677.900
	TJ	2.440
% Consumo Elec. Faena sobre Sector Minería 2009	%	4%
Sistema Interconectado que lo abastece		SIC
Generación Total Sist. Interconectado 2009	GWh	7.046.111
Factor Emisión CO ₂	Ton/MW	0,284
Precio Medio Mercado Energía Eléctrica 2009	\$/kWh	53,804
% Demanda que consume sobre S. Interconectado	%	10%
CO ₂ asociado al consumo eléctrico	Ton	192.524
Costo Energía Consumida 2009	MM\$	36.474
Relaves		
Relaves 2009	Ton	25.541.000
	Tpd	69.975
Planta Concentradora – Tranque La Candelaria		
<i>Origen</i>	Planta Concentradora	
<i>Destino</i>	Tranque La Candelaria	
Desnivel Planta-Tranque	m	-100 (<i>en subida</i>)
% Sólidos Relave (en peso)	%	50 a 60%
Relaveducto	km	3
Observaciones		
<ul style="list-style-type: none"> • Canalización vía cañerías cerradas • Los relaves de Candelaria son procesados por Compañía Minera del Pacífico a fin de recuperar el hierro contenido en el. • En el Tranque Candelaria son depositados los relaves de Candelaria, los relaves post proceso CMP y relaves de Mina Ojos del Salado. 		

Trazado Relaveducto



Fte: Google Earth

Agua Recuperada desde Tranque		
Caudal Agua Recuperada	m ³ /hr	972
Desnivel Planta-Tranque	m	100
Acueducto	km	3

Tabla 4.13 – Variables Operacionales Minera Candelaria

Referencia Información: [51, 52]

Caso 1: Análisis Recuperación Energética - Generación Mini Hidráulica.

Caso Minera Candelaria


Análisis Generación Mini Hidráulica a partir de flujo de Relaves

Potencial Generación



No Aplica

Dado que no se cuenta con un flujo de relave en descenso. El flujo es bombeado al tranque en altura (transportados en forma hidráulica).

Análisis Generación Mini Hidráulica a partir del flujo de Agua Recuperada	
Potencial Generación	
	Aplica Potencial Generación. Dado que el agua recuperada del tranque de relaves va en bajada hacia la concentradora, es posible considerar potencial generación.
Análisis Trazado	
Se postula implementación de 2 minicentrales hidráulicas corrientes, vía bypass sobre el ducto de retorno agua recuperada.	

Proyección Generación (sobre Caso Base Generación Mini Hidráulica El Teniente)		
Agua Recuperada	Pot_Generación	
Estructura Generación		
Desnivel ducto alimentación minicentral	m	30
Flujo a Turbina	m ³ /hr	200
Capacidad Minicentral	MW-día	10
Nº Minicentrales		2
Efecto Generación "Recuperación Energética"		
Potencia Instalada Total	MWh	20
Generación Potencial Anual (***)	MWh	157.680
% Autoabastecimiento Eléctrico	%	23,3%
Reducción sobre Demanda Sist. Interconectado	%	0,002%
Reducción Anual Emisión CO ₂	Ton	44.781
Reducción Anual en Gasto Energía (**)	MM \$	8.484
	MM US\$	15,16


** Sobre PMM 2009_Promedio, Dólar Promedio 2009 = 559,7 pesos

*** Factor de Planta 90%

Tabla 4.14 – Minera Candelaria / Proyección Generación Mini Hidráulica

Caso 2: Análisis Recup. Energética - Generación Correas Regenerativas.

Caso Minera Candelaria

Análisis Generación vía Correas Regenerativas - Transporte de Relaves	
Potencial Generación	
	No Aplica No existe energía potencial por diferencia de cotas entre Planta y Tranque.

4.4.5 ANÁLISIS CASO CODELCO DIVISIÓN ANDINA.

Compañía	Codelco División Andina
Ubicación	V Región (3.600 a 4.000 msnm)
Explotación	Minerales oxidados y sulfurados

Antecedentes Operacionales

Escenario Actual		
Producción Cuprífera		
Cu fino 2009 (Ton)	Ton	209.727
Cu fino 2010 (Ton)	Ton	188.494
Consumo Energía Eléctrica		
Consumo Energía Eléctrica Faena 2009	MWh	594.444
	TJ	2.140
% Consumo Elec. Faena sobre Sector Minería 2009	%	3%
Sistema Interconectado que lo abastece		SIC
Generación Total Sist. Interconectado 2009	GWh	7.046.111
Factor Emisión CO ₂	Ton/MW	0,284
Precio Medio Mercado Energía Eléctrica 2009	\$/kWh	53,804
% Demanda que consume sobre S. Interconectado	%	8%
CO ₂ asociado al consumo eléctrico	Ton	168.822
Costo Energía Consumida 2009	MM\$	31.983
Relaves		
Relaves 2009	Ton	22.442.000
	Tpd	61.485
Planta Concentradora – Tranque Ovejería		
Origen	Pta Concentradora (2500 msn)	
Destino	Tranque Ovejería (600 msnm)	
Desnivel Planta-Tranque	m	3.200
Caudal Relave	m ³ /hr	2.860
% Sólidos Relave (en peso)	%	57%
Relaveducto	km	85
Nº Tuberías	Nº	canaletas
Observaciones		
<ul style="list-style-type: none"> • Emplean una línea de transporte de relaves vía canaleta, siendo un trazado lineal entre mina y tranque. • Canaleta de hormigón (80 cm. ancho x 1 metro altura/abierta y túneles) 		

Trazado Relaveducto (Fte: Google Earth)



Tabla 4.15 – Variables Operacionales Codelco Andina

Referencia Información: [32, 33, 34, 35, 36]

Caso 1: Análisis Recuperación Energética - Generación Mini Hidráulica.

Caso Codelco Andina

Análisis Generación Mini Hidráulica a partir de flujo de Relaves
Potencial Generación
<input checked="" type="checkbox"/> Aplica Potencial Generación. Dada la pendiente y el caudal del relaveducto, se propone colocar minicentrales a lo largo del trazado.
Análisis Trazado
Se postula la instalación de 8 minicentrales a lo largo del trayecto del relaveducto, ubicadas de preferencia en las zonas de rápidos.
Análisis Generación Mini Hidráulica a partir del flujo de Agua Recuperada
Potencial Generación
<input type="checkbox"/> No Aplica.

Proyección Generación (sobre Caso Base Generación Mini Hidráulica El Teniente)		
Relaves	Pot_Generación	
Estructura Generación		
Desnivel ducto alimentación minicentral	m	40
Flujo a Turbina	m ³ /hr	400
Capacidad Minicentral	MW-día	1,2
Nº Minicentrales		10
Efecto Generación "Recuperación Energética"		
Potencia Instalada Total	MW	12
Generación Potencial Anual (***)	MWh	3.942
% Autoabastecimiento Eléctrico	%	0,7%
Reducción sobre Demanda Sist. Interconectado	%	0,1%
Reducción Anual Emisión CO ₂	Ton	1.120
Reducción Anual en Gasto Energía (**)	MM \$	212
	MM US\$	0,38


** Sobre PMM 2009_Promedio, Dólar Promedio 2009 = 559,7 pesos

*** Factor de Planta 90%

Tabla 4.16 – Codelco Andina / Proyección Generación Mini Hidráulica

Caso 2: Análisis Recup. Energética - Generación Correas Regenerativas.

Caso Codelco Andina

Análisis Generación vía Correas Regenerativas - Transporte de Relaves
Potencial Generación
 Aplica Potencial Generación. Existe energía potencial por diferencia de cotas entre Planta y Tranque.
Análisis Trazado
<ul style="list-style-type: none"> Se postula el reemplazo de % ducto actual por correa transportadora regenerativa con cinta nervada.

Proyección Generación (sobre Modelo Cálculo Pirelli)		
Relaves	Pot_Generación	
Estructura Generación "Recuperación Energética"		
Relaves 2009	Tphr	2.562
Relaveducto	km	87
Desnivel Planta-Tranque	m	3.200
Características Aplicación Correas Regenerativas		
Opción Correa		Regen. + Ducto
Tramo Correa Regenerativa	km	10
Desnivel Correa	m	1.800
Capacidad Generación Correa	MW-año	66.186
	MW-día	181,3
	MW-hr	7,6
Nº Tramos Correas Regenerativas		1.0
Efecto Generación "Recuperación Energética"		
Generación Potencial Anual (***)	MW-año	66.186
% Autoabastecimiento Eléctrico	%	11,1%
Reducción Demanda Sist. Interconectado	%	0,94%
Reducción Anual Emisión CO ₂	Ton	18.797
Reducción Anual en Gasto Energía (**)	MM \$	3.561
	MM US\$	6,36

Tabla 4.17 – Codelco Andina / Proyección Generación Correas Regenerativas

4.4.6 ANÁLISIS CASO CODELCO DIVISIÓN EL SALVADOR.

Compañía	Codelco División El Salvador
Ubicación	III Región
Explotación	Minerales oxidados y sulfurados

Antecedentes Operacionales

Escenario Actual		
Producción Cuprífera		
Cu fino 2009 (Ton)	Ton	65.500
Cu fino 2010 (Ton)	Ton	76.180
Consumo Energía Eléctrica		
Consumo Energía Eléctrica Faena 2009	MWh	547.222
% Consumo Elec. Faena sobre Sector Minería 2009	%	3%
Sistema Interconectado que lo abastece		SING
Generación Total Sist. Interconectado 2009	GWh	11.894.722
Factor Emisión CO ₂	Ton/MW	0,912
Precio Medio Mercado Energía Eléctrica 2009	\$/kWh	78,936
% Demanda que consume sobre S. Interconectado	%	5%
CO ₂ asociado al consumo eléctrico	Ton	499.012
Costo Energía Consumida 2009	MM\$	43.195
Relaves		
Relaves 2009	Ton	10.525.000
	Tpd	28.836
Planta Concentradora – Tranque		
Origen	Planta Concentradora	
Destino	Tranque Pampa Austral	
Desnivel Planta-Tranque	m	1.450
Caudal Relave	m ³ /hr	2.160
% Sólidos Relave (en peso)	%	50%
Relaveducto	km	57

Trazado Relaveducto



Fte: Google Earth

Agua Recuperada desde Tranque		
Caudal Agua Recuperada	m ³ /hr	792
Desnivel Planta-Tranque	m	35
Acueducto	km	16
Observaciones		
<ul style="list-style-type: none"> • Canal de aguas claras de 16 km de largo (canal de hormigón). • Caudal promedio de 220 l/s (bombeado), disponible 16 horas por día. • Existen 11 compuertas para entrega de aguas a lo largo de los 16 km de extensión. 		

Trazado Agua Recuperada



Tabla 4.18 – Variables Operacionales Codelco Salvador

Caso 1: Análisis Recuperación Energética - Generación Mini Hidráulica.

Caso Codelco Salvador

Análisis Generación Mini Hidráulica a partir de flujo de Relaves

Potencial Generación



Aplica Potencial Generación.

Dada la pendiente y el caudal del relaveducto, se propone colocar minicentrales a lo largo del trazado.

Análisis Trazado

Se postula:

- localizar centrales sobre el trazado actual (+ ducto), ó
- retrazar canalización de relave en tramos primarios (abrir 4 brazos para 8 minicentrales).

MC: Minicentral



Análisis Generación Mini Hidráulica a partir del flujo de Agua Recuperada

Potencial Generación



No Aplica.

Proyección Generación (sobre Caso Base Generación Mini Hidráulica El Teniente)		
Relaves	Pot_Generación	
Estructura Generación		
Desnivel ducto alimentación minicentral	m	40
Flujo a Turbina	m3/hr	400
Capacidad Minicentral	MW-día	1,2
Nº Minicentrales		8
Efecto Generación "Recuperación Energética"		
Potencia Instalada Total	MW	10
Generación Potencial Anual (***)	MWh	3.154
% Autoabastecimiento Eléctrico	%	0,6%
Reducción sobre Demanda Sist. Interconectado	%	0,03%
Reducción Anual Emisión CO ₂	Ton	2.876
Reducción Anual en Gasto Energía (**)	MM \$	249
	MM US\$	0,44


** Sobre PMM 2009_Promedio, Dólar Promedio 2009 = 559,7 pesos

*** Factor de Planta 90%

Tabla 4.19 – Codelco Salvador / Proyección Generación Mini Hidráulica

Caso 2: Análisis Recup. Energética - Generación Correas Regenerativas.

Caso Codelco Salvador

Análisis Generación vía Correas Regenerativas - Transporte de Relaves
Potencial Generación
 Aplica Potencial Generación. Existe energía potencial por diferencia de cotas entre Planta y Tranque.
Análisis Trazado
<ul style="list-style-type: none"> Se postula el reemplazo de % ducto de relave actual por correas transportadoras con cinta nervada.

Proyección Generación (sobre Modelo Cálculo Pirelli)		
Relaves	Pot_Generación	
Estructura Generación "Recuperación Energética"		
Relaves 2009	Tphr	1.201
Relaveducto	km	57
Desnivel Planta-Tranque	m	1.450
Características Aplicación Correas Regenerativas		
Opción Correa		Regen. + Ducto
Tramo Correa Regenerativa	km	6
Desnivel Correa	m	1.000
Capacidad Generación Correa	MW-año	8.604
	MW-día	23,6
	MWh	1,0
Nº Tramos Correas Regenerativas		1,0
Efecto Generación "Recuperación Energética"		
Generación Potencial Anual (***)	MW-año	8.604
% Autoabastecimiento Eléctrico	%	1,6%
Reducción Demanda Sist. Interconectado	%	0,07%
Reducción Anual Emisión CO ₂	Ton	7.846
Reducción Anual en Gasto Energía (**)	MM \$	679
	MM US\$	1,21

Tabla 4.20 – Codelco Salvador / Proyección Generación Correas Regenerativas

4.4.7 ANÁLISIS CASO CODELCO NORTE.

Compañía	Codelco Norte
Ubicación	II Región Antofagasta
Explotación	Minerales oxidados y sulfurados

Antecedentes Operacionales

Escenario Actual		
Producción Cuprífera		
Cu fino 2009 (Ton)	Ton	874.000
Cu fino 2010 (Ton)	Ton	528.000
Observaciones		
Mina Chuquicamata Subterránea:		
<ul style="list-style-type: none"> • Para el año 2019 se estima que ocurrirá el cambio de extracción pasando a ser explotada en modalidad subterránea. • Su tasa de producción diaria en régimen será de 140.000 tpd, lo que significará una producción de 340.000 toneladas de cobre fino anuales (39% producción 2009). 		
Consumo Energía Eléctrica		
Consumo Energía Eléctrica Faena 2009	MWh	3.227.777
	TJ	11.618
% Consumo Elec. Faena sobre Sector Minería 2009	%	17%
Sistema Interconectado que lo abastece		SING
Generación Total Sist. Interconectado 2009	GWh	11.894.722
Factor Emisión CO ₂	Ton/MW	0,912
Precio Medio Mercado Energía Eléctrica 2009	\$/kWh	78,936
% Demanda que consume sobre S. Interconectado	%	27%
CO ₂ asociado al consumo eléctrico	Ton	2.943.410
Costo Energía Consumida 2009	MM\$	254.787
Relaves		
Relaves 2009	Ton	59.268.000
	Tpd	162.378
Planta Concentradora – Preco⁵ - Tranque Talabre		
Origen	Planta Concentradora A0, A1, A2	
Destino	Tranque Talabre	
Desnivel Concentradora - Preco	m	155
Desnivel Preco - Tranque	m	60
Caudal Relave	m ³ /hr	8.640
% Sólidos Relave (en peso)	%	56 – 58 %

⁵ Preco: Planta tratamiento relaves, recuperación de cobre. Opera hasta 2012.

Densidad Granulométrica	micrones	1,5 – 1,6 l/m
Relaveducto Concentradora - Preco	km	7,0
Relaveducto Preco - Tranque	km	3,5
Nº Tuberías	Nº	2
Diámetro Tuberías	Pulg.	28"
Observaciones		
<ul style="list-style-type: none"> • Tuberías enterradas a poca profundidad. • Parte de los relaves van a reproceso en Preco2. • Chuquicamata pasará a extracción subterránea en los próximos años (2018), reduciendo en un 35% su producción de cobre. 		

Trazado Relaveducto




Fte: Google Earth


Tabla 4.21 – Variables Operacionales Codelco Norte

Referencias Información: [32, 33, 34, 35, 37]

Caso 1: Análisis Recuperación Energética - Generación Mini Hidráulica.

Caso Codelco Norte

Análisis Generación Mini Hidráulica a partir de flujo de Relaves
Potencial Generación
 Aplica Potencial Generación. Se propone considerar trazado directo entre concentradora y tranque, de modo de tener un desnivel de 215 m. La simulación considera el nuevo escenario "subterráneo", el cual implica reducción en los caudales de relave.
Análisis Trazado
Se postula: <ul style="list-style-type: none"> retrazar canalización de relave directa entre concentradora y tranque, para lograr desnivel de 215 m., localizar 12 deltas paralelos con 1 minicentral por rama.


Análisis Generación a partir del flujo de Agua Recuperada
Potencial Generación
 No Aplica.

Proyección Generación (sobre Caso Base Generación Mini Hidráulica El Teniente)		
Relaves (<i>escenario Chuquicamata Subterránea</i>)	Pot_Generación	
Estructura Generación		
Desnivel ducto alimentación minicentral	m	40
Flujo a Turbina	m ³ /hr	400
Capacidad Minicentral	MW-día	1,2
Nº Minicentrales		12
Efecto Generación "Recuperación Energética"		
Potencia Instalada Total	MW	14
Generación Potencial Anual (***)	MWh	4.730
% Autoabastecimiento Eléctrico	%	0,1%
Reducción sobre Demanda Sist. Interconectado	%	0,04%
Reducción Anual Emisión CO ₂	Ton	4.314
Reducción Anual en Gasto Energía (**)	MM \$	373
	MM US\$	0,67

Tabla 4.22 – Codelco Norte / Proyección Generación Mini Hidráulica

Caso 2: Análisis Recup. Energética - Generación Correas Regenerativas.

Caso Codelco Norte

Análisis Generación vía Correas Regenerativas - Transporte de Relaves	
Potencial Generación	
	Aplica Potencial Generación. Existe energía potencial por diferencia de cotas entre Planta y Tranque.
Análisis Trazado	
<ul style="list-style-type: none"> Se postula el reemplazo de % ducto de relave actual por correa transportadora regenerativa con cinta nervada. 	

Proyección Generación (sobre Modelo Cálculo Pirelli)		
Relaves	Pot_Generación	
Estructura Generación "Recuperación Energética"		
Relaves 2009	Tphr	6.766
Relaveducto	km	10
Desnivel Planta-Tranque	m	270
Características Aplicación Correas Regenerativas		
Opción Correa		Regen + Ducto
Tramo Correa Regenerativa	km	4
Desnivel Correa	m	270
Capacidad Generación Correa	MW-año	12.728
	MW-día	34,9
	MWh	1,5
Nº Tramos Correas Regenerativas		1,0
Efecto Generación "Recuperación Energética"		
Generación Potencial Anual (***)	MW-año	12.728
% Autoabastecimiento Eléctrico	%	0,4%
Reducción Demanda Sist. Interconectado	%	0,11%
Reducción Anual Emisión CO ₂	Ton	11.607
Reducción Anual en Gasto Energía (**)	MM \$	1.005
	MM US\$	1,80

Tabla 4.23 – Codelco Norte / Proyección Generación Correas Regenerativas

4.4.8 ANALISIS CASO MINERA COLLAHUASI.

Compañía	Minera Collahuasi
Ubicación	II Región Antofagasta
Explotación	Minerales oxidados y sulfurados

Antecedentes Operacionales

Escenario Actual		
Producción Cuprífera		
Cu fino 2009 (Ton)	Ton	536.000
Cu fino 2010 (Ton)	Ton	504.000
Consumo Energía Eléctrica		
Consumo Energía Eléctrica Faena 2009	MW	1.294.669
	TJ	4.660
% Consumo Elec. Faena sobre Sector Minería 2009	%	7%
Sistema Interconectado que lo abastece		SING
Generación Total Sist. Interconectado 2009	GW	11.894.722
Factor Emisión CO ₂	Ton/MW	0,912
Precio Medio Mercado Energía Eléctrica 2009	\$/kWh	78,936
% Demanda que consume sobre S. Interconectado	%	11%
CO ₂ asociado al consumo eléctrico	Ton	1.180.609
Costo Energía Consumida 2009	MM\$	102.196
Relaves		
Relaves 2009	Ton	60.225.000
	Tpd	165.000
Planta Concentradora - Tranque		
Origen	Planta Concentradora	
Destino	Tranque Pampa Pabellón	
Desnivel Planta-Tranque	m	120
Caudal Relave	m ³ /hr	10.260
% Sólidos Relave (en peso)	%	55%
Relaveducto	km	2,5
Nº Tuberías	Nº	2
Observaciones		
Proyecto Optimización a 170 KTPD:		
<ul style="list-style-type: none"> • aumento de la generación de relaves desde 121.000 tpd hasta 165.000 tpd, • Emplearan relaves en pasta, para lo cual implementaran espesadores contiguos al tranque. El transporte del relave entre planta y espesadores será por 2 tuberías paralelas, y la impulsión empleará 4 bombas en serie por cada tubería, • Espesamiento de relaves /Relave en pasta (Tecnología TTD - Thickened Tailings Disposal). % sólidos: 65 a 69%. 		

Trazado Relaveducto



Fte: Google Earth

Agua Recuperada desde Tranque		
Caudal Agua Recuperada	m ³ /hr	11.246
Desnivel Planta-Tranque	m	120
Observaciones		
<ul style="list-style-type: none"> • Generación Aguas de Relave 400 a 1000 L/s. • Recirculación Agua Recuperada: tranque a planta en forma gravitacional • 2009: 76,12% del consumo de agua es cubierto por el agua recuperada. 		

Tabla 4.24 – Variables Operacionales Collahuasi

Caso 1: Análisis Recuperación Energética - Generación Mini Hidráulica.

Caso Collahuasi

Análisis Generación Mini Hidráulica a partir de flujo de Relaves
Potencial Generación
<input checked="" type="checkbox"/> Aplica Potencial Generación. Se propone instalación de ramales paralelos con minicentrales.
Análisis Trazado
Se postula: <ul style="list-style-type: none"> • la implementación de 8 deltas que aprovechen la diferencia de cotas entre el trazado original y el tranque (120 m). • Cada brazo contendrá 1 minigenerador, aprovechando el impulso dado por la pendiente y el caudal original.

Análisis Generación Mini Hidráulica a partir del flujo de Agua Recuperada

Potencial Generación



No Aplica.

Proyección Generación (sobre Caso Base Generación Mini Hidráulica El Teniente)

Relaves	Pot_Generación	
Estructura Generación		
Desnivel ducto alimentación minicentral	m	60
Flujo a Turbina	m ³ /hr	400
Capacidad Minicentral	MW-día	1,2
Nº Minicentrales		8
Efecto Generación "Recuperación Energética"		
Potencia Instalada Total	MWh	10
Generación Potencial Anual (***)	MWh	3.154
% Autoabastecimiento Eléctrico	%	0,2%
Reducción sobre Demanda Sist. Interconectado	%	0,03%
Reducción Anual Emisión CO ₂	Ton	2.876
Reducción Anual en Gasto Energía (**)	MM \$	249
	MM US\$	0,44

** Sobre PMM 2009_Promedio, Dólar Promedio 2009 = 559,7 pesos

*** Factor de Planta 90%

Tabla 4.25 – Collahuasi / Proyección Generación Mini Hidráulica

Caso 2: Análisis Rec. Energética - Generación vía Correas Regenerativas.

Caso Collahuasi

Análisis Generación vía Correas Regenerativas - Transporte de Relaves

Potencial Generación



Aplica Potencial Generación.

Existe energía potencial por diferencia de cotas entre Planta y Tranque.

Análisis Trazado

- Se postula el reemplazo del ducto de relave actual por correa transportadora regenerativa con cinta nervada.

Proyección Generación (sobre Modelo Cálculo Pirelli)		
Relaves	Pot_Generación	
Estructura Generación "Recuperación Energética"		
Relaves 2009	Tphr	6.875
Relaveducto	km	2,5
Desnivel Planta-Tranque	m	120
Características Aplicación Correas Regenerativas		
Opción Correa		Regen.
Tramo Correa Regenerativa	km	2,5
Desnivel Correa	m	120
Capacidad Generación Correa	MW-año	170
	MW-día	0,5
	MWh	0,02
Nº Tramos Correas Regenerativas		1,0
Efecto Generación "Recuperación Energética"		
Generación Potencial Anual (***)	MW-año	170
% Autoabastecimiento Eléctrico	%	0,013%
Reducción Demanda Sist. Interconectado	%	0,001%
Reducción Anual Emisión CO ₂	Ton	155
Reducción Anual en Gasto Energía (**)	MM \$	13
	MM US\$	0,02

Tabla 4.26 – Collahuasi / Proyección Generación Correas Regenerativas

4.5 Visión Global / Potencial de Recuperación Energética en Relaves.

Bajo la óptica exclusiva de la factibilidad técnica, y en el marco de la aplicación global de las soluciones, se establece:

4.5.1 Generación Mini Hidráulica en Relaves.

En el caso de la Recuperación Energética vía Generación Mini Hidráulica en Relaves, la simulación permite considerar la obtención anual de:

- Liberación de la demanda de 33,5 GWh sobre los sistemas interconectados,
- Reducción de 21,4 kTon de CO₂.

CUADRO SINÓPTICO		CODELCO NORTE	COLLAHUASI	ESCONDIDA	SALVADOR	TENIENTE	PELAMBRES	ANDINA
Consumo Eléctrico 2009		SING				SIC		
Consumo Energía Eléctrica Faena	MWh-año	3.227.777	1.294.669	3.194.477	547.222	1.938.889	918.789	594.444
% Demanda sobre S. Interconectado	%	27%	11%	27%	5%	28%	13%	8%
CO2 asociado al consumo eléctrico	Ton	2.943.410	1.180.609	2.913.044	499.012	550.644	260.936	168.822
Costo Energía Consumida 2009	MMS	254.787	102.196	252.158	43.195	104.320	49.435	31.983
Generación Hidraulica sobre Relaves		●	●	●	●	●	●	●
Generación Potencial Anual (*)	MWh-año	4.730	3.154	7.884	3.154	4.336	6.307	3.942
Generación Potencial hora	Mwh	0,5	0,4	0,9	0,4	0,5	0,7	0,5
% Autoabastecimiento Electrico	%	0,1%	0,2%	0,2%	0,6%	0,2%	0,7%	0,7%
% Demanda sobre S. Interconectado	%	0,04%	0,03%	0,07%	0,03%	0,06%	0,09%	0,06%
Reducción Emisión CO2	Ton	4.314	2.876	7.189	2.876	1.231	1.791	1.120
Reducción Anual en Gasto Energía	MMS	373	249	622	249	233	339	212
	MM US\$	0,7	0,4	1,1	0,4	0,4	0,6	0,4
		Ahorro Consumo/Negawatts SING				Ahorro Consumo/Negawatts SIC		
	MWh-año	18.922				14.585		
	%	0,2%				0,3%		

(*) NegaWatts

Tabla 4.27 - Cuadro Sinóptico Generación Mini Hidráulica en Relaves

La proyección de generación identifica una reducción de un 0,2% sobre la demanda de energía eléctrica de la Gran Minería del Cobre, con una liberación financiera de 4,1 MMUS\$ anual por concepto "Costo Energía".

4.5.2 Generación Eléctrica vía Correas Regenerativas en Relaves.

En cuanto a la Recuperación Energética vía correas regenerativas en el transporte de los relaves (reemplazando un % relaveducto), la simulación permite considerar la obtención anual de:

- Liberación de la demanda de 217 GWh sobre los sistemas interconectados,
- Reducción de 79 kTon de CO₂.

MINICENTRALES CORREA REGENERATIVA ESCENARIO 2009		CODELCO	COLLAHUASI	ESCONDIDA	SALVADOR	TENIENTE	PELAMBRÉS	ANDINA
		NORTE	SING			SIC		
Estructura generación "Recuperación Energética"								
Relaves 2009	Tphr	6.766	6.875	8.599	1.201	5.380	5.272	2.562
Relaveducto (extensión)	kms	10,0	2,5	5,0	57,0	85,0	60,0	87,0
Desnivel planta-tranque	mtrs	270	120	120	1.450	2.000	755	3.200
Trayecto horizontal	mtrs	9.996	2.497	4.999	56.982	84.976	59.995	86.941
Combinación correa-relaveducto		Regen + ducto	Regen	Regen + ducto	Regen + ducto	Regen + ducto	Regen + ducto	Regen + ducto
Parámetros correas descendentes (regenerativas)								
Tramo correa regenerativa	kms	4,0	2,5	2,0	6,0	12,0	6,0	10,0
Desnivel correa regenerativa (altura)	mtrs	270	120	120	1.000	1.300	600	1.800
Distancia sobre horizontal	mtrs	3.991	2.497	1.996	5.916	11.929	5.970	9.837
Angulo sobre horizontal	grados	3,9	2,8	3,4	9,6	6,2	5,7	10,4
Ancho correa	mm	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800
Velocidad	m/s	6	6	6	6	6	6	6
Nº correas regenerativas		1	1	1	1	1	1	1
Cálculo potencias correas descendentes (regenerativas) según manual Pirelli								
Potencia para mover correa en vacío	CV	1.518	950	759	2.250	4.538	2.271	3.742
Potencia transporte horizontal material	CV	3.265	2.076	2.076	860	7.762	3.807	3.048
Potencia transporte vertical material	CV	6.759	3.053	3.818	4.445	25.878	11.705	17.062
Potencia Total (generación)	CV	-1.976	-26	-983	-1.335	-13.578	-5.627	-10.273
	MW	-1,45	-0,02	-0,72	-0,98	-9,99	-4,14	-7,56
Efecto generación "Recuperación Energética"								
Generación potencial anual (***)	MW-año	12.728	170	6.331	8.604	87.485	36.257	66.186
<i>PMM: Precio Medio Mercado / CNE</i>								
<i>** Sobre PMM 2009_Promedio, Dólar Promedio 2009 = 559,7 pesos</i>								
<i>*** Factor de Planta 90%</i>								
Consumo eléctrico 2009		SING			SIC			
Consumo energía eléctrica faena	MWh-año	3.227.777	1.294.669	3.194.477	547.222	1.938.889	918.789	594.444
% Demanda sobre sist. inter.	%	27%	11%	27%	5%	28%	13%	8%
CO2 asociado al consumo eléctrico	Ton	2.943.410	1.180.609	2.913.044	499.012	550.644	260.936	168.822
Costo energía consumida 2009	MMS	254.787	102.196	252.158	43.195	104.320	49.435	31.983
Generación correas regenerativas		●	●	●	●	●	●	●
Generación potencial anual (*)	MWh-año	12.728	170	6.331	8.604	87.485	36.257	66.186
Generación potencial hora	Mwh	1,5	0,0	0,7	1,0	10,0	4,1	7,6
% Autoabastecimiento eléctrico	%	0,4%	0,0%	0,2%	1,6%	4,5%	3,9%	11,1%
% Reducción demanda sist. inter.	%	0,11%	0,00%	0,05%	0,07%	1,24%	0,51%	0,94%
Reducción anual emisión CO2	Ton	11.607	155	5.773	7.846	24.846	10.297	18.797
Reducción anual en gasto energía	MMS	1.005	13	500	679	4.707	1.951	3.561
	MM US\$	1,8	0,0	0,9	1,2	8,4	3,5	6,4
		Ahorro Consumo/Negawatts SING			Ahorro Consumo/Negawatts SIC			
	MWh-año	27.833			189.929			
	%	0,3%			3,5%			
<i>(*) NegaWatts</i>								

Tabla 4.28 - Cuadro Sinóptico Generación Eléctrica vía Correas Regenerativas en Relaves

La proyección de generación identifica una reducción de un 1,6% sobre la demanda de energía eléctrica de la Gran Minería del Cobre, con una liberación financiera de 22 MMUS\$ anual.

Se aprecia que el mayor potencial de este tipo de generación esta en las faenas con flujo superior a 5.000 Tph y con desnivel superior a 5,0 grados. La gran mayoría de las faenas que cumplen con estas condiciones están sobre el Sistema Interconectad Central SIC.

4.6 Evaluación Técnico-Económica - Generación Mini Hidráulica.

4.6.1 Generación Eléctrica vía Turbinas en Relaves.

Efectuando la evaluación económica de la generación mini hidráulica, y sobre la base de:

Gastos de Operación/Mantenición.

- Los gastos operacionales anuales por nodo generador ascienden a un 10% de la inversión del equipo, y consideran personal operativo que administre el complejo,
- Los gastos de mantención anual por nodo generador ascienden a un 10% de la inversión del equipo, y considera el reemplazo de las piezas con alto desgaste⁶.

Fuentes de financiamiento total o parcial.

- Financiamiento del Banco Mundial (vía FMAM), en porcentaje conservador (20%).
- Venta de bonos de carbono (modalidad contrato 21 años).

Se establece:

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA CUADRO SINÓPTICO		CODELCO NORTE	COLLAHUASI	ESCONDIDA	SALVADOR	TENIENTE	PELAMBRÉS	ANDINA
		SING				SIC		
Estructura Generación Hidráulica vía Relaves		●	●	●	●	●	●	●
Capacidad Minicentral	MWh	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Nº Minicentrales	#	12	8	20	8	11	16	10
Costo Implementación								
Equipos + Ingeniería + Construcción	MMUS\$	2,4	1,6	4,0	1,6	2,2	3,2	2,0
Trazados								
Costo Operación 10 años								
Costo Operacional (10% Costo Implem)	MMUS\$	2,9	2,0	4,9	2,0	2,7	3,9	2,5
Costo Mantenimiento (10% Costo Implem)	MMUS\$	2,6	1,7	4,3	1,7	2,4	3,4	2,2
Total Implem + Oper(10 años)	MMUS\$	7,9	5,3	13,2	5,3	7,3	10,6	6,6
Financiamiento Implementación								
Financiamiento Propio	MMUS\$	1,9	1,3	3,2	1,3	1,8	2,6	1,6
20% Cofinanciamiento FMAM	MMUS\$	0,5	0,3	0,8	0,3	0,4	0,6	0,4
Financiamiento Operación 10 años								
Financiamiento Propio	MMUS\$	4,9	4,8	12,1	4,8	7,1	10,3	6,4
Financiamiento Bonos Carbono (14 años)	MMUS\$	0,6	0,4	1,1	0,4	0,2	0,3	0,2
Ahorro Compra Energía 10 años								
Ahorro Energía 10 años	MMUS\$	6,7	4,4	11,1	4,4	4,2	6,1	3,8
Evaluación Inversión Efic. Energética 10 años		●	●	●	●	●	●	●
Período Recuperación Simple (PRS a 10 años)		1,1	1,1	1,1	1,1	1,7	1,7	1,7
SING - Período Recuperación Simple (12 años)		1,0	1,0	1,0	1,0			
SIC - Período Recuperación Simple (50 años)						1,3	1,3	1,3
Valor Actual Neto (VAN 10 años)		-1,0	-0,7	-1,7	-0,7	-2,6	-3,7	-2,3
Tasa Interna de Retorno (TIR 10 años)		-5%	-5%	-5%	-5%			
<small>1 Cer = 1 Ton. CO2 = 15 US\$ (Mercado 2011) Tasa Descuento: 6% Como ingresos en operación se consideró el ahorro energético y la venta de CERs Los Bronces y Candelaria no aplican a Generación vía Relaves</small>								

Tabla 4.29 - Cuadro Sinóptico Generación Eléctrica vía Turbinas en Relaves

⁶ Los montos de operación y mantención fueron establecidos a partir del piloto de División El Teniente.

Analizando la inversión y proyección de costos, es posible indicar:

- La aportación de la generación mini hidráulica vía relaves no es significativa, en cuanto a reducir en un porcentaje relevante la demanda de cada faena sobre su respectivo sistema interconectado.
- Los altos costos de mantención y operación, producto esencialmente del fuerte compromiso abrasivo que el flujo de relaves imprime sobre las turbinas y ductos, comprometen la efectividad económica de este tipo de generación.
- Para las faenas sobre el SING, la recuperación simple de la inversión ocurre recién en el año 12 de operación. En el caso del SIC, la inversión y operación siempre rebasan el ahorro.

Esta diferencia radica principalmente en la diferencia de precio de la energía en ambos sistemas interconectados.

4.6.2 Generación Eléctrica vía Correas Regenerativas en Relaves.

Efectuando la evaluación técnico-económica, y sobre la base de:

Gastos de Operación/Mantención.

- El gasto anual de operacional y mantención por correa regeneradora se estimaron en un 8% de la inversión de implementación (personal operativo que administre el complejo generador + mantención correa transportadora).

Fuentes de financiamiento total o parcial.

- Financiamiento Banco Mundial (FMAM), en un porcentaje conservador (20%).
- Venta de bonos de carbono (contrato en esquema 14 a 21 años renovables).

Se establece que:

1^{er} Caso Evaluación: Trazado y procesamiento de relaves originales.

Consideraciones:

- Reemplazo de un tramo de ducto por correa regenerativa,
- Costo Implementación 1 km Correa Regen. Superficial igual a 2,5 MMUS\$⁷,
- Trazado y largo de relaveducto original, no modificado.

Luego, la evaluación económica indica:

⁷ Promedio estimado a partir de información obtenida del sector y de costos Comex correas regenerativas.

CUADRO SINÓPTICO		CODELCO NORTE	COLLAHUASI	ESCONDIDA	SALVADOR	TENIENTE	PELAMBRES	ANDINA
		SING						
Estructura Generación Relaves vía Correas Regen.		●	●	●	●	●	●	●
Capacidad Anual Red Correas	MWh-año	12.728	170	6.331	8.604	87.485	36.257	66.186
Largo Correas Regenerativas	kms	4	3	2	6	12	6	10
<i>Costo Implementación 1 km de Correa Regenerativa Superficial 2,5 MMUS\$</i>								
Costo Implementación Correas Regenerativas (*)								
Equipos + Ingeniería + Construcción (*)	MMUS\$	10,0	6,3	5,0	15,0	30,0	15,0	25,0
Costo Operación 15 años								
Costo Oper/Mant (8% Costo Implem)	MMUS\$	12,0	7,5	6,0	18,0	36,0	18,0	30,0
Total Implem + Oper(15 años)	MMUS\$	22,0	13,8	11,0	33,0	66,0	33,0	55,0
Financiamiento Implementación								
Financiamiento Propio	MMUS\$	8,0	5,0	4,0	12,0	24,0	12,0	20,0
20% Cofinanciamiento FMAM	MMUS\$	2,0	1,3	1,0	3,0	6,0	3,0	5,0
Financiamiento Operación 15 años								
Financiamiento Propio	MMUS\$	9,4	7,5	4,7	16,2	30,4	15,7	25,8
Financiamiento Bonos Carbono (14 años)	MMUS\$	2,6	0,0	1,3	1,8	5,6	2,3	4,2
Ahorro Compra Energía 15 años								
Ahorro Energía	MMUS\$	26,9	0,4	13,4	18,2	126,1	52,3	95,4
Evaluación Inversión Efic. Energética		●	●	●	●	●	●	●
Período Recuperación Simple (PRS a 15 años)		0,7	34,8	0,7	1,7	0,5	0,6	0,6
SING - Período Recuperación Simple (9 años)		1,0	45,3	1,0	2,2			
SIC - Período Recuperación Simple (6 años)						0,8	1,0	0,9
PERIODO 15 años		●	●	●	●	●	●	●
Valor Actual Neto (VAN 15 años)		1,3	-10,2	0,6	-12,9	30,2	8,2	19,0
Tasa Interna de Retorno (TIR 15 años)		8%	****	8%	****	20%	14%	17%
<i>Tasa Descuento: 6%</i>								
<i>Como ingresos en operación se consideró el ahorro energético y la venta de CERs (1 Cer = 1 Ton. CO2 = 15 US\$ (Mercado 2011))</i>								
<i>Implementación correa no contempla ejecución de tuneles y reforzamiento. **** Todos los años pérdidas</i>								

Tabla 4.30 - Cuadro Sinóptico Generación Eléctrica vía Correas Regenerativas en Relaves (reemplazo % ducto por correa regen.)

La solución de generación eléctrica vía correa regenerativa sobre condiciones originales de trazado y procesamiento, es notoriamente viable técnica y económicamente para Codelco El Teniente, Codelco Andina y Los Pelambres, y en menor grado para Codelco Norte y Escondida.

Para los casos de Collahuasi y Codelco El Salvador, la operación no logra equiparar la inversión necesaria.

Observación.

Aplicación Correas transportadoras sobre todo el trazado original.

Al analizar la posibilidad de reemplazar todo el ducto original por correas transportadoras (% regenerativas + % normales), se estableció su inviabilidad desde el punto de vista de la generación. Dadas sus extensiones y carga, el sistema completo (regen. + normal), consume energía en vez de entregarla.

MINICENTRALES CORREA REGENERATIVA + NORMAL EXTENSIÓN ORIGINAL TRANSPORTE RELAVES ESCENARIO 2009		CODELCO NORTE	COLLAHUASI	ESCONDIDA	SALVADOR	TENIENTE	PELAMBRES	ANDINA
		SING				SIC		
Estructura Generación "Recuperación Energética"								
Relaves 2009	Tphr	6.766	6.875	8.599	1.201	5.380	5.272	2.562
Relaveducto (extensión original)	kms	10,0	2,5	5,0	57,0	85,0	60,0	87,0
Desnivel planta-tranque	mtrs	270	120	120	1.450	2.000	755	3.200
Parámetros correas		Reg + Norm	Regen	Reg + Norm	Reg + Norm	Reg + Norm	Reg + Norm	Reg + Norm
Tramo Descendente Regenerativo								
Tramo correa regenerativa	kms	4,0	2,5	2,0	6,0	12,0	6,0	10,0
Desnivel correa regenerativa (altura)	mtrs	270	120	120	1.000	1.300	600	1.800
Tramo Horizontal ó Descendente normal								
Tramo correa horizontal ó descendente	mtrs	5.996	0	2.999	50.982	72.976	53.995	76.941
Desnivel correa regenerativa (altura)	mtrs	0	0	0	450	700	155	1.400
Cálculos potencias según manual Pirelli								
Tramo Descendente Regenerativo								
Potencia Total (generación)	CV	-1.976	-26	-983	-1.335	-13.578	-5.627	-10.273
	MW	-1,45	-0,02	-0,72	-0,98	-9,99	-4,14	-7,56
Tramo Horizontal ó Descendente normal								
Potencia para mover correa en vacío	CV	2.281	0	1.141	19.393	27.760	20.540	29.268
Potencia Total (consumo)	CV	7.187	0	4.259	24.801	61.306	51.944	39.835
	MW	5,29	0,00	3,13	18,24	45,09	38,21	29,30
Efecto generación "Recuperación Energética"								
Generación potencial anual (***)	MW-año	-33.579	170	-21.110	-151.185	-307.509	-298.419	-190.473

Detalle de cálculo en Anexo D

2^{do} Caso Evaluación: Reducción trazado relaves y aplicación exclusiva de correas para su transporte.

Consideraciones:

- Acercamiento del depósito de relaves a las plantas (reducción trazado).
 - Implementación correa regenerativa + correa normal horizontal
 - Relación costo correa normal versus correa regenerativa igual a 0,65,
 - Configuración correa regenerativa según caso anterior,
- la evaluación técnico-económica, indica que el par correas regenerativas + normales se viabiliza para las siguientes extensiones máximas:

MINICENTRALES CORREA REGENERATIVA + NORMAL REDUCCIÓN EXTENSIÓN TRANSPORTE RELAVES ESCENARIO 2009		CODELCO	COLLAHUASI	ESCONDIDA	SALVADOR	TENIENTE	PELAMBRES	ANDINA
		NORTE	SING				SIC	
Estructura Generación "Recuperación Energética"								
Relaves 2009	Tphr	6.766	6.875	8.599	1.201	5.380	5.272	2.562
Relaveducto (extensión original)	kms	10,0	2,5	5,0	57,0	85,0	60,0	87,0
Relaveducto (extensión máxima viable)	kms	4,1	2,5	2,0	6,1	15,5	7,0	13,0
% Reducción extensión	%	59%	0%	59%	89%	82%	88%	85%
Desnivel planta-tranque	mtrs	270	120	120	1.450	2.000	755	3.200
Trayecto horizontal	mtrs	4.081	2.497	2.036	5.916	15.349	6.910	12.617
Cálculos potencias según manual Pirelli								
Tramo Descendente Regenerativo								
Potencia para mover correa en vacío	CV	1.518	950	759	2.250	4.538	2.271	3.742
Potencia transporte horizontal material	CV	3.265	2.076	2.076	860	7.762	3.807	3.048
Potencia transporte vertical material	CV	6.759	3.053	3.818	4.445	25.878	11.705	17.062
Potencia Total (generación)	CV	-1.976	-26	-983	-1.335	-13.578	-5.627	-10.273
	MW	-1,45	-0,02	-0,72	-0,98	-9,99	-4,14	-7,56
Tramo Horizontal								
Potencia para mover correa en vacío	CV	34	0	15	0	1.301	358	1.058
Potencia transporte horizontal material	CV	74	0	42	0	2.225	599	861
Potencia transporte vertical material	CV	0	0	0	0	0	0	0
Potencia Total (consumo)	CV	108	0	57	0	3.526	957	1.919
	MW	0,08	0,00	0,04	0,00	2,59	0,70	1,41
Efecto generación "Recuperación Energética"								
Generación potencial anual (***)	MW-año	12.033	170	5.965	8.604	64.767	30.092	53.824
	MW-hr	1,4	0,0	0,7	1,0	7,4	3,4	6,1
% Autoabastecimiento eléctrico	%	0,4%	0,0%	0,2%	1,6%	3,3%	3,3%	9,1%
Reducción demanda sist. interconectado	%	0,10%	0,00%	0,05%	0,07%	0,92%	0,43%	0,76%
Reducción emisión CO ₂	Ton	10.973	155	5.439	7.846	18.394	8.546	15.286
Reducción anual en gasto energía (**)	MM \$	950	13	471	679	3.485	1.619	2.896
	MM US\$	1,70	0,02	0,84	1,21	6,23	2,89	5,17
		●	●	●	●	●	●	●
Valor Actual Neto (VAN 15 años)		0,0	-10,2	0,0	-12,9	0,0	0,0	0,0
Tasa Interna de Retorno (TIR 15 años)		6%	****	6%	****	6%	6%	6%

Tabla 4.31a - Cuadro Sinóptico Reducción Viable Trazado Relaves (Detalle de cálculo en Anexo D)

Luego:

CUADRO SINÓPTICO		CODELCO	COLLAHUASI	ESCONDIDA	SALVADOR	TENIENTE	PELAMBRES	ANDINA
		NORTE						
		SING				SIC		
Estructura Generación Relaves vía Correas Regen.		●	●	●	●	●	●	●
Capacidad Anual Red Correas	MWh-año	12.033	170	5.965	8.604	64.767	30.092	53.824
Largo Correas Regenerativas	kms	4	3	2	6	12	6	10
<i>Costo Implementación 1 km de Correa Regenerativa Superficial 2,5 MMUS\$</i>								
Costo Implementación Correas								
Equipos + Ingeniería + Construcción (*)	MMUS\$	10,1	6,3	5,1	15,0	35,6	16,5	29,5
Costo Operación 15 años								
Costo Oper/Mant (8% Costo Implem)	MMUS\$	12,2	7,5	6,1	18,0	42,7	19,8	35,4
Total Implem + Oper(15 años)	MMUS\$	22,3	13,8	11,1	33,0	78,2	36,4	64,9
Financiamiento Implementación								
Financiamiento Propio	MMUS\$	8,1	5,0	4,1	12,0	28,4	13,2	23,6
20% Cofinanciamiento FMAM	MMUS\$	2,0	1,3	1,0	3,0	7,1	3,3	5,9
Financiamiento Operación 15 años								
Financiamiento Propio	MMUS\$	9,7	7,5	4,9	16,2	38,5	17,9	32,0
Financiamiento Bonos Carbono (14 años)	MMUS\$	2,5	0,0	1,2	1,8	4,1	1,9	3,4
Ahorro Compra Energía 15 años								
Ahorro Energía	MMUS\$	25,5	0,4	12,6	18,2	93,4	43,4	77,6
Evaluación Inversión Efic. Energética		●	●	●	●	●	●	●
Período Recuperación Simple (PRS a 15 años)		0,8	34,8	0,8	1,7	0,8	0,8	0,8
<i>SING - Período Recuperación Simple (10 años)</i>		1,0	42,7	1,0	2,0			
<i>SIC - Período Recuperación Simple (9 años)</i>						1,0	1,0	1,0
Valor Actual Neto (VAN 15 años)		●	●	●	●	●	●	●
Tasa Interna de Retorno (TIR 15 años)		0,0	-10,2	0,0	-12,9	0,0	0,0	0,0
		6%	****	6%	****	6%	6%	6%
<i>Tasa Descuento: 6%</i>								
<i>Como ingresos en operación se consideró el ahorro energético y la venta de CERs (1 Cer = 1 Ton. CO2 = 15 US\$ (Mercado 2011))</i>								
<i>Implementación correa no contempla ejecución de tuneles y reforzamiento. **** Todos los años pérdidas</i>								

Tabla 4.32b - Cuadro Sinóptico Generación Eléctrica vía Correas Regenerativas en Relaves (Reducción tramos Correas Transportadoras Normales)

Se aprecia que la reducción de los tramos de transporte son significativas (reducción > 80%) en aquellas faenas con mayor viabilidad. Cabe mencionar que, la reducción en el trayecto de los relaves entre planta y tranque dependerá de la factibilidad geográfica y medioambiental.

De no existir factibilidad de acercamiento de los depósitos de relaves a las plantas, cobra aplicabilidad la opción correa regenerativa discreta + relaveducto.

En Resumen:

Analizando la inversión y proyección de costos en ambos escenarios, es posible indicar:

- La aportación de la generación vía correas regenerativas es viable, permitiendo porcentajes de autoabastecimiento entre un 0,2 a 12% en relación a la carga y al desnivel del transporte de relaves principalmente.
- En ambos escenarios, la recuperación simple de la inversión ocurre entre 8 a 10 años de su operación en contraste al escenario hidráulico.
- Cabe señalar que los costos operacionales y de mantención no son afectados por el potencial abrasivo del material transportado, dado que este es depositado sobre las correas (material pasivo).

4.7 Proyección iniciativa de recuperación eléctrica a todo el sector de la minería nacional. Impacto en la demanda y disponibilidad energética.

El potencial de aplicación de ambas soluciones (generación hidráulica y/o mecánica en relaves) a otros sectores de la minería nacional (mediana y pequeña minería) no es factible, a raíz de que:

- Los niveles de generación eléctrica están fuertemente indexados a los niveles del flujo de relaves, emisión que no es significativa en volumen en los otros sectores mineros (sobre el 90% está concentrado en la Gran Minería del Cobre),
- La fuerte inversión en equipos, en su implementación y en su operación, recursos que no están mayormente disponibles en los sectores minoritarios.

CAPITULO 5 DISCUSIÓN GENERAL DE LOS RESULTADOS.

El presente estudio consideró el flujo de relaves de la Gran Minería del Cobre como material base de generación, en el marco de:

- Ser un flujo de material de descarte que hoy en día no entrega ninguna aportación al negocio, sino que por el contrario genera altos riesgos medioambientales,
- Ser un flujo de alta disponibilidad en todas las faenas de mineral sulfurado, sólo afectado por paros de planta o por mantención del relaveducto ó tranque,
- Ser un flujo asociado a una extensa red de transporte entre la planta y el depósito de relaves, por lo general con altas diferencias de cotas,
- Ser un flujo con un alto potencial de energía, ya sea cinética o gravitacional.

En este escenario se planteó estudiar la generación eléctrica a partir del flujo de relaves, de modo de:

- Generar energía eléctrica que permita autoabastecer un porcentaje del consumo faena, reduciendo la demanda sobre los sistemas interconectados y con ello las emisiones de CO₂ indirectas,
- Establecer una “Planta de Generación No Convencional” con un Factor de Planta del orden del 90%, dada la alta disponibilidad del flujo de relaves.

5.1 Sobre las Soluciones.

Se estudiaron dos potenciales mecanismos de generación:

1. Generación Eléctrica vía aplicación de bombas como turbinas sobre relaveducto, y
2. Generación Eléctrica vía aplicación de correas regenerativas en el transporte de relaves,

estableciéndose que:

	Generación Eléctrica Aplicación turbinas sobre relaveducto	Generación Eléctrica Aplicación discreta correas regenerativas sobre relaveducto
Factibilidad Técnica	Viable, empleando turbinas reforzadas. Existe equipamiento en el mercado: bombas especiales para operación de concentrados de mineral	Viable, empleando correas regenerativas con cintas especiales (nervadas, o con capachos o separadores/contenedores).
Factibilidad Económica	Inviabile, dado: <ul style="list-style-type: none"> • los altos costos asociados a mantenimiento y operaciones, producto del alto poder abrasivo del relave, • los niveles de generación asociados. 	Viable, dado que: <ul style="list-style-type: none"> • no se genera a partir del flujo mismo del relave sino que desde su transportación, reduciendo el impacto de la abrasión, • presenta mayores niveles de generación, • recuperación en menos de 5 años de inversión efectuada.

Potencial Generación Eléctrica (*)	33,5 GWh	217 GWh
	0,2% Consumo Gran Minería	2 a 3% Consumo Gran Minería
	Generación Turbina = 15% de la Generación Correas	
Potencial Disminución CO₂ (*)	21,4 KTon CO ₂	79 KTon CO ₂
	CO ₂ Generación Turbina = 27% CO ₂ Generación Correas	

(*): se considera la generación total de todas las faenas.

Tabla 5.1 - Viabilidad Generación vía Relaves

Particularmente revisando para cada faena, la tendencia indica:

Faenas		CODELCO NORTE		COLLAHUASI		ESCONDIDA		SALVADOR	
		Turb.	Correas	Turb.	Correas	Turb.	Correas	Turb.	Correas
Generación Potencial Anual (*)	MW-año	4.730	12.728	3.154	170	7.884	6.331	3.154	8.604
Generación Potencial Hora	MWh	0,5	1,5	0,4	0,0	0,9	0,7	0,4	1,0
% Autoabastecimiento Eléctrico	%	0,1%	0,4%	0,2%	0,013%	0,2%	0,2%	0,6%	1,6%
% Demanda sobre S. Interconectado	%	0,04%	0,1%	0,03%	0,001%	0,07%	0,1%	0,03%	0,1%
Reducción Emisión CO ₂	Ton	4.314	11.607	2.876	155	7.189	5.773	2.876	7.846
Reducción Anual en Gasto Energía	MMS	373	1.005	249	13	622	500	249	679
	MM US\$	0,7	1,8	0,4	0,024	1,1	0,9	0,4	1,2
Costo Total Implem + Oper(15 años)	MMUS\$	10,7	22,0	7,1	13,8	17,8	11,0	7,1	33,0
Venta Bonos Carbono (15 años)	MMUS\$	1,0	2,6	0,6	0,0	1,6	1,3	0,6	1,8
Ahorro Energía 15 años	MMUS\$	10,0	26,9	6,7	0,4	16,7	13,4	6,7	18,2
Período de Recuperación Simple (PRS a 15 años)		1,0	0,7	1,0	34,8	1,0	0,7	1,0	1,7
Valor Actual Neto (VAN 15 años)		-2,8	1,3	-1,9	-10,2	-4,7	0,6	-1,9	-12,9
Tasa Interna de Retorno (TIR 15 años)		***	8%	***	****	***	8%	***	****

Faenas		TENIENTE		PELAMBRES		ANDINA	
		Turb.	Correas	Turb.	Correas	Turb.	Correas
Generación Potencial Anual (*)	MW-año	4.336	87.485	6.307	36.257	3.942	66.186
Generación Potencial Hora	MWh	0,5	10,0	0,7	4,1	0,5	7,6
% Autoabastecimiento Eléctrico	%	0,2%	4,5%	0,7%	3,9%	0,7%	11,1%
% Demanda sobre S. Interconectado	%	0,06%	1,2%	0,09%	0,5%	0,06%	0,9%
Reducción Emisión CO ₂	Ton	1.231	24.846	1.791	10.297	1.120	18.797
Reducción Anual en Gasto Energía	MMS	233	4.707	339	1.951	212	3.561
	MM US\$	0,4	8,4	0,6	3,5	0,4	6,4
Costo Total Implem + Oper(15 años)	MMUS\$	9,8	66,0	14,2	33,0	8,9	55,0
Venta Bonos Carbono (15 años)	MMUS\$	0,3	5,6	0,4	2,3	0,3	4,2
Ahorro Energía 15 años	MMUS\$	6,3	126,1	9,1	52,3	5,7	95,4
Período de Recuperación Simple (PRS a 15 años)		1,5	0,5	1,5	0,6	1,5	0,6
Valor Actual Neto (VAN 15 años)		-5,0	30,2	-7,2	8,2	-4,5	19,0
Tasa Interna de Retorno (TIR 15 años)		***	20%	***	14%	***	17%

Tabla 5.2 - Comparación en cada Faena de ambos mecanismos de Generación vía Relaves

Codelco Andina, Codelco El Teniente y Los Pelambres son las faenas donde claramente se establece potencial de generación vía correas regenerativas. Con menor holgura, se viabiliza para Codelco Norte y Escondida.

Por otra parte, el caso mini hidráulico no es eficiente productiva ni económicamente, descartándose esta solución para todas las faenas.

En cuanto a la sensibilidad de la generación vía correas regenerativas (Anexo E), se estableció:

Sensibilidad Inversión Inicial: Codelco Andina, El Teniente y Los Pelambres tienen una importante brecha de holgura en cuanto al aumento de la inversión (32 a 60% sobre la inversión del caso base) antes de comprometer la viabilidad de la solución. Codelco Norte y Escondida comprometen su viabilidad si la inversión se incrementa un 8%.

Sensibilidad Largo Correa Regenerativa: Para las correas más largas (Teniente, Pelambres, Andina), el aumento del largo de la correa regenerativa reduce el potencial de generación en un porcentaje aproximado similar al porcentaje de aumento. El aumento de un 25% inviabiliza la solución para Codelco Norte y Escondida, mientras un aumento del 50% la elimina para todas las faenas en estudio.

Sensibilidad Desnivel Correa Regenerativa: El incremento del desnivel de la correa aumenta fuertemente el potencial de generación en los casos de menor altura (Codelco Norte, Escondida, Salvador), tal que un incremento de un 25% del desnivel provoca aumentos entre un 80 a 90% del potencial de generación (MW-hr). El aumento de un 50% del desnivel viabiliza la solución para todas las faenas.

5.2 En Comparación con otras iniciativas de Eficiencia Energética.

Por otra parte, efectuando la comparación con iniciativas ERNC:

- Codelco, Parque Eólico Gaby ----- 20 y 40 MW, Factor de Planta 35%,
- Codelco, Parque Eólico Calama ----- 50 y 100 MW, Factor de Planta 35%.

Iniciativa	MW	MWh-año	Inversión	Razón US\$_Inv x Mwh
Codelco - Parque Eólico Gaby	20	61.320	86.000.000	1.402
Codelco - Parque Eólico Calama	50	153.300	280.000.000	1.826
Codelco Norte - Relave Correas Regen		12.728	9.000.000	707

Tabla 5.3 - Comparación con otras iniciativas ERNC

Se establece que la solución de las correas regenerativas entrega MW con menores niveles de inversión que las soluciones ERNC.

La generación vía correas regenerativas en relaves es menos costosa que la asociada a los parques eólicos planificados, aunque es claro que no puede entregar los niveles de generación asociados a estos parques eólicos.

En cuanto a las iniciativas de Eficiencia Energética (EE), para el caso Codelco en particular, es posible establecer que la generación a partir de correas regenerativas en

relaves podría ser un aporte sustantivo, tal que en términos de ahorro podría entregar del orden de 12 veces el ahorro logrado por Codelco en el 2009 por concepto Eficiencia Energética (EE).

Eficiencia Energética Anual	MW	Codelco 2009	Relaves Correas Regen. (*)
Ahorros Total	MMUS\$	2,6	17,8
Ahorro Eléctrico	MW	64.000	175
Ahorro CO2	Ton	455.000	63.095

(*) Codelco Norte + Salvador + Andina + Teniente / Anual

Tabla 5.4- Comparación aportes Eficiencia Energética

Esta apreciación es absolutamente extrapolable al resto de las faenas estudiadas, faenas para las cuales se estableció la viabilidad de esta solución.

5.3 En cuanto a la aportación a las metas ERNC 20/20.

La generación vía relave puede ser un mecanismo de aportación al cumplimiento de las metas de generación ERNC, indicada en la Ley 20.257, tal que las compañías mineras podrían establecer alguna negociación con las generadoras traspasando: la energía generada, concesionando la implementación y operación, ó vía disminución tarifaria.

Cabe recalcar que las empresas generadoras están obligadas a cumplir con las metas de: 5% generación ERNC para el periodo 2010-2014, 10% generación ERNC para fines del 2024, donde el no cumplimiento conlleva multas de 0,4 UTM por MWh en déficit.

CAPITULO 6 CONCLUSIONES Y COMENTARIOS.

El presente estudio estableció una aproximación al potencial de generación eléctrica existente en la aplicación de la “Recuperación Energética” en el sector de la Gran Minería Nacional, en pos de fomentar iniciativas de autoabastecimiento que aligeren las exigencias sobre la matriz de generación país, así como de las inversiones involucradas.

6.1 Sobre la Recuperación Energética

Hoy en día, el sector productivo nacional presenta un bajo porcentaje de autoabastecimiento eléctrico o de proyectos que tiendan a este escenario, tal que los proyectos están mayormente orientados a la optimización de la demanda o a la implementación de ERNC vía la utilización de materiales de desecho de la producción como insumos para la generación eléctrica en base térmica. En los últimos años, sólo la industria minera ha implementado soluciones de generación sobre la base de la reconversión energética (térmica o gravitacional). Las iniciativas en torno a la “Recuperación Energética” han sido aisladas y de una lenta adopción, existiendo potencial tanto en la aplicación de nuevas soluciones como en la extrapolación de las ya existentes.

En este marco, la presente memoria refuerza el valor de la “Recuperación Energética” en los procesos industriales intensivos, como mecanismo de autoabastecimiento eléctrico con un alto factor de planta, cuya viabilidad técnica y económica es altamente dependiente de la concepción de la solución tecnológica implicada.

Cabe señalar que, si bien es claro que las iniciativas de “Recuperación Energética” no tienen la capacidad de cubrir un alto porcentaje la demanda actual de cada empresa, permiten reducir los consumos a ser abastecidos externamente, liberando indirectamente recursos operativos y financieros sobre los proyectos de ampliación del parque de generación eléctrica nacional.

A su vez, el análisis puso en valor que el crecimiento productivo del país no solo debe considerar la ampliación de los servicios esenciales (abastecimiento eléctrico), sino también el fomento de la gestión exhaustiva y efectiva tanto de la demanda a abastecer como de la capacidad de autoabastecimiento de los sectores productivos. El estudio determinó la falta de iniciativas gubernamentales o privadas intensivas que promuevan la implementación de soluciones de “Recuperación Energética” en los distintos sectores, con el fin de optimizar la inversión en torno a la ampliación de la capacidad de generación-país. Se estima que, las iniciativas gubernamentales pueden fomentar la habilitación de capacidades regenerativas así como la implementación de

tecnología eficiente energéticamente, vía mecanismos tributarios ó facilidades de inversión.

Mención especial es la posibilidad de originar un nuevo campo de acción para las empresas eléctricas ó bien para otros inversionistas, en el marco de la detección, implementación y operación de estas Plantas de Generación No Convencionales Internas.

6.2 Sobre la “Recuperación Energética a partir del Flujo de Relaves”.

Específicamente, y en el marco de evaluar un caso efectivo de aplicación, se analizó la factibilidad técnico-económica de la generación eléctrica a partir del flujo de relaves, tanto desde la aplicación de la generación mini hidráulica como de la generación vía aplicación de correas regenerativas para el transporte de lodos o relaves secos.

Se analizó la situación operacional de los relaves y sus ductos, asociados a las nueve principales faenas de las compañías cupríferas nacionales, analizándose la factibilidad de aplicar la solución tecnológica de generación junto con un cambio de trazado del ducto, ó bien la migración del actual ducto de transporte a la aplicación de correas regenerativas.

Las soluciones fueron analizadas a través de una evaluación técnico-económica durante la vida útil del proyecto, considerando:

- los niveles de generación y aportación al consumo local de cada minera,
- los niveles de inversión y gasto operacional,
- la liberación de demanda sobre cada sistema interconectado y su respectiva liberación de CO₂,
- los retornos de inversión,
- las potenciales fuentes de financiamiento (fondos de estímulo ERNC ó GEI de organismos internacionales, venta de bonos de carbono), y
- el reconocimiento a las acciones de compromiso o mitigación medioambiental.

Los resultados permitieron establecer:

a. Generación Mini Hidráulica.

- El aporte de la solución mini hidráulica a la demanda local es muy bajo (<1% del consumo de cada minera), presentando una TIR negativa y tiempos de recuperación de inversión muy altos que inviabilizan la solución desde un punto de vista financiero.

- La naturaleza altamente abrasiva del flujo de relaves afecta negativamente la generación mini hidráulica, en atención a los montos y frecuencia de los costos de mantenimiento involucrados: recambio periódico de piezas reforzadas de las bombas por concepto de desgaste, costo que no es amortizado por el ahorro de energía y los ingresos por concepto de bonos de carbono.

b. Generación vía Correas Regenerativas.

- El aporte de la solución correas regenerativas se sitúa entre un 0,2% y un 12% de las demandas locales, habilitando el autoabastecimiento en 5 de las faenas estudiadas. Desde la óptica financiera, se aprecia que estos proyectos recuperan su inversión en periodos entre 7 a 10 años con una tasa de descuento del 6% y una TIR_{15 años} que oscila entre el 8 y 20%.
- La solución de generación vía correas regenerativas permite soslayar el tema abrasivo, viabilizando la solución en aquellos casos estudiados con flujo superior a 5.000 Tph y con desnivel superior a 3,0 grados.
- La recuperación energética vía correas regenerativas (reemplazo % ducto) bajo condiciones operacionales originales (tipo procesamiento de relaves, trazado ducto original) presenta viabilidad técnico-económica para las faenas de Codelco El Teniente, Codelco Andina, Los Pelambres, Codelco Norte y Escondida aportando 209 GWh-año y liberando 21 millones de dólares anuales en el costo energía compañía.

Para Collahuasi y El Salvador, la inversión supera los potenciales aportes de la solución.

- La solución de correas regenerativas permite proyectar aportes entre un 2 a 3% del consumo total del sector.

6.3 Sobre el Potencial de Recuperación Energética.

A partir de las simulaciones desarrolladas⁸, fue posible extrapolar (en términos generales) que el fomento de la “Recuperación energética” cinética ó gravitacional podría entregar entre un 5 a 10% del consumo original en la industria de la gran minería del cobre, porcentaje que disminuiría la presión de inversión sobre la plataforma de generación país.

⁸ Escenario conservador (20% de las correas existentes en minería se reconvierten a regenerativas + generación vía correas regenerativas en relaves).

6.4 Recomendaciones para otros estudios.

Para estudios posteriores, se recomienda analizar en mayor detalle:

- i. Sobre Relaves:
 - la tecnología de correas para transporte de lodos,
 - el estudio de cambios en el trazado y la aplicación de tecnología de relaves pesados,de manera de realizar una evaluación específica para las tres faenas mineras con mayor proyección.
- ii. Sobre parque de correas transportadoras en la minería:
 - la migración del parque de correas transportadoras existentes a correas regenerativas,
 - el retrazado de sus líneas, en sectores productivos intensivos (minería, cemento, etc.).
- iii. Sobre mineroductos con importantes declives de descenso:
 - reconversión de los disipadores de energía en captadores de energía,
 - recuperación de la energía gravitacional existente.

6.5 Conclusión Final.

La “Recuperación Energética” es un mecanismo factible para apoyar la capacidad de generación eléctrica país, aprovechando fuentes energéticas intensivas - existentes y desaprovechadas - sobre las cuales habilitar “Plantas de Generación No Convencionales”.

La aportación de cada una de estas plantas puede ser considerada como minoritaria, pero es la sumatoria de ellas la que puede impactar positivamente la tendencia incremental en torno a la capacidad de generación instalada, así como generar un cambio de enfoque, migrando desde procesos meramente consumidores a procesos consumidores-generadores.

CAPITULO 7 BIBLIOGRAFÍA / REFERENCIAS.

- [1] CNE-INE, 2010, Estadísticas Generación y Distribución Eléctrica 2009.
- [2] CNE, 2010, Plan de Obras Precio Nudo.
- [3] COCHILCO, 2010, Análisis Histórico y Estimaciones Futuras del Aporte de la Minería al Desarrollo de la Economía Chilena.
- [4] COCHILCO, 2010, Chile y la Minería, www.cochilco.cl/atencion_usuario/chile_mineria.asp.
- [5] MINISTERIO DE MINERÍA, Inversión en Minería 2012-2020, Chile.
- [6] SYNEX, 2010, Seminario Reconstrucción Inteligente Sector Energía.
- [7] BANCO CENTRAL, 2011, Estadísticas Económicas 2010.
- [8] MINISTERIO DE MINERÍA, 2011, Estadísticas 2010.
- [9] COCHILCO, 2010, Estadísticas de Producción Anuario 2009.
- [10] COCHILCO/BROOK HUNT, Julio 2011, Inversión en la Minería Chilena, Cartera de Proyectos.
- [11] COCHILCO, 2010, Inversión en la Minería Chilena del Cobre y del Oro Proyección del período 2010 – 2015.
- [12] CENTRAL ENERGÍA, 2010, Estadísticas 2009, www.centralenergia.cl.
- [13] COCHILCO, 2009, Estudio prospectivo de emisiones de gases de efecto invernadero de la minería del cobre en Chile.
- [14] CEA (Commissariat energie atomique), 2010, Emisiones CO₂, Francia.
- [15] ALFREDO MUÑOZ RAMOS – Director del Programa de Estudios e Investigaciones en Energía del Instituto de Asuntos Públicos de la Universidad de Chile, Presentación “Eficiencia Energética: Contribución de la Norma ISO50001”.
- [16] ACENOR, 2008, Boletín A.G. N° 53/08 - 16.10.08
- [17] COCHILCO, 2009, Buenas Prácticas y Uso Eficiente de Agua en la Industria Minera.
- [18] ROBERTO MALLEA, CIMM/Sernageomin, Criterios de selección y beneficios de las tecnologías prospectadas para el segmento de la minería de mediana y pequeña escala.
- [19] CORFO-JRI, 2009-2010, Estudio “Aplicación Industrial de la Tecnología de Espesamiento Extremo en proceso mineros”.
- [20] INNOVAMINERÍA, 2009, Uso Eficiente del Recurso Hídrico- Antofagasta.
- [21] COCHILCO, 2009, Consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero asociadas de la minería del cobre de Chile.
- [22] CNE, 2010-2011, PMM: Serie Precio Medio de Mercado Sistema Interconectado (PMM SIC, SING).
- [23] CNE, 2009-2010, Capacidad instalada de generación.
- [24] CNE, Informes Técnicos Precios de Nudo SIC y SING 2010 y 2011.
- [25] CNE, 2010, Producción real por sistema.
- [26] CNE, Proyección de la evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector energía 2000-2025.
- [27] COCHILCO, 2010, Demanda de energía eléctrica en la minería del cobre y perspectivas de seguridad en su abastecimiento.
- [28] COCHILCO, 2010, Análisis histórico y proyección de los costos de producción en la minería del cobre en Chile 1995-2015.

- [29] COCHILCO, 2009, Consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero asociadas de la minería del cobre de Chile.
- [30] INE, 2010, Estadísticas Sectoriales
- [31] FELIPE GARCÍA URRUTIA, Universidad de Chile - Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas/ Departamento de Ingeniería Civil, 2007, Tesis “Modelo Del Balance Hídrico Del Tranque De Relaves Ovejería”.
- [32] CODELCO, 2010, Reporte Sustentabilidad 2009
- [33] CODELCO, 2011, Reporte Sustentabilidad 2010
- [34] CODELCO, 2011, Memoria 2009
- [35] CODELCO, 2011, Memoria 2010
- [36] CODELCO ANDINA, 2010, Evaluación Impacto Ambiental (EIA) Planta de Recuperación de Cobre y Molibdeno desde Relaves.
- [37] CODELCO CHILE DIVISIÓN CHUQUICAMATA, 2000, Informe Técnico Final - Declaración Impacto Ambiental Proyecto “Sistema de Conducción y Distribución de Relaves en Tranque Talabre”.
- [38] CODELCO DIVISIÓN EL TENIENTE, 2010, “Prueba Piloto Generación de Energía Eléctrica Cascada 1 Canal de Relaves”.
- [39] ANGLO AMERICAN, 2007, Informe Consolidado de Evaluación Proyecto “Desarrollo Los Bronces”, Anglo American Sur S.A.
- [40] ANGLO AMERICAN CHILE, 2010, Reporte Desarrollo Sustentable 2009.
- [41] ANGLO AMERICAN, 2007, Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Desarrollo Los Bronces 2006 (Arcadis, Geotécnica).
- [42] ANGLO AMERICAN, Proyecto Desarrollo Los Bronces (SKM)
- [43] Anglo American, “Optimización y Mejoramiento al Sistema de Transporte de Pulpa del Proyecto Desarrollo Los Bronces” (evaluación ambiental/www.e-seia.cl)
- [44] ESCONDIDA, 2009, Declaración de Impacto ambiental (DIA)– Canaleta de Respaldo para Conducción Transitoria de Relaves (evaluación ambiental/www.e-seia.cl)
- [45] ESCONDIDA, 2008, Declaración de Impacto ambiental (DIA) - Proyecto Relaveducto en Faena Minera Escondida 2008 (evaluación ambiental/www.e-seia.cl)
- [46] ESCONDIDA, 2008, Proyecto “Ampliación de Capacidad de Extracción y Procesamiento de Mineral Sulfurado de Minera Escondida”.
- [47] ESCONDIDA, 2009, Reporte Sustentabilidad 2009
- [48] ESCONDIDA, Declaración de Impacto ambiental (DIA) - Modificación Mineroductos Minera Escondida
- [49] CESCO, 2009, Informe Financiero de la Minería N°6 - 4^{to} Trimestre 2009.
- [50] UDA, Transporte Hidráulico de Sólidos.
- [51] COMPAÑÍA CONTRACTUAL MINERA CANDELARIA, 2005, Declaración de Impacto Ambiental, Modificaciones al Sistema de Alimentación de Relaves al Tranque.
- [52] COMPAÑÍA CONTRACTUAL MINERA CANDELARIA, 2007, Declaración de Impacto Ambiental, Proyecto Expansión Minería Subterránea Candelaria Norte.
- [53] COLLAHUASI SCM, 2009, Declaración de Impacto Ambiental Proyecto Optimización A 170 Ktpd.
- [54] MOROCHO-URBINA, PUC, 2009, Trabajo de Investigación “Incidencia del Costo del Suministro Eléctrico en la Gran Minería del Cobre”.
- [55] CER, 2010, Perspectivas de Desarrollo del Sector en Chile y Latinoamérica.

- [56] PEDRO MALDONADO, Programa de Estudios e Investigaciones en Energía, 2008, Estimación del Aporte Potencial de la Eficiencia Energética al Abastecimiento del SIC-Chile.
- [57] PROCOBRE, Uso Eficiente de la Energía Eléctrica.
- [58] PROGRAMA DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES EN ENERGÍA INSTITUTO DE ASUNTOS PÚBLICOS, 2010, Estudio de Bases para la Elaboración de un Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2010-2020.
- [59] ANESCO, 2011, Definiciones ANESCO Chile / <http://www.anescochile.cl/>
- [60] AEST-ECONOLER, 2010, Estudio de Mercado de Eficiencia Energética en Chile, 2010,
- [61] PROCHILE, Mercado Bonos de Carbono.
- [62] PROYECTO ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES (CNE/GTZ), 2009, Las Energías Renovables No Convencionales en el Mercado Chileno.
- [63] PIRELLI, Manual de cálculo de cintas transportadoras.

CAPITULO 8 ANEXOS

Anexo A Conceptos Base en torno a Relaves

Extracto *Guía Técnica de Operación y Control de Depósitos de Relaves, DSM/07/31 Diciembre 2007” / Servicio Nacional de Geología y Minería, Departamento de Seguridad Minera.*

.....

3.- Conceptos Básicos y Generalidades sobre los Relaves

Toda planta minera cuyo proceso de concentración es Flotación, produce residuos sólidos que se denominan relaves y que corresponden a una “Suspensión fina de sólidos en líquido”, constituidos fundamentalmente por el mismo material presente in-situ en el yacimiento, al cual se le ha extraído la fracción con mineral valioso, conformando una pulpa, que se genera y desecha en las plantas de concentración húmeda de especies minerales y estériles que han experimentado una o varias etapas en circuito de molienda fina; esta "pulpa o lodo de relaves" fluctúa en la práctica con una razón aproximada de agua/sólidos que van del orden de 1:1 a 2:1. Las características y el comportamiento de esta pulpa dependerá de la razón agua/sólidos y también de las características de las partículas sólidas. Esto puede ilustrarse si se consideran los siguientes ejemplos:

- Una masa de relaves con un gran contenido de agua escurrirá fácilmente, incluso con pendientes pequeñas.
- Una masa de relaves con un contenido de agua suficientemente bajo (por ejemplo, relaves filtrados) no escurrirá gravitacionalmente.
- Si las partículas sólidas son de muy pequeño tamaño (equivalentes a arcillas), se demorarán un gran tiempo en sedimentar, manteniéndose en suspensión y alcanzando grandes distancias respecto al punto de descarga antes de sedimentar.
- Si las partículas sólidas son de gran tamaño (equivalentes a arenas) sedimentarán rápidamente y se acumularán a corta distancia del punto de descarga.

Las alternativas a utilizar en la depositación de un material de relaves, dependerá de las características de los relaves que produce la planta (cantidad suficiente de material tamaño arena), del costo del agua (si es escasa, se justifican inversiones en equipos para optimizar su recuperación) y, de las características del lugar de emplazamiento del depósito de relaves.

Para conseguir estructuras estables con los relaves, deben determinarse sus características, similares a lo que se hace con los suelos (granulometría, densidad

relativa, razón de vacíos, relaciones de fase, etc.). Estas determinaciones permiten también evaluar el cumplimiento de las disposiciones legales contenidas en el D.S. N°248 (2006) "Reglamento para la Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Depósitos de Relaves", del Ministerio de Minería.

.....

5.- Efectos de la Razón Sólido/Agua (S:A)

Una pulpa de relaves con suficiente agua se comportará como una suspensión acuosa, cuya viscosidad aumenta si disminuye el agua, hasta que, para contenidos de agua suficientemente bajos se comportará como un lodo espeso y eventualmente, como un suelo húmedo.

Experimentalmente podemos señalar que:

- Si la razón S:A es menor que 50%, la pulpa de relaves se comporta como suspensión acuosa, y escurrirá incluso con pendiente menores al 2% y se produce segregación de las partículas con la distancia al punto de descarga.
- Si la razón S:A es mayor o igual que 55% la pulpa de relaves comienza a tener comportamiento de un lodo viscoso; disminuye fuertemente la segregación de partículas y se necesitará pendientes mayores al 2% para escurrir.

La siguiente tabla nos indica la pendiente límite que admite un pulpa de relaves para distintas concentraciones de sólidos en peso (pendientes mayores producirán su escurrimiento)

VARIACION DE PENDIENTE LIMITE CON LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS EN UNA PULPA DE RELAVES	
Pendiente Límite %	Porcentaje de Sólido en Peso %
< 2	< 50
2-3	55-66
3-5	60-63
4-6	63-65
> 6	> 65

.....

Anexo B Tendencias en el Tratamiento de los Relaves

Extracto Hasta la última gota / Induambiente.

.....

Hasta la última gota

A diferentes e innovadoras tecnologías puede recurrir la industria minera para optimizar el consumo del recurso hídrico y aumentar su disponibilidad.

Afirmar que algo se valora en su real dimensión cuando se pierde, o escasea, no debería merecer comentarios en contra. Es lo que sucede constantemente. Innumerables ejemplos lo comprueban. Las mismísimas compañías mineras del norte de nuestro país no estarían tan preocupadas de encontrar nuevas fuentes de abastecimiento o de hacer un uso cada vez más eficiente del agua, si contarán con este recurso a raudales.

Pero como dicho insumo no sobra, y debe suplir las necesidades de los hogares y de diferentes actores productivos, el rubro minero ha estado impulsando diversas iniciativas para aumentar su disponibilidad y utilizarlo de mejor forma. De ahí el surgimiento de la Mesa Público-Privada de Gestión de Recursos Hídricos, constituida en abril de 2007, que entre sus tareas prioritarias se propuso la elaboración de un documento que describiera las mejores prácticas aplicadas por la industria minera en los últimos años, para dar un salto en el uso eficiente de este vital elemento.

Y luego de poco más de 18 meses de trabajo el desafío se cumplió, poniéndose a disposición de todos los involucrados e interesados el texto “Buenas Prácticas y Uso Eficiente del Agua en la Industria Minera”, cuya elaboración estuvo a cargo de la Comisión Chilena del Cobre, Cochilco. Una parte importante de su contenido, referida al empleo de tecnologías para alcanzar tales objetivos, es el que revisamos a continuación.

Mejores Alternativas

El documento apunta que las mejores prácticas para gestionar el recurso hídrico involucran la implementación de tecnologías adicionales y un mayor control de los procesos, un cambio en la cultura operacional y un compromiso real por parte de todos los sectores involucrados.

Debido a que los costos de implementación y operación varían dependiendo de la tecnología requerida y de las características de la faena, la aplicabilidad de cada

una de las opciones señaladas debe ser motivo de estudio por parte de la respectiva empresa. Sólo así la adopción de nuevas prácticas implicará una contribución real a la disminución del consumo de agua fresca para la faena y no la implementación de medidas cuyo aporte al sistema será despreciable en comparación con los costos involucrados.

En ese contexto, en lo sucesivo se describen en detalle algunas de las mejores opciones tecnológicas para optimizar el consumo del recurso hídrico y aumentar su disponibilidad.

Para Optimizar Consumo

- **Control automático del espesamiento**

El espesamiento de pulpas (mineral molido, relaves, concentrado) se puede automatizar totalmente mediante una adecuada instrumentación de todos los flujos, el monitoreo de altura de interfase (pulpa-agua), torque y rastras, y la adición de floculante. Este conjunto de procesos se conectan a un controlador inteligente que optimiza permanentemente la recuperación de aguas a través de un comando de los sistemas de descarga, dosificación de floculantes y la posición o velocidad de giro de las rastras.

Este control automático, que sería similar al de otros procesos mineros –como la molienda semiautógena–, permite aumentar en 2% a 3% la concentración de la descarga respecto al control manual actual. El esquema de espesaje automatizado puede incorporarse tanto a sistemas convencionales como a sistemas ya mejorados, utilizando los mismos espesadores existentes.

Sus principales ventajas son sus bajos costos de inversión y operación, y que la tecnología a utilizar es ampliamente conocida en el país. Sin embargo, requiere de una mantención instrumental permanente y compleja, además de un cambio de cultura laboral.

.....

- **Filtrado de relaves**

Los relaves espesados y dispuestos en embalses mantienen aún un alto contenido de agua, el que podría ser recuperado previo a su disposición en el tranque, mediante filtrado parcial o total.

En el caso de un filtrado total de relaves, los consumos unitarios de agua fresca se pueden reducir a valores cercanos a 0,25 m³/ton tratada. Para eso, se requiere de una inversión en filtros y en manejo y disposición de relaves secos (correas transportadoras/camiones).

Esta alternativa presenta grandes atractivos debido a la magnitud de agua posible de recuperar, considerando las concentraciones en peso de los sistemas convencionales y las obtenidas con un sistema de filtrado de banda. Sin embargo, los altos costos asociados a esta tecnología, debido a su reciente utilización a nivel industrial, la hacen poco rentable en la actualidad, aunque sus expectativas mejoran en el mediano plazo.

Otro factor importante se relaciona con los depósitos de relaves creados bajo esta modalidad, pues presentan algunos problemas de estabilidad y erosión. Además, hay que considerar eventuales problemas de congelamiento que impiden su aplicación en la alta cordillera.

- **Espesaje extremo**

Esta tecnología de optimización de consumos considera la construcción de espesadores de mayor altura que lo habitual, de 15 a 20 metros, que permiten descargar pulpas de alta densidad (65 a 75% en relaves), logrando incrementar en un 8% la concentración en peso del relave con respecto a espesadores convencionales de alta eficiencia (15% de ahorro de agua).

Las descargas de relaves hiperconcentrados deben ser impulsadas por bombas de desplazamiento positivo y el manejo de relaves en el tranque tiene que utilizar un método de depósito inclinado.

Esta opción se aplica a todo tipo de relaves y el método de depósito inclinado optimiza la disposición de material en el tranque, aunque no se conocen aplicaciones industriales de esta disposición en países sísmicos. Se la conoce como una tecnología audaz, pues requiere modificar los espesadores –que serán de mayor altura–, el sistema de transporte de relaves y la disposición final de éstos, lo que implica altos costos de operación e inversión, así como algunos riesgos por el desarrollo simultáneo de 3 tecnologías novedosas.

Relaves de Alto Espesamiento

- Relave al que se la extraído una gran cantidad de agua pero mantiene un comportamiento hidráulico
- A diferencia del relave espesado su bombeo requiere bombas de desplazamiento positivo
- Comportamiento hidráulico con alta viscosidad
- Mínima liberación de agua una vez depositado
- Pérdidas de agua: retención y evaporación
- El relave no se segrega
- La eliminación de agua se hace a través de espesadores especiales (gran altura y reducida sección)

Anexo C Caracterización Depósitos de Relave

*Extracto Guía Técnica de Operación y Control de Depósitos de Relaves, DSM/07/31
Diciembre 2007 / Servicio Nacional de Geología y Minería, Departamento de
Seguridad Minera.*

.....

7.2 Embalses de Relaves

Este tipo de depósito de relaves consiste en construir un muro resistente hecho totalmente de material de empréstito, compactado e impermeabilizando el talud interior del muro y también parte o todo su coronamiento; los relaves se depositan completos en la cubeta sin necesidad de clasificación, pero también deben disponer, de un sistema de evacuación de las aguas claras de la laguna que se forma. Los embalses de relaves no se diferencian esencialmente de las presas de embalse de aguas, las que constituyen una técnica ampliamente desarrollada en todo el mundo. Es interesante destacar, no obstante, que las técnicas de diseño evolucionan con gran rapidez y cada día se descubren nuevos métodos.

Tal vez, la diferencia fundamental entre un embalse destinado a la acumulación de agua y uno destinado a relaves es que mientras el embalse para agua se construye de una vez con su capacidad definitiva, el embalse para relaves se puede ejecutar por etapas a medida que se avanza con el depósito de los relaves, a fin de no anticipar inversiones y reducir a un mínimo su valor presente. La construcción por etapas obliga a que la zona impermeable de la presa se diseñe como una membrana inclinada cercana y en la dirección del talud de aguas arriba. Un perfil como éste, limita los grados de libertad en el diseño de las presas de tierra, cuando están destinadas a contener relaves.

Del punto de vista sísmico, los Embalses de Relaves son más resistente que cualquiera de los métodos indicados para los Tranques de Relaves.

7.3 Depósitos de Relaves Espesados

El Ingeniero canadiense Eli I. Robinsky ha desarrollado un sistema de depósito que no requiere de un dique o muro contenedor para su construcción. El procedimiento se basa en la mayor viscosidad que alcanza la pulpa de relave al aumentar la concentración de sólidos. El autor propone una curva en que relaciona el ángulo de reposo del relave con el contenido de sólidos de la pulpa. Para concentración del orden de 53% en peso, la pendiente de reposo es del 2% y ésta aumenta hasta un 6% sí la concentración sube a 65%. De esta manera pueden disponerse los relaves en forma de un cono cuya pendiente será la que corresponde a la respectiva concentración de sólidos. Si se trata, por ejemplo, de depositar relaves en un valle plano desde la ladera que limita dicho valle, se puede iniciar el depósito desde pequeña altura con una pulpa relativamente diluida para luego elevar el punto de descarga simultáneamente con un aumento de la concentración a fin de disponer para las capas siguientes de una pendiente más

pronunciada. El punto de descarga puede luego ser desplazado lateralmente con el objeto de formar un depósito de base ovoidal.

No obstante que este tipo de depósito no requiere la construcción de un dique para limitar el área comprometida, se recomienda la construcción de un pequeño terraplén algo alejado del borde exterior del depósito, el cual sirve para contener un volumen para el depósito del agua desalojada por el relave, la cual es captada por un vertedero u otro dispositivo para ser bombeada y recirculada. Este pequeño terraplén sirve a la vez para coleccionar las aguas lluvias y conducir las hacia cauces naturales.

Otro principio básico de este tipo de depósito se deriva de la diferencia en lo que a segregación del material se refiere, entre una pulpa diluida y otra concentrada.

En efecto, si la concentración de sólidos es baja, el escurrimiento de la pulpa produce una segregación de materiales, depositándose en primer lugar los granos mayores y a continuación y separadamente, los más finos. Es el fenómeno usual en el depósito de lamas en un tranque y más aún el que ocurre en los tranques construidos por el método de aguas arriba. Si por el contrario, la pulpa es concentrada (del orden del 50% o más), la pulpa escurre como un todo sin ocasionar segregación. Es el caso que ocurre con el escurrimiento de relaves por tuberías, en que es conveniente evitar la segregación mediante el uso de concentraciones del orden del 50% ya que con el uso de pulpas más diluidas, los granos gruesos se separan y ruedan por el fondo aumentando la abrasión de la tubería, según el autor, en un escurrimiento libre ocurre el mismo fenómeno, y al evitarse la segregación se obtiene una mayor densidad que impide que el relave depositado sea erosionado por el agua desalojada por el propio relave, por las aguas lluvias o por el viento.

El procedimiento propuesto por Robinsky resulta aparentemente muy atractivo especialmente en aquellos casos en que la topografía es favorable. La relativa baja altura de los depósitos al tener estos una pendiente máxima del tipo 6%, ocupan grandes extensiones relativamente planas o de poca inclinación. Existen sin embargo algunas interrogantes que no están claramente especificados por su autor. En efecto, la obtención de concentraciones de pulpa tan alta como 65% de sólidos es un problema que el autor no ha explicado cómo se puede obtener. Solamente ha sugerido en forma general, que podrían usarse espesadores cónicos profundos, métodos centrífugos y de filtración y vacío. Por otra parte, si las pulpas así concentradas tienen un ángulo de reposo de 6%, su escurrimiento por tubería desde el concentrador hasta el vértice del cono, implica una pérdida de carga hidráulica superior a dicho 6% en forma que una conducción, por ejemplo, a 2 Km., significaría una pérdida de energía del orden de 150 m, lo que resultaría muy costoso si el relave debe ser bombeado. No siempre es posible la instalación del espesador junto al vértice del depósito.

En resumen el método de depositación de relaves espesados es una posibilidad muy interesante que merece ser investigada en profundidad para resolver los interrogantes que se plantean. Es posible que puedan ser utilizados en forma experimental con un

grado de espesamiento del orden de 53% de sólidos el que puede ser alcanzado por métodos corrientes, usando para el depósito un terreno casi horizontal ya que el talud de reposo del relave así espesado sería del tipo 2%.

7.4 Depósitos de Relaves Filtrados

Este tipo de depósitos de relaves es muy similar al de los relaves espesados, con la diferencia de que el material contiene menos agua debido al proceso de filtrado utilizando equipos similares a los que se emplean para filtrar concentrados, como son los filtros de prensa o de vacío.

El relave una vez filtrado se transporta al lugar de depósito mediante cintas transportadoras o bien mediante equipos de movimiento de tierra y/o camiones. En el primer caso, se logra un domo de material similar al método de Robinsky; mientras que en el segundo caso se utiliza el equipo de movimiento de tierras para ir construyendo módulos de material compactado, los cuales permiten conformar un depósito aterrazado de gran volumen. Es importante señalar que en este método, aunque el contenido de humedad que se logra (20% a 30%) permite su manejo con equipos de movimiento de tierra, es suficientemente alto como para tener un relleno prácticamente saturado, por lo que es posible que se produzcan infiltraciones importantes de las aguas contenidas en estos relaves si el suelo de fundación es relativamente permeable. También es necesario señalar que la presencia de algunas arcillas, yeso, etc. en los materiales de relaves pueden reducir significativamente la eficiencia de filtrado.

7.5 Depósitos de Relaves en Pasta

Los relaves en pasta corresponden a una mezcla de agua con sólido, que contiene abundante partículas finas y un bajo contenido de agua, de modo que esta mezcla tenga una consistencia espesa, similar a una pulpa de alta densidad.

Una buena pasta de relaves requiere tener al menos un 15% de concentración en peso de partículas de tamaño menor a 20 micrones. La mejor propiedad de las pastas de relaves es que pueden ser eficientemente transportadas en tuberías sin los problemas de segregación o sedimentación que ocurren normalmente en las pulpas de relaves y permiten una gran flexibilidad en el desarrollo del concepto del sitio de emplazamiento; una vez depositados los relaves, se dejan secar, luego acopiar, permitiendo así minimizar la superficie de suelo cubierto con relaves.

La consistencia alcanzada permite que una pasta permanezca estable aún cuando esté varias horas sin moverse. La pasta puede formarse a partir de una gran variabilidad de componentes como cuarzo, feldespato, arcillas, micas y sales.

Es posible producir materiales con la consistencia de pasta a partir de un amplio rango de concentración de sólidos en peso y sobre la base de la variación de la distribución de tamaño de las partículas. Es decir, la producción de pasta es específica para cada tipo de material.

Cuando se dispone pasta de relaves en superficie, una muy pequeña fracción de agua podrá drenar o infiltrarse, ya que la mayor parte de la humedad es retenida en la pasta debido a la tensión superficial de la matriz de suelo fino.

La flexibilidad que permiten las pastas en cuanto al desarrollo del lugar de emplazamiento del depósito, puede ser extendida al uso de técnicas de construcción aguas arriba, donde las consideraciones de diseño antisísmicos de otra manera sería prohibida. Con la alternativa de pasta no se requiere una solución tipo embalse. Para faenas de pequeña escala, la pasta puede ser transportada en camiones desde las instalaciones de operación y descargadas en el lugar de disposición final. Una vez depositada, se deja secar y se puede acopiar. Esta forma de acumular, permite minimizar la superficie de suelo cubierto con relaves, realizar un cierre progresivo y al cese de operaciones, el depósito puede ser dejado sin requerir medidas adicionales de cierre.

Para faenas de mayor tamaño, por economía de escala para el manejo de materiales, el sistema considera el uso de bombas o cintas transportadoras hasta un repartidor que realiza la disposición final. Cabe destacar que debido a su alta densidad, las pastas son transportadas mediante el uso de bombas de desplazamiento positivo.

- i) En los depósitos de relaves en pasta se reducen significativamente lo siguiente:
 - La necesidad de diseñar y construir grandes depósitos.
 - El volumen de materiales involucrados en la construcción de depósitos.
 - Los riesgos de falla geomecánica asociados a los tranques convencionales.
 - Los riesgos de generación de aguas ácidas y lixiviación de metales.
 - El manejo del volumen de agua clara.
 - Las pérdidas de agua por infiltración y evaporación.
 - La superficie de suelo para disponer los relaves, optimizando el uso del suelo.
 - La emisión de material particulado.

- ii) En los depósitos de relaves en pasta se incrementa significativamente lo siguiente:
 - La recuperación de aguas desde los relaves
 - La aceptación ambiental de la comunidad.
 - La posibilidad de co-depositar junto a otros residuos mineros (estériles o lastre)
 - La flexibilidad operacional.

iii) Además:

- Se pueden desarrollar actividades de vegetación o de remediación en forma paralela a la operación.
- Permite la encapsulación de contaminantes en el depósito

7.6. Otros Depósitos de Relaves

Nota:

A continuación se mencionan otros tipos de Depósitos de Relaves que en otros países son factibles de desarrollar. Sin embargo, en Chile en la actualidad existen grandes restricciones de las autoridades competentes; del punto de vista legal, de la Seguridad de la Personas y del Medio Ambiente, para otorgar permisos a los proyectos que pudieren presentarse, de modo tal que no los contempla nuestra legislación, aunque se debe reconocer que en el pasado se realizaron proyectos en Chile que utilizaron las técnicas de Depósitos de Relaves que nombraremos a continuación:

- a. Depósitos en Minas Subterráneas en Explotación
- b. Depósitos en Minas Subterráneas Abandonadas
- c. Depósitos en Minas Explotadas a Cielo Abierto
- d. Depósitos Relaves Radiactivos
- e. Depósitos costeros
- f. Depósitos submarinos

Anexo D Planillas de cálculos escenarios generación.

D.1 Planilla cálculo caso aplicación correas transportadoras sobre todo el trazado original.

Evaluación Técnica:

MINICENTRALES CORREA REGENERATIVA + NORMAL EXTENSIÓN ORIGINAL TRANSPORTE RELAVES ESCENARIO 2009		CODELCO NORTE	COLLAHUASI	ESCONDIDA	SALVADOR	TENIENTE	PELAMBRES	ANDINA
		SING				SIC		
Estructura Generación "Recuperación Energética"								
Relaves 2009	Tphr	6.766	6.875	8.599	1.201	5.380	5.272	2.562
Relaveducto (extensión original)	kms	10,0	2,5	5,0	57,0	85,0	60,0	87,0
% Reducción extensión	%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Desnivel planta-tranque	mtrs	270	120	120	1.450	2.000	755	3.200
Trayecto horizontal	mtrs	9.996	2.497	4.999	56.982	84.976	59.995	86.941
Parámetros correas		Reg + Norm	Regen	Reg + Norm	Reg + Norm	Reg + Norm	Reg + Norm	Reg + Norm
Tramo Descendente Regenerativo								
Tramo correa regenerativa	kms	4,0	2,5	2,0	6,0	12,0	6,0	10,0
Desnivel correa regenerativa (altura)	mtrs	270	120	120	1.000	1.300	600	1.800
Distancia sobre horizontal	mtrs	3.991	2.497	1.996	5.916	11.929	5.970	9.837
Angulo sobre horizontal	grados	3,9	2,8	3,4	9,6	6,2	5,7	10,4
Ancho correa	mm	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800
Velocidad	m/s	6	6	6	6	6	6	6
Nº correas regenerativas (con estas características)		1	1	1	1	1	1	1
Tramo Horizontal ó Descendente normal								
Tramo correa horizontal ó descendente	mtrs	5.996	0	2.999	50.982	72.976	53.995	76.941
Desnivel correa regenerativa (altura)	mtrs	0	0	0	450	700	155	1.400
Distancia sobre horizontal	mtrs	5.996	0	2.999	50.980	72.973	53.995	76.928
Ancho correa	mm	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800
Velocidad	m/s	6	6	6	6	6	6	6
Cálculos potencias según manual Pirelli								
Tramo Descendente Regenerativo								
Potencia para mover correa en vacío	CV	1.518	950	759	2.250	4.538	2.271	3.742
Potencia transporte horizontal material	CV	3.265	2.076	2.076	860	7.762	3.807	3.048
Potencia transporte vertical material	CV	6.759	3.053	3.818	4.445	25.878	11.705	17.062
Potencia Total (generación)	CV	-1.976	-26	-983	-1.335	-13.578	-5.627	-10.273
	MW	-1,45	-0,02	-0,72	-0,98	-9,99	-4,14	-7,56
Tramo Horizontal ó Descendente normal								
Potencia para mover correa en vacío	CV	2.281	0	1.141	19.393	27.760	20.540	29.268
Potencia transporte horizontal material	CV	4.906	0	3.118	7.408	47.480	34.428	23.838
Potencia transporte vertical material	CV	0	0	0	2.000	13.934	3.024	13.270
Potencia Total (consumo)	CV	7.187	0	4.259	24.801	61.306	51.944	39.835
	MW	5,29	0,00	3,13	18,24	45,09	38,21	29,30
Efecto generación "Recuperación Energética"		●	●	●	●	●	●	●
Generación potencial anual (***)	MW-año	-33.579	170	-21.110	-151.185	-307.509	-298.419	-190.473
PMM: Precio Medio Mercado / CNE								
** Sobre PMM 2009_Promedio, Dólar Promedio 2009 = 559,7 pesos								
*** Factor de Planta 90%								

D.2 Planilla cálculo caso reemplazo % ducto por correa regenerativas sobre trazado original.

Evaluación Técnica:

MINICENTRALES CORREA REGENERATIVA ESCENARIO 2009		CODELCO NORTE	COLLAHUASI	ESCONDIDA	SALVADOR	TENIENTE	PELAMBRÉS	ANDINA
		SING				SIC		
Estructura Generación "Recuperación Energética"								
Relaves 2009	Tphr	6.766	6.875	8.599	1.201	5.380	5.272	2.562
Relaveducto (extensión)	kms	10,0	2,5	5,0	57,0	85,0	60,0	87,0
Desnivel planta-tranque	mtrs	270	120	120	1.450	2.000	755	3.200
Trayecto Horizontal	mtrs	9.996	2.497	4.999	56.982	84.976	59.995	86.941
Combinación correa-relaveducto		Regen + ducto	Regen	Regen + ducto	Regen + ducto	Regen + ducto	Regen + ducto	Regen + ducto
Parámetros correas descendentes (regenerativas)								
Tramo correa regenerativa	kms	4,0	2,5	2,0	6,0	12,0	6,0	10,0
Desnivel correa regenerativa (altura)	mtrs	270	120	120	1.000	1.300	600	1.800
Distancia sobre horizontal	mtrs	3.991	2.497	1.996	5.916	11.929	5.970	9.837
Angulo sobre horizontal	grados	3,9	2,8	3,4	9,6	6,2	5,7	10,4
Ancho correa	mm	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800
Velocidad	m/s	6	6	6	6	6	6	6
Nº correas regenerativas (con estas características)		1	1	1	1	1	1	1
Cálculo potencias correas descendentes (regenerativas) según manual Pirelli								
Potencia para mover correa en vacío	CV	1.518	950	759	2.250	4.538	2.271	3.742
Potencia transporte horizontal material	CV	3.265	2.076	2.076	860	7.762	3.807	3.048
Potencia transporte vertical material	CV	6.759	3.053	3.818	4.445	25.878	11.705	17.062
Potencia Total (generación)	CV	-1.976	-26	-983	-1.335	-13.578	-5.627	-10.273
	MW	-1,45	-0,02	-0,72	-0,98	-9,99	-4,14	-7,56
Efecto generación "Recuperación Energética"								
Generación potencial anual (***)	MW-año	12.728	170	6.331	8.604	87.485	36.257	66.186
	MW-día	34,9	0,5	17,3	23,6	239,7	99,3	181,3
	MW-hr	1,5	0,02	0,7	1,0	10,0	4,1	7,6
% Autoabastecimiento eléctrico	%	0,4%	0,013%	0,2%	1,6%	4,5%	3,9%	11,1%
Reducción demanda sist. interconectado	%	0,11%	0,001%	0,05%	0,07%	1,24%	0,51%	0,94%
Reducción emisión CO ₂	Ton	11.607	155	5.773	7.846	24.846	10.297	18.797
Reducción anual en gasto energía (**)	MM \$	1.005	13	500	679	4.707	1.951	3.561
	MM US\$	1,80	0,02	0,89	1,21	8,41	3,49	6,36
PMM: Precio Medio Mercado / CNE								
** Sobre PMM 2009_Promedio, Dólar Promedio 2009 = 559,7 pesos								
*** Factor de Planta 90%								

Evaluación Financiera:

CUADRO SINÓPTICO		CODELCO NORTE	COLLAHUASI	ESCONDIDA	SALVADOR	TENIENTE	PELAMBRES	ANDINA
		SING						
Estructura Generación Relaves vía Correas Regen.		●	●	●	●	●	●	●
Capacidad Anual Red Correas	MWh-año	12.728	170	6.331	8.604	87.485	36.257	66.186
Largo Correas Regenerativas	kms	4	3	2	6	12	6	10
		<i>Costo Implementación 1 km de Correa Regenerativa Superficial 2,5 MMUS\$</i>						
Costo Implementación Correas Regenerativas (*)								
Equipos + Ingeniería + Construcción (*)	MMUS\$	10,0	6,3	5,0	15,0	30,0	15,0	25,0
Costo Operación 15 años								
Costo Oper/Mant (8% Costo Implem)	MMUS\$	12,0	7,5	6,0	18,0	36,0	18,0	30,0
Total Implem + Oper(15 años)	MMUS\$	22,0	13,8	11,0	33,0	66,0	33,0	55,0
Financiamiento Implementación								
Financiamiento Propio	MMUS\$	8,0	5,0	4,0	12,0	24,0	12,0	20,0
20% Cofinanciamiento FMAM	MMUS\$	2,0	1,3	1,0	3,0	6,0	3,0	5,0
Financiamiento Operación 15 años								
Financiamiento Propio	MMUS\$	9,4	7,5	4,7	16,2	30,4	15,7	25,8
Financiamiento Bonos Carbono (14 años)	MMUS\$	2,6	0,0	1,3	1,8	5,6	2,3	4,2
Ahorro Compra Energía 15 años								
Ahorro Energía	MMUS\$	26,9	0,4	13,4	18,2	126,1	52,3	95,4
Evaluación Inversión Efic. Energética		●	●	●	●	●	●	●
Período Recuperación Simple (PRS a 15 años)		0,7	34,8	0,7	1,7	0,5	0,6	0,6
<i>SING - Período Recuperación Simple (9 años)</i>		1,0	45,3	1,0	2,2			
<i>SIC - Período Recuperación Simple (6 años)</i>						0,8	1,0	0,9
PERIODO 15 años		●	●	●	●	●	●	●
Valor Actual Neto (VAN 15 años)		1,3	-10,2	0,6	-12,9	30,2	8,2	19,0
Tasa Interna de Retorno (TIR 15 años)		8%	****	8%	****	20%	14%	17%
<i>Tasa Descuento: 6%</i>								
<i>Como ingresos en operación se consideró el ahorro energético y la venta de CERs (1 Cer = 1 Ton. CO2 = 15 US\$ (Mercado 2011))</i>								
<i>Implementación correa no contempla ejecución de tuneles y reforzamiento.</i>		**** Todos los años pérdidas						

D.3 Planilla cálculo caso generación correas regenerativas + normales con reducción trazado relave.

Evaluación Técnica:

MINICENTRALES CORREA REGENERATIVA + NORMAL REDUCCIÓN EXTENSIÓN TRANSPORTE RELAVES ESCENARIO 2009		CODELCO NORTE	COLLAHUASI	ESCONDIDA	SALVADOR	TENIENTE	PELAMBRES	ANDINA
		SING				SIC		
Estructura Generación "Recuperación Energética"								
Relaves 2009	Tphr	6.766	6.875	8.599	1.201	5.380	5.272	2.562
Relaveducto (extensión original)	kms	10,0	2,5	5,0	57,0	85,0	60,0	87,0
Relaveducto (extensión máxima viable)	kms	4,1	2,5	2,0	6,1	15,5	7,0	13,0
% Reducción extensión	%	59%	0%	59%	89%	82%	88%	85%
Desnivel planta-tranque	mtrs	270	120	120	1.450	2.000	755	3.200
Trayecto horizontal	mtrs	4.081	2.497	2.036	5.916	15.349	6.910	12.617
Parámetros correas		Reg + Norm	Regen	Reg + Norm	Regen	Reg + Norm	Reg + Norm	Reg + Norm
Tramo Descendente Regenerativo								
Tramo correa regenerativa	kms	4,0	2,5	2,0	6,0	12,0	6,0	10,0
Desnivel correa regenerativa (altura)	mtrs	270	120	120	1.000	1.300	600	1.800
Distancia sobre horizontal	mtrs	3.991	2.497	1.996	5.916	11.929	5.970	9.837
Angulo sobre horizontal	grados	3,9	2,8	3,4	9,6	6,2	5,7	10,4
Ancho correa	mm	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800
Tramo Horizontal								
Tramo correa horizontal	mtrs	90	0	40	0	3.420	940	2.780
Desnivel correa regenerativa (altura)	mtrs	0	0	0	0	0	0	0
Distancia sobre horizontal	mtrs	90	0	40	0	3.420	940	2.780
Ancho correa	mm	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800
Cálculos potencias según manual Pirelli								
Tramo Descendente Regenerativo								
Potencia para mover correa en vacío	CV	1.518	950	759	2.250	4.538	2.271	3.742
Potencia transporte horizontal material	CV	3.265	2.076	2.076	860	7.762	3.807	3.048
Potencia transporte vertical material	CV	6.759	3.053	3.818	4.445	25.878	11.705	17.062
Potencia Total (generación)	CV	-1.976	-26	-983	-1.335	-13.578	-5.627	-10.273
	MW	-1,45	-0,02	-0,72	-0,98	-9,99	-4,14	-7,56
Tramo Horizontal								
Potencia para mover correa en vacío	CV	34	0	15	0	1.301	358	1.058
Potencia transporte horizontal material	CV	74	0	42	0	2.225	599	861
Potencia transporte vertical material	CV	0	0	0	0	0	0	0
Potencia Total (consumo)	CV	108	0	57	0	3.526	957	1.919
	MW	0,08	0,00	0,04	0,00	2,59	0,70	1,41
Efecto generación "Recuperación Energética"								
Generación potencial anual (***)	MW-año	12.033	170	5.965	8.604	64.767	30.092	53.824
	MW-hr	1,4	0,02	0,7	1,0	7,4	3,4	6,1
% Autoabastecimiento eléctrico	%	0,4%	0,01%	0,2%	1,6%	3,3%	3,3%	9,1%
Reducción demanda sist. interconectado	%	0,10%	0,001%	0,05%	0,07%	0,92%	0,43%	0,76%
Reducción emisión CO2	Ton	10.973	155	5.439	7.846	18.394	8.546	15.286
Reducción anual en gasto energía (**)	MM \$	950	13	471	679	3.485	1.619	2.896
	MM US\$	1,70	0,02	0,84	1,21	6,23	2,89	5,17

Evaluación Financiera:

CUADRO SINÓPTICO		CODELCO	COLLAHUASI	ESCONDIDA	SALVADOR	TENIENTE	PELAMBRES	ANDINA
		NORTE						
		SING				SIC		
Estructura Generación Relaves vía Correas Regen.		●	●	●	●	●	●	●
Capacidad Anual Red Correas	MWh-año	12.033	170	5.965	8.604	64.767	30.092	53.824
Largo Correas Regenerativas	kms	4	3	2	6	12	6	10
<i>Costo Implementación 1 km de Correa Regenerativa Superficial 2,5 MMUS\$</i>								
Costo Implementación Correas								
Equipos + Ingeniería + Construcción (*)	MMUS\$	10,1	6,3	5,1	15,0	35,6	16,5	29,5
Costo Operación 15 años								
Costo Oper/Mant (8% Costo Implem)	MMUS\$	12,2	7,5	6,1	18,0	42,7	19,8	35,4
Total Implem + Oper(15 años)	MMUS\$	22,3	13,8	11,1	33,0	78,2	36,4	64,9
Financiamiento Implementación								
Financiamiento Propio	MMUS\$	8,1	5,0	4,1	12,0	28,4	13,2	23,6
20% Cofinanciamiento FMAM	MMUS\$	2,0	1,3	1,0	3,0	7,1	3,3	5,9
Financiamiento Operación 15 años								
Financiamiento Propio	MMUS\$	9,7	7,5	4,9	16,2	38,5	17,9	32,0
Financiamiento Bonos Carbono (14 años)	MMUS\$	2,5	0,0	1,2	1,8	4,1	1,9	3,4
Ahorro Compra Energía 15 años								
Ahorro Energía	MMUS\$	25,5	0,4	12,6	18,2	93,4	43,4	77,6
Evaluación Inversión Efic. Energética		●	●	●	●	●	●	●
Período Recuperación Simple (PRS a 15 años)		0,8	34,8	0,8	1,7	0,8	0,8	0,8
<i>SING - Período Recuperación Simple (10 años)</i>		1,0	42,7	1,0	2,0			
<i>SIC - Período Recuperación Simple (9 años)</i>						1,0	1,0	1,0
		●	●	●	●	●	●	●
Valor Actual Neto (VAN 15 años)		0,0	-10,2	0,0	-12,9	0,0	0,0	0,0
Tasa Interna de Retorno (TIR 15 años)		6%	****	6%	****	6%	6%	6%
Tasa Descuento: 6%								
Como ingresos en operación se consideró el ahorro energético y la venta de CERs (1 Cer = 1 Ton. CO2 = 15 US\$ (Mercado 2011))								
Implementación correa no contempla ejecución de tuneles y reforzamiento. **** Todas los años pérdidas								

Anexo E Análisis Sensibilidad Generación Correa Regenerativa.

E1. Sensibilidad Inversión Inicial

Considerando sólo variación en la inversión inicial y manteniendo las características de las correas, se aprecia:

Sensibilidad	CODELCO NORTE	COLLAHUASI	ESCONDIDA	SALVADOR	TENIENTE	PELAMBRES	ANDINA
Nivel de Inversión Caso propuesto	10,0	6,3	5,0	15,0	30,0	15,0	25,0
VAN	● 1,3	● -10,2	● 0,6	● -12,9	● 30,2	● 8,2	● 19,0
TIR	● 8%	● ****	● 8%	● ****	● 20%	● 14%	● 17%
Nivel de inversión max (para proyecto viable)	10,8		5,4	7,3	48,0	19,9	36,3
VAN = 0	● 0,0		● 0,0	● 0,0	● 0,0	● 0,0	● 0,0
TIR > 0	● 6%		● 6%	● 6%	● 6%	● 6%	● 6%
Nivel de inversión requerido para TIR=25%	5,8		2,9	3,9	26,0	10,6	19,5
VAN > 0	● 8,3		● 4,1	● 5,7	● 36,9	● 15,6	● 28,2
TIR = 25%	● 25%		● 25%	● 25%	● 25%	● 25%	● 25%
Nivel de inversión requerido para TIR=12%	8,8		4,3	5,8	39,0	16,0	29,0
VAN > 0	● 3,3		● 1,8	● 2,5	● 15,1	● 6,5	● 12,3
TIR = 12%	● 12%		● 12%	● 12%	● 12%	● 12%	● 12%

Considera parámetros de correa regenerativa propuestos para el caso de reemplazo % ducto original

- Codelco Andina, El Teniente y Los Pelambres tienen una importante brecha de holgura en cuanto al aumento de la inversión (32 a 60% sobre la inversión del caso base) antes de comprometer la viabilidad de la solución.
- Codelco Norte y Escondida comprometen su viabilidad si la inversión se incrementa un 8%.

E2. Sensibilidad Largo Correa Regenerativa

Considerando sólo variación en el largo de la correa regenerativa y manteniendo las otras características, se aprecia:

Sensibilidad Largo Correa Regen. (kms)	CODELCO NORTE	COLLAHUASI	ESCONDIDA	SALVADOR	TENIENTE	PELAMBRES	ANDINA
Caso Propuesto (kms)	4,0	2,5	2,0	6,0	12,0	6,0	10,0
Potencia Total Generada (MW-hr)	1,5	0,0	0,7	1,0	10,0	4,1	7,6
Reducción anual en gasto energía (MMUS\$)	1,8	0,0	0,9	1,2	8,4	3,5	6,4
Valor Actual Neto (15 años)	1,3	-10,2	0,6	-12,9	30,2	8,2	19,0
Tasa Interna de Retorno (15 años)	● 8%	****	● 8%	****	● 20%	● 14%	● 17%
Caso 1: aumento 25% (kms)	5,0	No regen.	2,5	6,3	15,0	7,5	12,5
Potencia Total Generada (MW-hr)	0,6		0,2	0,4	7,7	3,0	6,3
Reducción anual en gasto energía (MMUS\$)	0,7		0,2	0,5	6,5	2,5	5,3
Valor Actual Neto (15 años)	-13,9		-8,0	-26,5	-0,8	-7,2	-1,9
Tasa Interna de Retorno (15 años)	****		****	****	● 6%	● -1%	● 5%
Caso 2: aumento 50% (kms)	No regen.	No regen.	No regen.	No regen.	18,0	9,0	15,0
Potencia Total Generada (MW-hr)					5,4	1,9	5,0
Reducción anual en gasto energía (MMUS\$)					10,3	4,4	7,5
Valor Actual Neto (15 años)					-31,8	-22,5	-22,7
Tasa Interna de Retorno (15 años)					****	****	****
Caso 3: disminución 25% (kms)	3,0	1,9	1,5	4,5	9,0	4,5	7,5
Potencia Total Generada (MW-hr)	2,3	0,6	1,2	1,6	12,3	5,3	8,9
Reducción anual en gasto energía (MMUS\$)	2,9	0,7	1,5	1,9	10,3	4,4	7,5
Valor Actual Neto (15 años)	16,5	-0,7	9,2	0,7	61,2	23,6	39,9
Tasa Interna de Retorno (15 años)	● 34%	● 4%	● 37%	● 7%	● 40%	● 33%	● 33%

Se conservan el resto de los parámetros. Aumentos y disminuciones sobre largo caso propuesto

- Para las correas más largas (Teniente, Pelambres, Andina), el aumento del largo de la correa regenerativa reduce el potencial de generación en un porcentaje aproximado similar al porcentaje de aumento.
- El aumento de un 25% inviabiliza la solución para Codelco Norte y Escondida, mientras un aumento del 50% la elimina para todas las faenas en estudio.
- En cuanto a la disminución del largo en un 25%, viabiliza la solución para todas las faenas salvo Collahuasi.

E3. Sensibilidad Desnivel Correa Regenerativa

Considerando sólo variación en el desnivel de la correa regenerativa y manteniendo las otras características, se aprecia:

Sensibilidad Desnivel Correa Regen. (mts)	CODELCO NORTE	COLLAHUASI	ESCONDIDA	SALVADOR	TENIENTE	PELAMBRES	ANDINA
Caso Propuesto (mts)	270	120	120	1000	1300	600	1800
Potencia Total Generada (MW-hr)	1,5	0,0	0,7	1,0	10,0	4,1	7,6
Reducción anual en gasto energía (MMUS\$)	1,8	0,0	0,9	1,2	8,4	3,5	6,4
Valor Actual Neto (15 años)	1,3	-10,2	0,6	-12,9	30,2	8,2	19,0
Tasa Interna de Retorno (15 años)	● 8%	****	● 8%	****	● 20%	● 14%	● 17%
Caso 1: aumento 25% (mts)	338	150	150	1250	1625	750	2250
Potencia Total Generada (MW-hr)	2,7	0,6	1,4	1,8	14,8	6,3	10,7
Reducción anual en gasto energía (MMUS\$)	3,3	0,7	1,8	2,2	12,4	5,3	9,0
Valor Actual Neto (15 años)	16,8	-3,2	9,3	-2,6	68,8	25,6	44,6
Tasa Interna de Retorno (15 años)	● 28%	● -4%	● 30%	● 3%	● 35%	● 28%	● 29%
Caso 2: aumento 50% (mts)	405	180	180	1500	1950	900	2700
Potencia Total Generada (MW-hr)	3,9	1,1	2,1	2,7	19,6	8,5	13,9
Reducción anual en gasto energía (MMUS\$)	4,9	1,4	2,6	3,3	16,5	7,1	11,7
Valor Actual Neto (15 años)	32,3	3,7	18,1	7,9	107,4	43,1	70,4
Tasa Interna de Retorno (15 años)	● 45%	● 15%	● 50%	● 14%	● 49%	● 41%	● 41%
Caso 3: disminución 25% (mts)	203	No Regen	90	750	975	450	1350
Potencia Total Generada (MW-hr)	0,2		0,0	0,2	5,2	2,0	4,4
Reducción anual en gasto energía (MMUS\$)	0,3		0,0	0,2	4,4	1,7	3,7
Valor Actual Neto (15 años)	-14,2	-17,2	-8,1	-23,3	-8,4	-9,2	-6,6
Tasa Interna de Retorno (15 años)	****	****	****	****	● 1%	● -7%	● 1%

Se conservan el resto de los parámetros. Aumentos y disminuciones sobre desnivel caso propuesto

Obs: Codelco Norte, Collahuasi y Escondida son faenas que no tienen holgura para ampliar la altura de las correas.

- El incremento del desnivel de la correa aumenta fuertemente el potencial de generación en los casos de menor altura (Codelco Norte, Escondida, Salvador), tal que un incremento de un 25% del desnivel provoca aumentos entre un 80 a 90% del potencial de generación (MW-hr).
- El aumento de un 50% del desnivel viabiliza la solución para todas las faenas.
- Por otra parte, la disminución del desnivel en un 25% provoca la invibilización de la solución para todas las faenas.

