

Comisión Chilena del Cobre
Dirección de Estudios

**DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA
EN LA MINERÍA DEL COBRE Y PERSPECTIVAS
DE SEGURIDAD EN SU ABASTECIMIENTO**

DE / 01 / 2010

Registro de Propiedad Intelectual
© N° 188.479

INDICE

	Pág. N°
RESUMEN EJECUTIVO	3.
I. INTRODUCCIÓN	10.
II. EL CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA EN LA MINERIA DEL COBRE Y SU PROYECCIÓN HASTA EL AÑO 2020	13.
2.1 Consumo global de energía (1995 – 2008)	13.
2.2 Importancia de la demanda eléctrica en la minería del cobre	14.
2.3 Principales proyectos en la minería del cobre	15.
2.4 Consumo de energía eléctrica proyectado al año 2020	16.
2.5 Consumo de energía eléctrica por tipo de operaciones mineras	17.
III. LA SEGURIDAD DE ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LA MINERÍA DEL COBRE	20.
3.1 Los cambios en la matriz energética y sus consecuencias	20.
3.2 Perspectivas de abastecimiento en el corto plazo	22.
3.3 Proyecciones a mediano plazo	24.
IV. CONCLUSIONES	28.
ANEXO: Metodología para la proyección del consumo eléctrico en la minería del cobre	30.

RESUMEN EJECUTIVO

El estudio "Demanda de energía eléctrica en la minería del cobre y perspectivas de seguridad en su abastecimiento" tiene por objeto estimar la cantidad de energía eléctrica que demandará anualmente la minería del cobre hasta el año 2020 y analizar las perspectivas de abastecimiento eléctrico para satisfacer dicha demanda en el período, en el grado de suficiencia y seguridad que la minería del cobre requiere para su normal operación y su futuro desarrollo. Con esto se espera contribuir con antecedentes para la formación de una visión global sobre la vinculación estratégica entre la minería y los sistemas de generación eléctrica del país.

1) El consumo histórico de energía en la minería del cobre

Teniendo como base los antecedentes a partir del año 1995 hasta el año 2008, la minería del cobre había ido incrementado su consumo directo de energía global, a una tasa menor que el crecimiento de la producción de cobre, a causa de un cambio estructural de mayor consumo de electricidad en vez de combustibles.

Esta tendencia se revirtió en los años 2007 y 2008, debido principalmente a un mayor consumo de combustibles y un modesto crecimiento en la producción cuprífera.

Al año 2008, la electricidad explica el 53,2% del consumo energético directo de la minería del cobre. Este gran volumen significa que ella explica el 82,2% de las ventas de electricidad en el SING, y el 17,5% en el SIC, lo que equivale al 33,7% de las ventas globales de ambos sistemas en dicho año.

2) Proyección de la producción de cobre

La producción chilena de cobre mina (concentrados + cátodos SxEw) en el año 2008 alcanzó a las 5.328.000 ton Cu fino y se estima que se incremente a 7.491.000 ton Cu fino hacia el año 2020, de los cuales el 37% corresponderá a producción aportada por los nuevos proyectos.

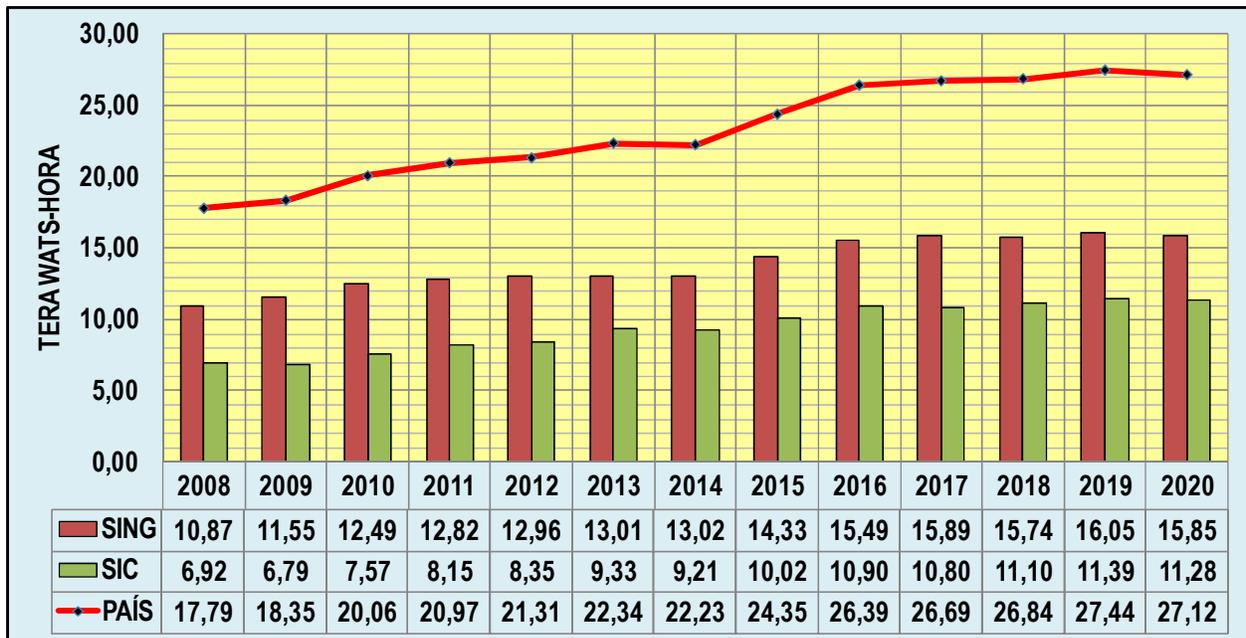
Los principales proyectos corresponden a los "proyectos estructurales" de CODELCO (Ministro Hales y Chuquicamata subterránea en el SING más Nueva Andina y Nuevo nivel mina de El Teniente en el SIC), ampliaciones en los grandes yacimientos (Escondida, Collahuasi, ambas en el SING y Los Bronce, Los Pelambres del SIC), desarrollo de nuevos yacimientos (Esperanza y Sierra Gorda en el SING, más Caserones, El Morro, Cerro Casale, del SIC), entre otros.

A su vez la producción en las fundiciones subirá desde 1.369.000 ton Cu fino en el año 2008 a 1.834.000 ton Cu fino en el año 2020, en tanto la producción de las refinерías electrolíticas pasará de 988.000 a 1.255.000 ton Cu fino en el mismo período.

3) Proyección del consumo de electricidad al año 2020.

El notable incremento proyectado de la producción cuprífera chilena en el decenio que comienza, significará un proporcional aumento en la demanda de energía eléctrica. Se estima que hacia el año 2020, ella demandará del orden de 27.120 GWh, lo que significa un alza del un 52,5% en comparación con el consumo del año 2008, que alcanzó a los 17.790 GWh, equivalente a una tasa anual de crecimiento de 3,6 % en el período.

El siguiente gráfico muestra la evolución prevista en el consumo de electricidad por parte de la minería del cobre



Fuente: Elaborado en COCHILCO

El consumo eléctrico 2020 en el área del Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) se proyecta en 15.850 GWh, con un crecimiento anual del 3,2% desde el año 2008. De ellos, se estima que 4.830 GWh corresponderán a la demanda de los nuevos proyectos, es decir un 30,5% de la demanda total esperada. El consumo crecería fuertemente el año 2010 y más atenuadamente los años siguientes para retomar su vigor los próximos años 2015 y 2016.

Ello demuestra que la demanda se sigue concentrando en el SING, aunque su participación en el año 2020 bajará al 58,4% respecto del 61,1% del consumo minero en el año 2008 .

Sin embargo, en el Sistema Interconectado Central (SIC) ocurrirá el impacto más significativo, creciendo a una tasa del 4,2% anual para alcanzar el año 2020 un consumo de 11.280 GWh. El consumo subirá sostenidamente, con mayor énfasis entre los años 2010 y 2016. Los nuevos proyectos mineros explicarán el 27,4% del consumo al año 2020.

4) La seguridad del abastecimiento eléctrico y sus perspectivas para los próximos años

De lo anteriormente expuesto se visualiza la estrecha relación de la minería del cobre y el sector de generación eléctrica, lo que induce a un actuar coordinado para contar con la necesaria seguridad en el abastecimiento, tan sensible para los costos de producción mineros.

Diversas iniciativas emergieron durante la crisis energética sufrida por el país desde el año 2004, a raíz del menor abastecimiento de gas natural (GN) argentino. En este informe se da relevancia al conjunto de acciones realizadas y proyectos donde la minería del cobre ha cumplido un rol relevante para alcanzar un nivel satisfactorio de seguridad en el abastecimiento eléctrico, en consideración a su valor estratégico tanto para las compañías mineras como para el país.

Los elementos más destacables son los siguientes:

4.1) Efectos del cambio de la matriz energética

La menor disponibilidad de GN obligó a generar electricidad con otros combustibles, bajando drásticamente su participación en la matriz de generación eléctrica. Es así como en el SING el GN decrece desde el 71,0% al 20,1% en el período 2003 al 2009. A su vez en el SIC su baja en el período es desde el 23,3% al 4,6%. La reactivación de las centrales a carbón significó un incremento de su participación del 28,3% al 56,6% en el SING y del 10,6% al 17,5% en el SIC.

Sin embargo el mayor impacto fue el empleo de diesel en las centrales de ciclo combinado habilitadas para usar este combustible como alternativa al GN. Es así como el diesel llegó a tener una participación en la matriz de generación en el año 2008 del 26,8% en el SING y de un 22,0% en el SIC, para disminuir levemente el año 2009.

En definitiva, la consecuencia más significativa de la crisis del gas natural ha sido el aumento de costos en la generación eléctrica, por el efecto combinado de reemplazar la generación a GN por otros combustibles normalmente más caros y por el incremento generalizado del precio de los combustibles, particularmente en los años 2007 y 2008, situación que se ha atenuado en el 2009.

Una estimación del mayor costo de producción de una tonelada de cátodo por efectos de una variación de 10 US\$/MWh en el costo eléctrico, se muestra en el siguiente cuadro.

Mayor costo directo de producción de Cátodos por cada incremento de 10 US\$/MWh en la energía eléctrica

Producto	Sistema Interconectado	Coef. Unitario KWh/Tmf)	Mayor Costo en US\$/Tmf	Mayor Costo en CentUS\$/lb
CÁTODO ER	SING	3.937	39,4	1,79
	SIC	4.714	47,1	2,14
CÁTODO SxEw	SING	3.430	34,3	1,56
	SIC	3.908	39,1	1,77

Fuente: Elaborado en COCHILCO, en base a los datos indicados en la tabla A2 del Anexo

4.2) Acciones para asegurar el abastecimiento en el corto plazo

El conjunto de medidas implementadas para enfrentar la estrecha situación para la generación eléctrica se tradujeron, en primer término, en asegurar la operatividad de las centrales de ciclo combinado con diesel, lo que incluyó inversiones para hacer más eficiente la logística de abastecimiento de diesel a la centrales y el apoyo financiero a Gas Atacama para evitar el eventual cierre de sus operaciones.

En segundo término, las compañías mineras han ido incorporando capacidad local de generación eléctrica de respaldo para sus operaciones críticas, en caso de insuficiencia de abastecimiento.

El tercer elemento fundamental fue la decisión de política energética para introducir la capacidad de recibir GNL desde el exterior, como una estrategia de diversificación del abastecimiento de combustibles y así seguir generando electricidad vía GN, con los beneficios consiguientes. Para ello se materializaron un terminal en Quintero (área SIC, ya en operación) y otro en Mejillones (área SING, próximo a ponerse en marcha).

4.3) Perspectivas para el abastecimiento en el mediano plazo

Los proyectos de nuevas centrales de generación son de largo desarrollo y los primeros surgidos como respuesta a la crisis debieran empezar a entrar en

operación no antes del 2011. Para muchos de ellos, ha sido posible materializarlos por el compromiso directo de compañías mineras que aseguran la compra de la energía al generador.

La ampliación de la capacidad de generación eléctrica en base a carbón, se ha constituido en la alternativa más clara de diversificar la matriz energética nacional y de las fuentes de abastecimiento, a consecuencia de los sustantivos cambios en el mercado internacional de los energéticos y los avances tecnológicos en la combustión del carbón, que permiten disminuir los impactos de las emisiones de las plantas carboneras. No obstante ello, algunos proyectos están enfrentando objeciones por los impactos medioambientales en los lugares donde serían emplazados.

De las iniciativas que ya tienen allanado su camino y cuentan con participación de las Cías. mineras del cobre, cabe destacar las siguientes:

- a) Suez Energy está construyendo una nueva planta de generación a carbón de 165 MW y 300 mill US\$ de inversión (Central Andina en Mejillones), con el objeto de atender mayores requerimientos de CODELCO (80 MW para CODELCO Norte y 70 MW para Gabriela Mistral ex Gaby) a partir del año 2010. Una segunda central similar y vecina a la anterior (Central Hornitos) la está construyendo para atender las necesidades de Antofagasta Minerals, con un excedente disponible para el SING y entraría en operaciones el año 2011.
- b) GENER está construyendo una central a carbón de 518 MW brutos en Mejillones, para abastecer preferentemente a Minera Escondida Limitada y Minera Spence S.A., ambas operadas por BHP Billiton, a partir del 2011. El proyecto considera dos unidades a carbón de avanzada tecnología para la mitigación de emisiones, y una línea de transmisión de 140 km y 220 kV para su conexión al Sistema Interconectado del Norte Grande (SING).
- c) En septiembre del 2009, CODELCO adjudicó a Colbún S.A. un contrato de suministro eléctrico de largo plazo que incluirá la demanda de sus cuatro Divisiones conectadas al SIC. El contrato comprende una potencia hasta 510 MW y una energía asociada hasta 4 mil GWh anuales, para sustentar las necesidades de CODELCO en el área del SIC por los próximos 30 años, a partir de marzo del 2013.
- d) Se estudia la continuación de operación del terminal de GNL en Mejillones, más allá del contrato actual por 3 años, para lo cual requeriría completar la infraestructura con los estanques de almacenamiento y regasificación en tierra.

A su vez, para el terminal de GNL de Quintero ya se estudia una ampliación de su capacidad, lo que permitiría dar soporte a nuevos proyectos de centrales de ciclo combinado en el SIC.

- e) El desarrollo de capacidades de generación en base a energías renovables no convencionales (ERNC) es un objetivo de la política energética nacional, en su visión de largo plazo para garantizar el desarrollo sustentable.

En este segmento, las compañías mineras han estado interesadas en desarrollar parques eólicos, por ejemplo CODELCO en las cercanías de la mina Gabriela Mistral (II Región, SING) y Barrick en Punta Colorada (IV región, SIC) de unos 20 MW c/u.

5) Conclusiones

La minería del cobre desarrollará en el curso de la próxima década un gran esfuerzo productivo, tanto para la expansión de sus grandes yacimientos como en proyectos nuevos de mediana y gran escala.

Cabe resaltar que las expansiones obedecen principalmente a lograr una mayor productividad y enfrentar las adversas condiciones minero-metalúrgicas que progresivamente se irán presentando en los yacimientos hoy en explotación. Estas nuevas condiciones, entre otras complicaciones, serán cada vez más intensivas en requerimientos de energía, de tal manera que es del todo previsible que el consumo de energía eléctrica necesaria para la obtención de una tonelada de cobre comercial se vaya incrementando en el tiempo.

Este efecto, será atenuado por el ingreso de nuevas operaciones que estarán dotadas de los más altos estándares tecnológicos y por el esfuerzo que las compañías mineras deberán realizar para la "eficiencia energética" en todos los ámbitos de sus operaciones.

De los antecedentes expuestos en este informe se puede concluir que:

- a) Las operaciones mineras han debido enfrentar incidentes de inestabilidad en el suministro, incluyendo reducciones puntuales de consumo acordadas con el respectivo Centro de Despacho Económico de Carga (CDEC), la situación ha estado bajo control sin afectar necesariamente los niveles de producción proyectados por las compañías.
- b) Las compañías mineras se han comprometido con las soluciones determinadas para asegurar el abastecimiento eléctrico en el corto

plazo, asumiendo recargas en sus costos, lo que les permite la normalidad de sus operaciones.

- c) Dada la insuficiente capacidad actual para atender las mayores demandas de parte de los nuevos proyectos mineros, las compañías han negociado con las principales generadoras del SING y del SIC condiciones que al asegurar la compra de energía a futuro, ellas harán las inversiones necesarias para cumplir con oportunidad las demandas comprometidas.

Finalmente, con perspectivas ciertas que la minería del cobre contará en la década con la energía eléctrica necesaria para cubrir sus operaciones, es necesario señalar que las soluciones previstas generarán un cambio drástico en la matriz energética al privilegiar la generación por combustión de carbón. A no tan largo plazo, ello puede representar una dificultad para la minería chilena en el concierto internacional, dadas las crecientes preocupaciones por la emisión de gases con efecto invernadero y el consiguiente impacto al cambio climático.

I. INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica es un insumo estratégico para la minería y la seguridad de su abastecimiento se ha visto amagada por factores exógenos a su quehacer. A su vez, la minería del cobre es una de las actividades más demandante para el sector eléctrico, por lo que el comportamiento de ambos sectores tiene una alta interdependencia.

Por esta razón, la Comisión Chilena del Cobre ha estado desarrollando una línea de estudios relacionados tanto con el uso de la energía como con el abastecimiento eléctrico para la minería del cobre.

1.1 Propósito del informe

En este contexto, el presente estudio tiene el objetivo de estimar la demanda de la minería del cobre por energía eléctrica hasta el año 2020 y analizar las perspectivas de abastecimiento eléctrico para satisfacer la demanda del corto y mediano plazo, en el grado de suficiencia y seguridad que la minería del cobre requiere.

En el capítulo II se expone la proyección del consumo de energía eléctrica en la minería del cobre para el período 2009-2020¹, tanto a nivel nacional como en cada sistema interconectado que alimenta a las operaciones mineras. Esta proyección contiene la demanda de electricidad de las operaciones actuales, más los requerimientos de los proyectos mineros que entrarían en producción antes del 2020, con el detalle por cada fase productiva hasta la obtención de cobre refinado. Esta información es un aporte esencial para visualizar la demanda global de la minería del cobre, en apoyo a las decisiones necesarias para asegurar el abastecimiento eléctrico para este sector.

A su vez, el tercer capítulo, se dedica a revisar las acciones que los principales actores están desarrollando para enfrentar la contingencia presente y las demandas futuras de energía eléctrica. Especial relevancia se da a la vinculación de las compañías mineras con las soluciones de corto y mediano plazo que se están planteando, para asegurar el abastecimiento de energía eléctrica para la minería del cobre.

1.2 Metodología

La estimación de consumo eléctrico hasta el año 2020, está basada en aplicar a la proyección de producción de cobre de cada año, los respectivos

¹ A la fecha de realización del informe no se disponen de las cifras reales del año 2009

coeficientes unitarios de consumo eléctrico correspondientes a cada etapa del proceso minero, expresados en KWh de energía consumida por cada tonelada de cobre fino contenido en el material tratado en la respectiva etapa.

La proyección de producción está basada en los pronósticos de producción de las operaciones vigentes, más la nueva producción que aportarían los proyectos de inversión a materializarse antes del año 2020.

En el Anexo se detallan los criterios metodológicos y las cifras de coeficientes unitarios y perfiles de producción empleados para la estimación del consumo eléctrico en la minería del cobre.

Los términos especializados que se emplean en el informe se señalan a continuación.

Cuadro N° 1: Glosario de términos especializados

Concepto	Descripción
Potencia eléctrica	La "potencia" de un sistema eléctrico es la cantidad de energía eléctrica que necesita para hacer su trabajo durante un tiempo determinado. Su unidad de medida es el Watt (W), equivalente a la potencia de un circuito para que fluya 1 Ampere por cada Volt de diferencia de voltaje aplicado al circuito. 1 KiloWatt (KW) = 1.000 Watts (W) 1 MegaWatt (MW)= 1.000 (KW) = 1.000.000 (W) 1 GigaWatt (GW)= 1.000 (MW)= 10 ⁶ (KW) = 10 ⁹ (W)
Energía eléctrica	La "energía eléctrica" es la cantidad de flujo eléctrico que circula por un circuito eléctrico. Se mide habitualmente en Watt-hora o en múltiplos de 1000 de esa unidad (Potencia por el tiempo que es empleada). Por ejemplo, un molino SAG de 10,5 MW de potencia significa que funcionando una hora a plena carga consumirá 10,5 MegaWatts-hora de energía. También la energía eléctrica se expresa en Joule. 1 Watt-hora (Wh) = 3.600 Joule 1 KiloWatt-hora (KWh) = 1.000 Watt-hora (Wh) 1 MegaWatt-hora (MWh) = 1.000 (KWh) = 1.000.000 (Wh) 1 GigaWatt-hora (GWh) = 1.000 (MWh)= 10 ⁶ (KWh) = 10 ⁹ (Wh)
Potencia contratada	Es la potencia máxima requerida por un cliente para que funcionen todos sus sistemas eléctricos.
Potencia de punta	Es la máxima potencia real demandada al sistema generador en algún instante.
Energía primaria	Energía de cualquier fuente transformable en electricidad.
Turbina a Gas (TG)	Es una forma de generación eléctrica donde el generador es accionado por una turbina que recibe la energía de los gases de la combustión de un combustible líquido (petróleo, diesel o parafina) o gaseoso. Solo aprovecha un 35% de la energía y el resto se pierde en los gases de escape.
Turbina a vapor (TV)	Es una forma de generación eléctrica donde el generador es accionado por una turbina que recibe la energía del vapor producido en una caldera cuya fuente de calor proviene de la combustión de algún combustible sólido, líquido o gaseoso.

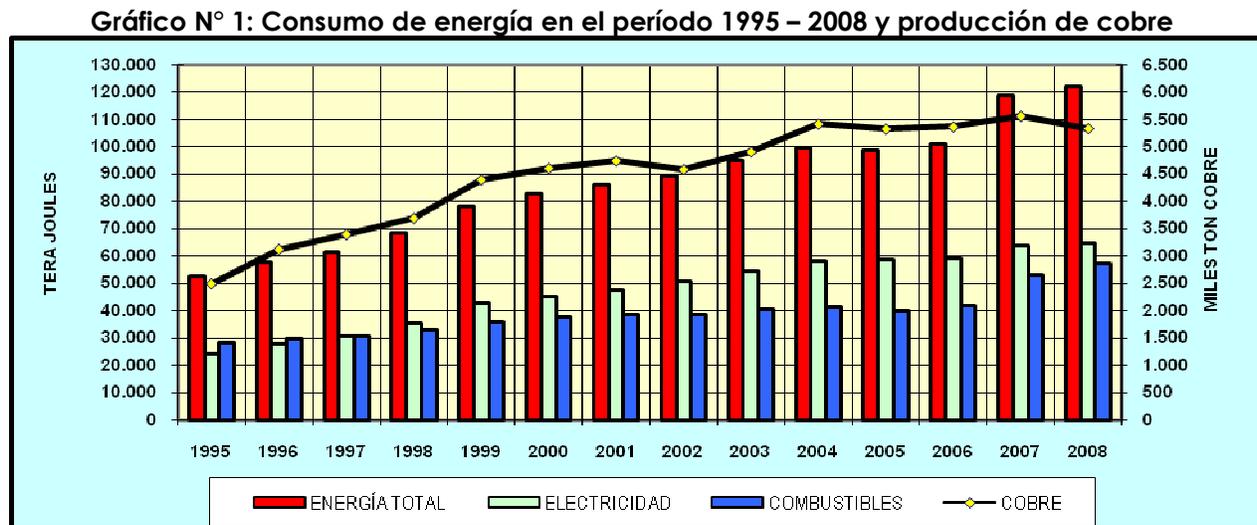
Ciclo Combinado (CC) a Gas Natural	Es una central de generación eléctrica que combina el ciclo de generación a gas, producto de la combustión del Gas Natural, con el ciclo de generación a vapor donde la caldera usa como fuente calórica los gases de escape de la combustión producida en el ciclo a gas, aumentando así la eficiencia en la conversión de la energía térmica en energía eléctrica.
SIC	Sistema Interconectado Central (Taltal a X Región).
SING	Sistema Interconectado del Norte Grande (I y II Región excepto Taltal).
CDEC	Centro de Despacho Económico de Carga, ente independiente que coordina la generación de electricidad en cada sistema. El SIC y el SING tienen su propio CDEC.
CNE	Comisión Nacional de Energía.
Precio nudo	Tarifa de la electricidad que fija la CNE para las compañías que prestan servicios a los clientes regulados de cada sistema.
Clientes regulados	Usuarios de los sistemas eléctricos que toma el suministro de la red pública a las tarifas reguladas por la CNE.
Clientes libres	Usuarios de más de 2 MW que pueden contratar el suministro eléctrico directamente con una compañía generadora a tarifas libremente pactadas.
Mills/KWh	Unidad de medida del valor de la energía eléctrica, expresada en milésimos de US\$ por cada KiloWatt-hora. Es equivalente a 0,1 cUS\$/ KWh y a 1 US\$/MWh.

II. EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA MINERÍA CHILENA DEL COBRE Y SU PROYECCIÓN HASTA EL AÑO 2020

El presente capítulo está dedicado a situar el contexto del consumo de energía eléctrica en la minería del cobre y proyectarlo hacia el 2020, en función del nivel de producción esperado en las operaciones mineras en las áreas del SING y del SIC, como un antecedente indicativo para el desarrollo del sector.

2.1 Consumo global de energía en la minería del cobre (1995 – 2008)²

La minería del cobre es una actividad intensiva en consumo de energía, tanto de combustibles como eléctrica, cuya evolución en el período 1995 – 2008 se muestra a continuación.



Fuente: COCHILCO en base a Informe "Coeficientes unitarios de consumo de energía en la minería del cobre 1995-2008"

Cuadro N° 2: Consumos de energía de la minería del cobre 1995-2008

	1995	Participación	2008	Participación	% Variación Anual
Total Energía (TeraJoule)	52.666	100,0%	121.897	100,0%	6,7%
<i>Energía Eléctrica (TJoule)</i>	24.445	46,4%	64.787	53,2%	7,8%
<i>Combustibles (TJoule)</i>	28.221	53,6%	57.110	46,8%	5,6%
Producción Cobre (Ktmf)	2.489	-----	5.361	-----	6,1%

Fuente: COCHILCO en base a Informe "Coeficientes unitarios de consumo de energía en la minería del cobre 1995-2008"

² Para medir la energía, tanto eléctrica como combustible, se emplea múltiplos de Joule. En cambio para las referencias específicas a la energía eléctrica se emplea como unidad de medida múltiplos de Watt.

De allí se aprecia que hasta el año 2006 el consumo global de energía creció a tasas menores que la producción de cobre³, debido a un cambio estructural donde el consumo eléctrico aumenta su participación en la minería del cobre gracias a su mayor empleo en diversas aplicaciones, por razones económicas, tecnológicas y medioambientales. Sin embargo, esta situación se ha revertido en los dos últimos años, aumentando significativamente el consumo energético, particularmente de combustibles.

La principal causa del cambio de tendencia en los años recientes ha sido el estancamiento en el nivel global de producción de cobre, en el deterioro de los factores minero metalúrgicos en la mayoría de los yacimientos en explotación y la situación en el abastecimiento eléctrico afectado por la menor disponibilidad de GN, lo que llevó a reutilizar más combustibles en las operaciones mineras.

2.2 Importancia de la demanda eléctrica de la minería del cobre

Reconocida es la importancia estratégica de la energía eléctrica para las operaciones de la minería del cobre en Chile, cuya mayor intensidad de uso se orienta a procurar una mayor eficiencia productiva y disminución de los impactos medioambientales en ellas.

El siguiente cuadro muestra la importancia relativa de la minería del cobre en la demanda eléctrica nacional y para cada uno de los principales sistemas de generación, para el período 2000 - 2008.

Cuadro N° 3: Participación de la minería del cobre en el consumo eléctrico nacional

Sistema	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
SING (GWh)									
Consumo Minería Cu	6.317	7.589	7.933	8.822	9.431	9.604	9.883	10.700	10.870
Ventas SING	8.398	8.991	9.482	10.480	11.240	11.560	12.029	12.670	13.220
Participación Min Cu (%)	75,2%	84,4%	83,7%	84,2%	83,9%	83,1%	82,2%	84,5%	82,2%
SIC (GWh)									
Consumo Minería Cu	4.030	4.703	5.381	5.692	6.240	6.311	6.540	7.080	6.920
Ventas SIC	27.654	29.144	30.335	32.076	34.602	35.929	38.231	39.960	39.580
Participación Min Cu (%)	14,6%	16,1%	17,7%	17,7%	18,0%	17,6%	17,1%	17,7%	17,5%
PAÍS (GWh)									
Consumo Minería Cu	10.347	12.292	13.314	14.514	15.671	15.915	16.423	17.780	17.790
Ventas País	36.052	38.135	39.817	42.556	45.842	47.489	50.260	52.630	52.800
Participación Min Cu (%)	28,7%	32,2%	33,4%	34,1%	34,2%	33,5%	32,7%	33,8%	33,7%

Fuente: COCHILCO (Consumo minería Cu) y CNE (Energía vendida en cada sistema, excluyendo Aysén y Magallanes)

³ Las cifras de producción de cobre corresponde al total de cobre fino contenido en las diversas formas de productos finales comercializados (Concentrados de cobre, Blíster, Raf, Cátodos ER y Cátodos SxEw)

2.3 Principales proyectos en la minería del cobre

La producción de cobre hasta el año 2020 en la que se basa la proyección de consumo de energía eléctrica está incluida en el Anexo N° 1.⁴ Dichas cifras están compuestas por los perfiles de producción estimadas para las operaciones vigentes y por los perfiles de producción que aportarían los proyectos mineros que probablemente se materializarían en el período.

Los principales proyectos de inversión en la minería del cobre, factibles de materializarse en el período 2009 – 2020, se indican en el cuadro N° 4,⁵ ordenados por año de puesta en marcha y señalando el sistema de interconexión eléctrica que los abastecerá.

Cuadro N° 4: Calendario de Puesta en Marcha de Principales Proyectos

Año Puesta en Marcha	EMPRESA	PROYECTOS	REGIÓN (SING / SIC)
2009	QUADRA MINING	Franke	II (SIC)
2010	ANTOFAGASTA MINERALS	Esperanza	II (SING)
		II Ampliación Los Pelambres	IV (SIC)
	CODELCO Andina	Expansión a 94 KTPD (Fase I)	V (SIC)
	CODELCO Norte	R T Sulfuros Fase I	II (SING)
	CODELCO Teniente	Pilar Norte	VI (SIC)
	COLLAHUASI	Ampliación Fase I	I (SING)
	TECK	Andacollo Hipógeno	IV (SIC)
	XSTRATA	Lomas Bayas II	II (SING)
2012	ANGLO AMERICAN	Expansión Los Bronces	MET (SIC)
	FREEPORT MC MORAN	El Abra Sulfolix	II (SING)
	VALE	Tres Valles	IV (SIC)
2013	CERRO DOMINADOR	Diego de Almagro	III (SIC)
	CODELCO Salvador	San Antonio Óxidos	III (SIC)
	PAN PACIFIC COPPER	Caserones	III (SIC)
2014	XSTRATA	El Morro	III (SIC)
2015	BARRICK	Cerro Casale	III (SIC)
	BHP BILLITON	Escondida Fase V	II (SING)
	CODELCO Andina	Expansión a 230 KTPD (Fase II)	V (SIC)
	CODELCO Norte	Mina Ministro Hales	II (SING)
	QUADRA MINING	Sierra Gorda	II (SING)
Después del 2015	COLLAHUASI	Ampliación Fase II	I (SING)
	CODELCO Norte	Chuquicamata Subterránea	II (SING)
	CODELCO Teniente	Nuevo Nivel Mina	VI (SIC)

Fuente: Elaborado en COCHILCO, sobre la base de los antecedentes de cada proyecto de fuentes públicas

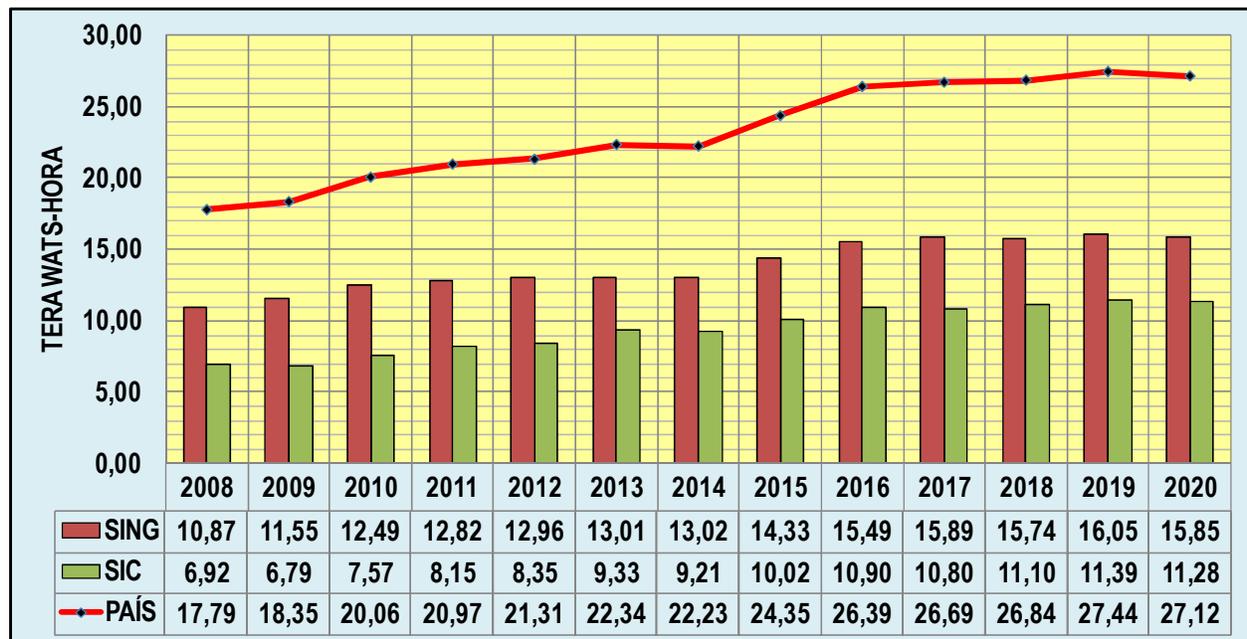
⁴ Ver punto 2 del Anexo N° 1.

⁵ Ver INVERSIÓN EN LA MINERÍA CHILENA DEL COBRE Y DEL ORO - Proyección del período 2009 – 2015, actualizada a Agosto 2009.

2.4 Consumo de energía eléctrica proyectado al año 2020

Basado en la metodología para proyectar el consumo eléctrico en la minería chilena del cobre que se explica en el Anexo, se estima que hacia el año 2020, la minería del cobre demandará del orden de 27.120 GWh, lo que significa un de un incremento del 52,5% comparado con el consumo del año 2008, equivalente a una tasa de crecimiento del 3,6% anual en el período 2008 -2020. Su evolución se muestra en el Gráfico N° 2.

Gráfico N° 2: Proyección al año 2020 del consumo eléctrico en la minería del cobre (TWH)⁶



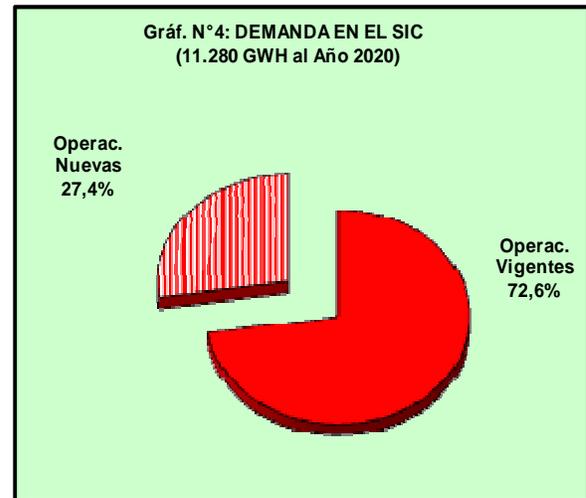
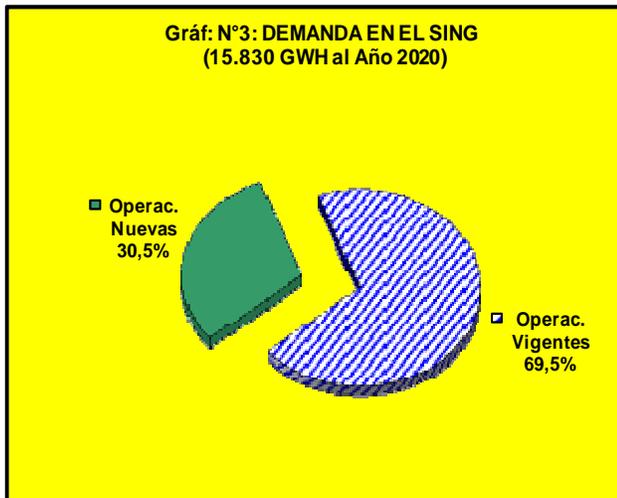
Fuente: Elaborado en COCHILCO

La mayor demanda se concentra en el SING. En el año 2008 su consumo alcanzó a los 10.870 GWH, explicando un 61% del consumo eléctrico minero y crecerá a una tasa anual del 3,2%, para llegar a 15.850 GWH el año 2020.

A su vez el consumo en el área del SIC pasará de 6.920 GWH a 11.280GWH en el mismo período, equivalente a una tasa del 4,2% en el período, lo que significará subir su participación al 41,6% del consumo minero esperado para el año 2020.

El crecimiento de la demanda en el corto plazo se debe al crecimiento de las operaciones actuales y en el mediano plazo se reflejará la demanda de los nuevos proyectos que irán entrando en operación durante el período en estudio, pues naturalmente las actuales operaciones irán presentando una apreciable declinación. Es así como al año 2020, los nuevos proyectos explicarán el 30,5% de la demanda en el SING y el 27,4% del SIC.

⁶ Terawatts-hora (TWH), equivalente a 1000 Gigawatts-hora (GWH).



Fuente: Elaborado en COCHILCO

2.5 Consumo de energía eléctrica por tipo de operaciones mineras de cobre en el SING y en el SIC, proyectado al año 2020

En los cuadros siguientes se detalla para cada uno de los sistemas eléctricos que abastecen a la minería del cobre, la distribución del consumo eléctrico proyectado tanto para las operaciones vigentes como para los proyectos.

El consumo base comprende las operaciones mineras conducentes a la producción de concentrados de cobre y cátodos SxEw, y las operaciones de fundición y refinera electrolítica. A su vez, el consumo de proyectos comprende a las nuevas operaciones mineras que entrarían en marcha en el período en estudio.

Cabe señalar que en el consumo eléctrico por parte de la minería del cobre, no está considerada la energía eléctrica que se requiere para el tratamiento de agua del mar y su impulsión a las faenas mineras que la empleen.

2.5.1 Proyección para el SING

La proyección de consumo eléctrico para el SING se muestra en el cuadro N° 5. Allí se aprecia que existe una fuerte demanda de energía eléctrica en el corto plazo, particularmente en el año 2010, para situarse al año 2012 en torno a 13 mil GWH, con un incremento de más de 2 mil GWH comparado con el consumo en el SING del pasado año 2008. Ello obedece al empuje de las actuales operaciones.

Posteriormente, un segundo ciclo de alta demanda se presenta hacia el año 2015, que llevará a situar la demanda en un nuevo nivel en torno a 15.900 GWH hacia el fin de la década. En este período se manifiesta la demanda de los nuevos proyectos mineros, atenuado con la declinación manifiesta de las operaciones de Lixiviación (Cátodos SxEw).

Cuadro N° 5: Proyección de consumos de energía eléctrica en el SING por tipo de operaciones en el período 2009 - 2020⁷

Giga Watts-Hora	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
TOTAL SING	10.874	11.554	12.489	12.815	12.959	13.011	13.019	14.331	15.490	15.889	15.737	16.047	15.847
de los cuales:													
CONC. BASE	3.941	3.955	4.445	4.810	4.685	4.911	4.955	5.093	5.160	5.292	5.378	5.400	5.252
SXEW BASE	6.089	6.693	6.948	6.696	6.606	6.212	6.043	5.668	5.486	5.203	4.662	4.585	4.230
FUND / REF	844	907	1.096	1.275	1.329	1.349	1.368	1.533	1.533	1.533	1.533	1.533	1.533
SUB TOTAL BASE	10.874	11.554	12.489	12.780	12.620	12.472	12.366	12.294	12.179	12.028	11.572	11.518	11.015
CONC. PROY.	0	0	0	0	0	0	0	1.304	2.497	3.039	3.169	3.329	3.485
SXEW PROY.	0	0	0	35	338	539	653	733	814	822	996	1.200	1.346
SUB TOTAL PROY.	0	0	0	35	338	539	653	2.037	3.311	3.861	4.164	4.529	4.831
CRECIMIENTO ANUAL	----	680	935	326	143	53	8	1.311	1.159	398	-152	310	-200
CREC. ACUMULADO	----	680	1.615	1.941	2.085	2.137	2.145	3.456	4.616	5.014	4.863	5.173	4.972

Fuente: Elaborado en COCHILCO

2.5.2 Proyección para el SIC

Por su parte, la proyección de consumo eléctrico para el SIC se muestra en el cuadro N° 6.

El SIC enfrentará a partir del 2010 un sostenido crecimiento del consumo eléctrico minero, donde los nuevos requerimientos de las operaciones actuales significarán en el año 2013 más de 2 mil GWH sobre el consumo del año 2008, para llevar el nivel de demanda en torno a las 9 mil GWH.

Ya en el año 2013 emergerán los requerimientos de los nuevos proyectos que impulsarán el consumo global en el SIC en torno a las 11.300 GWH hacia fines de la década.

⁷ Se incluye el dato del año 2008 como base de referencia.

**Cuadro N° 6: Proyección de consumos de energía eléctrica en el SIC
por tipo de operaciones en el período 2009 - 2020**

Giga Watts-Hora	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
TOTAL SIC	6.916	6.795	7.569	8.154	8.351	9.330	9.214	10.023	10.902	10.798	11.099	11.389	11.278
de los cuales:													
CONC. BASE	5.143	5.068	5.723	6.286	6.570	7.239	7.142	7.422	7.487	7.281	7.070	6.795	6.666
SXEW BASE	766	705	747	724	607	619	587	603	601	538	549	511	374
FUND / REF	1.007	1.022	1.099	1.119	1.077	1.128	1.096	1.143	1.153	1.153	1.153	1.153	1.153
SUB TOTAL BASE	6.916	6.795	7.569	8.129	8.254	8.986	8.824	9.168	9.241	8.973	8.771	8.460	8.193
CONC. PROY.	0	0	0	0	0	0	0	485	1.255	1.389	1.718	2.317	2.545
SXEW PROY.	0	0	0	25	97	344	390	371	405	436	610	612	541
SUB TOTAL PROY.	0	0	0	25	97	344	390	856	1.660	1.826	2.328	2.930	3.085
CRECIMIENTO ANUAL	----	-122	774	585	197	979	-116	809	879	-103	301	290	-111
CREC. ACUMULADO	----	-122	653	1.238	1.434	2.414	2.298	3.107	3.985	3.882	4.183	4.473	4.361

Fuente: Elaborado en COCHILCO

III. LA SEGURIDAD DE ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LA MINERÍA DEL COBRE

El presente capítulo está dedicado a situar la vinculación de la minería del cobre con la generación eléctrica y sus aportes para asegurar su abastecimiento al largo plazo.

La seguridad del abastecimiento eléctrico - expresada como la combinación de un suministro suficiente y en la oportunidad que la electricidad es requerida-, es un valor estratégico para las compañías mineras en particular y para el país en general, por la alta significación de la minería como demandante de energía eléctrica⁸.

3.1 Los cambios en la matriz energética nacional y sus consecuencias

A raíz de la crisis de abastecimiento de GN, se produjo un drástico cambio en la matriz para la generación eléctrica. El siguiente cuadro muestra la evolución de la generación eléctrica en cada sistema y la composición de la respectiva matriz desde el año 2003, previo a la crisis del GN, hasta diciembre 2009.

Cuadro N° 7: Variación en la matriz de generación eléctrica en el SIC y SING

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Generación SIC (GWh)	33.638	36.259	37.915	40.266	41.969	41.804	41.738
Matriz energética SIC (%)							
HIDRAULICA	64,8%	57,4%	66,9%	69,5%	52,8%	56,2%	58,7%
GAS	23,3%	27,4%	17,5%	14,5%	6,4%	2,9%	4,6%
CARBON + PETCOKE	10,6%	13,2%	11,3%	13,6%	15,9%	16,3%	17,5%
DIESEL	0,0%	0,1%	3,0%	0,9%	22,7%	22,0%	16,6%
OTROS	1,3%	1,9%	1,4%	1,5%	2,2%	2,6%	2,5%
Generación SING (GWh)	11.417	12.330	12.657	13.236	13.946	14.502	14.906
Matriz energética SING (%)							
HIDRAULICA	0,6%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,4%
GAS	71,0%	61,5%	63,5%	48,4%	22,6%	11,8%	20,1%
CARBON + PETCOKE	28,3%	37,4%	35,9%	49,9%	57,6%	58,5%	56,6%
DIESEL	0,0%	0,2%	0,1%	0,7%	16,4%	26,7%	20,2%
OTROS	0,1%	0,4%	0,1%	0,5%	2,9%	2,5%	2,7%

Fuente: www.cne.cl (elaborado en base a estadísticas de generación bruta)

La falta de GN obligó a actuar de emergencia para evitar la insuficiencia de energía eléctrica reactivándose las centrales de generación a carbón en ambos sistemas y las turbinas diesel y fuel, pequeñas e ineficientes. Cabe señalar que a la sensible baja en la disponibilidad de GN se sumó en el SIC una situación hidrológica más seca en los años 2007 y 2008. Todo ello urgió a las centrales diseñadas para operar en forma dual (GN ó con diesel), a recurrir

⁸ Ver Cuadro N° 2 de este informe.

crecientemente al diesel, enfrentando nuevas dificultades operacionales en las plantas e insuficiencias logísticas para el abastecimiento regular del combustible por el súbito aumento del volumen a manejar.

Si bien las operaciones mineras han debido enfrentar incidentes de inestabilidad en el suministro, incluyendo reducciones puntuales de consumo acordadas con el respectivo CDEC⁹, la situación ha estado bajo control sin afectar necesariamente los niveles de producción proyectados por las compañías.

Ello ha sido posible por el compromiso que han tenido las compañías mineras con las medidas tomadas para enfrentar razonablemente la coyuntura, particularmente en el área del SING, pues allí se recibió el impacto más negativo dada la alta participación del GN que tenía en la matriz energética para la generación eléctrica y la importancia de la minería en la demanda eléctrica.

En definitiva, la consecuencia más significativa de la crisis del gas natural ha sido el aumento de costos en la generación eléctrica, por el efecto combinado de reemplazar la generación a GN por otros combustibles normalmente más caros y por el incremento generalizado del precio de los combustibles, particularmente en los años 2007 y 2008, situación que se ha atenuado en el 2009.

Como no es posible conocer el efecto de los mayores costos de la energía para las compañías cupríferas individuales, se hace un análisis de la sensibilidad respecto a la variación en el costo de producción directo de cobre por cada 10 US\$/MWh de variación el costo de la electricidad, basado en los coeficientes unitarios de consumo eléctrico por cada tonelada de cátodo¹⁰ para el año 2008, lo que se muestra en el cuadro siguiente.

Cuadro N°8: Mayor costo directo de producción de C átodos por cada incremento de 10 US\$/MWh en la energía eléctrica

Producto	Sistema Interconectado	Coef. Unitario KWh/Tmf)	Mayor Costo en US\$/Tmf	Mayor Costo en CentUS\$/lb
CÁTODOS ER	SING	3.937	39,4	1,79
	SIC	4.714	47,1	2,14
CÁTODOS SxEw	SING	3.430	34,3	1,56
	SIC	3.908	39,1	1,77

Fuente: Elaborado en COCHILCO, en base a los datos indicados en la tabla A2 del Anexo.

⁹ Se emplea el mecanismo de "desconexión manual de carga", que a solicitud previa del CDEC, los grandes consumidores proceden a desconectar áreas de consumo no relevantes para las operaciones disminuyendo el consumo "por escalones" en magnitud equivalente a la disminución prevista de la oferta, evitando así cortes imprevistos en el sistema.

¹⁰ Ver Tabla A2 del Anexo

3.2 Perspectivas de abastecimiento en el corto plazo

Las medidas ya acordadas y en implementación están orientadas a asegurar el abastecimiento eléctrico haciendo uso eficaz de la capacidad de generación disponible, lo que se irá traduciendo en cambios estructurales en la matriz de generación eléctrica.

La siguiente relación de acciones, permite apreciar aquellas medidas relevantes en que ha estado involucrada la minería del cobre en el logro de dicho objetivo.

a) **Asegurar la operación de las centrales de ciclo combinado a diesel.**

Ante su grave situación financiera derivada del mayor costo de operación de generación con diesel en vez de GN¹¹, Gas Atacama recibió el respaldo de las principales Cías. Mineras, tanto de sus clientes como de CODELCO, a fin de cubrir satisfactoriamente dichos mayores costos y, con ello, mantener sus condiciones operativas y la estabilidad en la capacidad disponible de generación en el SING.

Así mismo, las Cías. Mineras concurrieron a la implementación de una mejor logística para el abastecimiento de diesel a las centrales de ciclo combinado ubicadas en Mejillones. Cabe señalar también, que en el área del SIC (V Región) se trazó un oleoducto para transportar diesel desde Quintero hasta San Isidro para alimentar con diesel a las centrales de ciclo combinado de esa localidad.

b) **Respaldo en compañías mineras**

Ante la eventualidad de un racionamiento o anomalías mayores en el suministro eléctrico las principales compañías mineras decidieron instalar generadores eléctricos de tamaño medio, con una potencia del orden del 15% de sus requerimientos, lo que les permitirá atender la demanda de sectores críticos de sus operaciones y mantener la continuidad sin daños mayores, salvo leves disminución de producción.

Estas decisiones, están basadas en evitar el costo de oportunidad que significaría no producir por carecer de la energía eléctrica requerida, es decir un virtual seguro. Los principales de respaldos que se están implementando son:

Cuadro N°9: Principales plantas de respaldo en Cía s. mineras

¹¹ La situación financiera de Gas Atacama se vio agravada por tener que mantener hasta el año 2011 un contrato con la distribuidora eléctrica EMEL que le genera una pérdida insostenible en el mediano plazo.

Cías./Sistema	Descripción
CODELCO NORTE (SING)	Central Salar, con dos turbinas de 60MW total, operable con diesel o GN. Inversión de 65 mill US\$. En operaciones a comienzos 2009.
Escondida (SING)	Una planta de generación diesel por 60 MW en el Puerto de Coloso y en una segunda etapa se considera una planta de generación de 30 MW que será instalada en la mina.
Cerro Colorado (SING)	Grupo de generadores propios, con capacidad para 6 MW.
Spence (SING)	Generador eléctrico diesel con una potencia a firme total de 9 MW.
El Tesoro (SING)	4 generadores (4,65MW total) para respaldar el 15% de su demanda.
CODELCO (SIC)	Se decidió arrendar o comprar equipos generadores de respaldo para sus divisiones productivas en el SIC (Andina, Ventana, Teniente).
Anglo American (SING y SIC)	Anunció su política general de respaldar al menos un 10% de la demanda eléctrica de sus operaciones, dependiendo de cada caso. Manto Verde considera 3 generadores (3,75MW total) para respaldar el 15% de su demanda.

Fuente: Elaborado en COCHILCO en base a notas de prensa

c) Proyectos de Gas Natural Licuado¹²

El Gobierno de Chile optó por la introducción del gas natural licuado (GNL) como una estrategia de diversificación del abastecimiento de combustibles y así seguir generando electricidad vía GN. Ello permite, tanto aprovechar la capacidad de generación instalada, como mantener los beneficios ambientales de este combustible frente a los otros combustibles alternativos, hecho relevante para la zona central de Chile. Esta opción se sustentó en dos proyectos, uno en Quintero (área del SIC) y otro en Mejillones (área del SING).

El proyecto de GNL en Quintero (Región de Valparaíso, Área del SIC), fue desarrollado por ENAP, en conjunto con Endesa Chile, Metrogas y BG Group. Está operativo desde mediados del 2009 la infraestructura básica off-shore, consistente en el terminal marítimo para recibir el GNL y utilizar provisoriamente un barco estanco, para regasificarlo e inyectarlo a la red de gasoductos ubicados en la zona central. Se encuentra en construcción la segunda etapa que contempla la capacidad de

¹² El gas natural licuado (GNL) es la forma líquida del gas natural que se extrae del subsuelo y que se ocupa como energético en diversos campos de la vida moderna, desde mover una turbina para generar electricidad, hasta combustible para calefaccionar una vivienda y para cocinar.

Es gas natural extraído desde yacimientos en la tierra o en el mar, se enfría hasta alcanzar un estado líquido; esta conversión a gas natural líquido reduce su volumen en 600 veces, lo que facilita su transporte en buques tanque y permite su almacenamiento, antes de ser regasificado y entregado a los mercados. Con un peso cercano al 45% del peso del agua, el GNL es inodoro, incoloro, no corrosivo y tampoco tóxico. Es también seguro, ya que en las últimas décadas no ha registrado accidentes fatales en la comunidad cercana a sus instalaciones.

almacenamiento y regasificación en tierra. Se estima una demanda inicial de unos 6 a 8 millones de m³/día de GN.

La estrategia país contempla un segundo proyecto off-shore en Mejillones (Región de Antofagasta, Área del SING), el cual se está construyendo, impulsado por CODELCO y Suez Energy International, el cual entrará en funcionamiento a mediados del 2010. Está diseñado para entregar 5,5 MM m³ de gas natural por día, lo que permitiría despachar hasta 1.100 MW eléctricos en forma continua. La demanda inicial corresponde a unos 450 MW para el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING).

Una parte fundamental para la sustentabilidad de esta operación es la seguridad del abastecimiento externo de GNL, mediante un contrato de compra (HOA) de este combustible con la empresa Suez LNG Trading, por un volumen equivalente a 450 MW/año, vigente para los primeros 3 años. La otra parte vital es el acuerdo comercial para la venta del gas a cuatro grandes clientes, todos ligados a la gran minería del cobre: Codelco, Escondida, Collahuasi y El Abra, quienes fundamentalmente lo traspasarían a las compañías generadoras para asegurar su abastecimiento eléctrico.

La importancia para el SING, radica en la continuidad operacional a largo plazo de las centrales a GN que poseen una gran capacidad instalada y, así, superar a la brevedad la dependencia del diesel. Adicionalmente, atendería las demandas industriales en la II Región y permitiría abastecer a la central a GN de Taltal perteneciente al SIC.

Las medidas señaladas han permitido contribuir decisivamente a dar la necesaria seguridad para el normal funcionamiento de los sistemas de generación eléctrica SING y SIC, de modo que los fuertes aumentos de la demanda eléctrica minera que se están registrando,¹³ podrán ser atendidos regularmente en el corto plazo.

3.3 Proyecciones a mediano plazo

La Comisión Nacional de Energía (CNE) mantiene un plan de obras indicativas para el ingreso racional de nuevas capacidades de generación eléctrica para satisfacer oportunamente las crecientes demandas en el SING y en el SIC.

Diversas iniciativas emergieron durante la crisis comentada, las que exceden a la planificación indicativa de la CNE. La mayoría de los proyectos están en etapa de factibilidad y de evaluación de impacto ambiental. Predominan en

¹³ Ver cuadros 4 y 5 sobre proyección de consumo eléctrico de la minería para el SING y SIC, respectivamente.

ellos las termoeléctricas a carbón, con las más recientes tecnologías. Algunos de ellos enfrentan serias objeciones de índole medio-ambiental, por la ubicación donde se planea emplazarlos. Por lo tanto, no todos se concretarán.

De las iniciativas que ya tienen allanado su camino, la siguiente síntesis da cuenta de los principales proyectos con participación de las Cías. mineras del cobre, cuya directa vinculación tiene por objeto asegurar su abastecimiento dados los mayores requerimientos de sus proyectos mineros en la próxima década.

3.3.1 Nuevas centrales a carbón

La ampliación de la capacidad de generación eléctrica en base a carbón, se ha constituido en la alternativa más clara de diversificar la matriz energética nacional y de las fuentes de abastecimiento, a consecuencia de los sustantivos cambios en el mercado internacional de los energéticos¹⁴ y los avances tecnológicos en la combustión del carbón, que permiten disminuir los impactos de las emisiones de las plantas carboneras¹⁵.

En esta línea están algunas compañías mineras, que acordaron con generadoras la construcción de nuevas plantas a carbón, a fin de asegurar el abastecimiento eléctrico para sus futuras demandas a un costo razonable y más estable en el largo plazo.

Suez Energy está construyendo una nueva planta de generación a carbón de 165 MW y 300 mill US\$ de inversión (Central Andina en Mejillones), con el objeto de atender mayores requerimientos de CODELCO (80 MW para CNorte y 70 MW para Gabriela Mistral ex Gaby) a partir del año 2010. Una segunda central similar y vecina a la anterior (Central Hornitos) la está construyendo para atender las necesidades de Antofagasta Minerals, con un excedente disponible para el SING para entrar en operaciones el año 2011.

Por su parte, GENER está construyendo una central a carbón de 518 MW brutos en Mejillones, para abastecer preferentemente a Minera Escondida Limitada y Minera Spence S.A., ambas operadas por BHP Billiton, a partir del 2011. El proyecto considera dos unidades a carbón de avanzada tecnología para la mitigación de emisiones, y una línea de transmisión de 140 km y 220 kV para su conexión al Sistema Interconectado del Norte Grande (SING).

¹⁴ El carbón tiene una gran diversidad de fuentes de abastecimiento seguras y competitivas, basadas en amplias reservas, lo que otorga mayor estabilidad en su precio internacional en comparación al petróleo y al GNL.

¹⁵ Tecnología de Lecho Fluidizado Circulante (LFC), que mejora el rendimiento de las calderas en comparación con la tecnología de Carbón Pulverizado (CP), porque emplea mejores filtros para recuperar el material particulado y trabaja a menor temperatura, con lo que minimiza la emisión de metales pesados y de gases sulfurosos y nitrosos.

3.3.2 Licitación de CODELCO

En septiembre del 2009 CODELCO adjudicó a COLBÚN S.A. un contrato de suministro eléctrico de largo plazo que incluirá la demanda de sus cuatro Divisiones conectadas al SIC. El contrato comprende una potencia hasta 510 MW y una energía asociada hasta 4 mil GWh anuales, para sustentar las necesidades de CODELCO en el área del SIC por los próximos 30 años, a partir de marzo del 2013.

Cabe señalar que previamente CODELCO había desarrollado por su cuenta un proyecto de generación eléctrica (Central Termoeléctrica Energía Minera CTEM), el cual podría ser adquirido por el ganador de la licitación. Ello tuvo el propósito de obtener un suministro a precios competitivos de largo plazo, también es una oportunidad para mejorar la competitividad del mercado energético nacional, mediante la incorporación de nueva capacidad de generación al SIC y de nuevos actores al sistema.

Aunque Colbún puede atender este contrato con su capacidad de generación térmica e hidráulica, tiene la opción de adquirir los activos del proyecto CTEM para incrementar su capacidad de generación. Adicionalmente, ambas compañías tienen interés de incorporar generación eléctrica a partir de fuentes no convencionales.

3.3.3 Continuación de operación de terminales de GNL

Tal como se señaló anteriormente, el terminal GNL Mejillones tiene asegurada su operación en modalidad off-shore por 3 años, es decir hasta comienzos del 2013. Dentro de ese período se determinará prolongar sus operaciones a mayor plazo, lo que requeriría avanzar a la segunda etapa consistente en la habilitación en tierra de las instalaciones necesarias para el almacenamiento del GNL y la planta de regasificación.

A su vez, para el terminal de GNL de Quintero ya se estudia una ampliación de su capacidad, lo que permitiría dar soporte a nuevos proyectos de centrales de ciclo combinado en el SIC.

3.3.4 Las energías renovables no convencionales (ERNC)

El desarrollo de capacidades de generación en base a ERNC es un objetivo de la política energética nacional, en su visión de largo plazo para garantizar el desarrollo sustentable.

Se estima que el potencial a largo plazo para este segmento sería del orden de 1.000 MW, para lo cual se están considerando incentivos legales para promover la aplicación de ERNC como la exención del pago de peajes en los sistemas troncales de transmisión de energía eléctrica, a fin de facilitar su conexión a los sistemas nacionales de generación. Además, los proyectos no térmicos pueden aplicar los beneficios de la venta de "bonos de carbono" en compensación por no emitir CO₂.

Las formas de ERNC que se aplican en Chile son la biomasa, que aprovecha el poder calorífico de desechos forestales y riles de las plantas de celulosa ("licor negro"), las centrales eólicas que aprovechan la fuerza motriz del viento y centrales hidroeléctricas a mini y micro escala.¹⁶ En estudio se encuentra el desarrollo del aprovechamiento de las fuentes geotérmicas.

En este segmento, las compañías mineras han estado interesadas en desarrollar parques eólicos, por ejemplo CODELCO en las cercanías de la mina Gabriela Mistral (II Región, SING) y Barrick en Punta Colorada (IV región, SIC) de unos 20 MW c/u.

¹⁶ Las mini y micro centrales hidroeléctricas y los hidrocargadores, se consideran como energías renovables no convencionales, debido a su menor nivel de implementación y a que en los sectores rurales se constituyen en una alternativa para la provisión de electricidad. Actualmente se contabilizan alrededor de 110 instalaciones de este tipo en el país, destinadas principalmente a la electrificación de viviendas y a telecomunicaciones.

IV. CONCLUSIONES

La minería del cobre desarrollará en el curso de la próxima década un gran esfuerzo productivo, tanto para la expansión de sus grandes yacimientos como en proyectos nuevos de mediana y gran escala.

Cabe resaltar que las expansiones obedecen principalmente a lograr una mayor productividad y enfrentar las adversas condiciones minero-metalúrgicas que progresivamente se irán presentando en los yacimientos hoy en explotación.

Estas nuevas condiciones, entre otras complicaciones, serán cada vez más intensivas en requerimientos de energía, de tal manera que es del todo previsible que el consumo de energía eléctrica necesaria para la obtención de una tonelada de cobre comercial se vaya incrementando en el tiempo.

Este efecto, será atenuado por el ingreso de nuevas operaciones que estarán dotadas de los más altos estándares tecnológicos y por el esfuerzo que las compañías mineras deberán realizar para la "eficiencia energética" en todos los ámbitos de sus operaciones.

De los antecedentes expuestos en este informe se puede concluir que:

- a) Las operaciones mineras han debido enfrentar incidentes de inestabilidad en el suministro, incluyendo reducciones puntuales de consumo acordadas con el respectivo CDEC, la situación ha estado bajo control sin afectar necesariamente los niveles de producción proyectados por las compañías.
- b) Las compañías mineras se han comprometido con las soluciones determinadas para asegurar el abastecimiento eléctrico en el corto plazo, asumiendo recargas en sus costos, lo que les permite la normalidad de sus operaciones.
- c) Dada la insuficiente capacidad actual para atender las mayores demandas de parte de los nuevos proyectos mineros, las compañías han negociado con las principales generadoras del SING y del SIC condiciones que al asegurar la compra de energía a futuro, ellas harán las inversiones necesarias para cumplir con oportunidad las demandas comprometidas.

Finalmente, con perspectivas ciertas que la minería del cobre contará en la década con la energía eléctrica necesaria para cubrir sus operaciones, es necesario señalar que las soluciones previstas generarán un cambio drástico en la matriz energética al privilegiar la generación por combustión de carbón. A no tan largo plazo, ello puede representar una dificultad para la minería chilena en el concierto internacional, dadas las crecientes preocupaciones por la emisión de gases con efecto invernadero y el consiguiente impacto al cambio climático.

ANEXO METODOLOGÍA PARA LA PROYECCIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO EN LA MINERÍA DEL COBRE

La estimación de consumo eléctrico para cada año del período a proyectar está basada en aplicar a la proyección de producción anual de las diversas formas de cobre comercial, los respectivos coeficientes unitarios de consumo eléctrico correspondientes a cada etapa del proceso minero requerido para obtener cada producto. Estos coeficientes se expresan en KWh de energía consumida por cada tonelada de cobre fino contenido en el material tratado en la respectiva etapa.

$\text{Consumo}_{ijk} \text{ (GigaWatts-hora)} = \text{Coef. Unit.}_{ijk} \text{ (KWh/Tmf Cu)} * \text{Producción}_{ijk} \text{ (Miles Tmf Cu)} / 1000$

donde i = en cada etapa del proceso
 j = en cada Sistema Interconectado
 k = en cada año

1. Criterios para la determinación de los Coeficientes Unitarios

Los coeficientes unitarios de consumo eléctrico por unidad de cobre producido en cada área de proceso han estado siendo determinados anualmente por COCHILCO, como el promedio ponderados de la información resultante de una encuesta anual realizada a las principales empresas de la gran minería que explican más del 97% de producción de cobre, cuyos resultados se encuentran publicados.¹⁷

Para efectos de su aplicación en la proyección de consumo a largo plazo, se determinan coeficientes unitarios por producto - lo que requiere combinar los coeficientes de cada área de proceso involucrado hasta la obtención del producto comercial - se hace la distinción de coeficientes propios para cada sistema de interconexión eléctrica y se estima un perfil de variación de ellos en el tiempo. Los conceptos considerados son los siguientes:

1.1 Determinación de los Coeficientes Unitarios por proceso

a) Coeficiente unitario de consumo eléctrico por cada tonelada de cobre contenido en concentrados.

La producción de concentrados comprende el proceso de "Extracción de mina", tanto a rajo abierto como subterránea - del cual se obtiene como producto intermedio el mineral de cobre con una ley variable entre

¹⁷ Ver CONSUMO DE ENERGÍA Y EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE LA MINERÍA DEL COBRE DE CHILE. Año 2008, elaborado por Sara Pimentel H.

0,5% a 2% de cobre contenido -, y la "Concentración" - desde la conminución del mineral hasta la obtención del "concentrado" con una ley cercana al 30% de cobre contenido y la disposición de los relaves correspondientes.

Como parte del cobre contenido en el mineral no se recupera en la concentradora, el coeficiente resultante debe considerar el factor de recuperación (FR) promedio ponderado de las concentradoras consultadas.

$$\text{Coef. Unif. Concentrados (KWh/Tmf Cu)} = \text{Coef. Unif. EXTRACCIÓN} / \text{FR}_{\text{CONC}} + \text{Coef. Unif. CONCENTRACIÓN}$$

b) Coeficiente unitario de consumo eléctrico por cada tonelada de cobre contenido en ánodos, blíster y refinado a fuego.

Corresponde al consumo eléctrico en el proceso de Fundición donde se trata concentrados de cobre para obtener productos de cobre de alta ley, tales como Blíster (99,5% de Cu), Ánodos (99,7% de Cu) y RAF (99,95% de Cu).

Se aplica el correspondiente Coeficiente Unitario determinado para la Fundición (KWh/Tmf Cu).

$$\text{Coef. Unif. Fundición (KWh/Tmf Cu)}$$

c) Coeficiente unitario de consumo eléctrico por cada tonelada de cobre contenido en cátodos electro-refinado

Los ánodos resultantes de la fundición se refinan en la Refinería electrolítica, cuyo producto es el cátodo ER (electro-refinado).

Se aplica el correspondiente Coeficiente Unitario determinado para la Refinería.

$$\text{Coef. Unif. Refinería (KWh/Tmf Cu)}$$

Cabe agregar que el consumo eléctrico global requerido por cada tonelada de cátodo de cobre electro-refinado, es resultante de la combinación de los coeficientes unitarios de los procesos anteriores, ponderados por los respectivos los factores de recuperación.

$$\text{Coef. Unif. Cát ER (KWh/Tmf Cu)} = \text{Coef. Unif.}_{\text{CONC.}} / \text{FR}_{\text{FUND}} + \text{Coef. Unif.}_{\text{FUND.}} / \text{FR}_{\text{REF}} + \\ + \text{Coef. Unif.}_{\text{REF}}$$

d) Coeficiente unitario de consumo eléctrico por cada tonelada de cobre contenido en cátodos electro-obtenidos

Corresponde a una secuencia de procesos continuos: Extracción minera del mineral lixiviable, seguida de las etapas hidrometalúrgicas de

Lixiviación / Extracción por solvente y Electro obtención, conducentes a la producción de cátodos SxEw (electro-obtenido).

A partir de los coeficientes unitarios de la fase de extracción minera y de la fase hidrometalúrgica, se determina el coeficiente propio del cátodo SxEw, considerando también que parte del cobre contenido en el mineral extraído no se recupera, se debe corregir el coeficiente de la etapa minera por el factor de recuperación.

$$\text{Coef. Unit. Cátodos SxEw (KWh/Tmf Cu)} = \text{Coef. Unit. EXTRACCIÓN} / \text{FR}_{LIX} + \text{Coef. Unit. LIX / SX / EW}$$

e) Coeficiente unitario de consumo eléctrico por cada tonelada de cobre comercial por concepto de Servicios

Los consumos por Servicios generales no asignables a un proceso productivo determinado, se asignan considerando la producción global de cobre mina.

$$\text{Coef. Unit. Servicios (KWh/Tmf Cu)}$$

1.2 Determinación de los Coeficientes Unitarios propios del SING y del SIC

Reconociendo las diferencias apreciables en la naturaleza de los minerales de los yacimientos ubicados en el área del SING con los del SIC, se determinó para cada uno de ellas sus respectivos coeficientes unitarios por áreas de proceso, considerando para ello sólo los datos de las operaciones que son abastecidas por el respectivo sistema. Los coeficientes determinados para el período 2001 - 2008 se muestran en la siguiente tabla.

Tabla A1:
Coeficientes Unitarios por Sistemas Eléctricos Interconectados
en los años 2001 y 2008 ((KWH/Ton Cu fino)

Área Productiva	SIC			SING		
	2001	2008	% Var. anual	2001	2008	% Var. anual
MINA RAJO	95,1	139,1	5,6%	129,4	190,4	5,7%
MINA SUBTE.	335,2	573,3	8,0%	1.134,6	1.001,0	-1,8%
CONCENTRADORA	2.036,4	2.815,2	4,7%	1.411,9	1.825,1	3,7%
FUNDICIÓN	938,1	978,3	0,6%	1.017,8	1.281,4	3,3%
REFINERÍA	388,4	368,8	-0,7%	317,7	345,0	1,2%
TRAT. LIXIVIABLES	2.604,2	3.391,3	3,8%	2.655,0	2.927,7	1,4%
SERVICIOS	150,9	136,1	-1,5%	142,4	167,3	2,3%

Fuente: Elaborado en COCHILCO

1.3 Proyección de los Coeficientes Unitarios al año 2020

En anteriores proyecciones de consumo eléctrico en la minería del cobre, se utilizó como multiplicador de los respectivos perfiles de producción al conjunto de coeficientes unitarios determinado en el año anterior.

La evidencia empírica, reflejada en la Tabla A1, indica que anualmente los coeficientes unitarios varían a consecuencia de los factores mineros, metalúrgicos, operacionales y exógenos a las operaciones, etc. Por ello, al extender en este informe el horizonte de proyección hasta el año 2020, se estima pertinente aplicar a partir del año 2009 un factor de crecimiento al conjunto de coeficientes unitarios del año 2008, equivalente a la mitad de la tasa de crecimiento anual de los coeficientes registrada en el período 2001 al 2008.

La razón de suponer una tasa de crecimiento menor que la registrada en el período anterior, se debe tanto al deterioro esperado en las condiciones minero-metalúrgicas en las operaciones vigentes, como las mitigaciones por el efecto de la creciente participación de la nueva producción, y en los impactos que debieran esperarse por los programas de eficiencia energética que las compañías mineras necesariamente debieran ir implementando.

En consecuencia, los coeficientes unitarios aplicados para la proyección se muestran en la tabla siguiente.

Tabla A2:
Coeficientes Unitarios por Sistemas Eléctricos Interconectados
Proyectados al año 2020 ((KWH/Ton Cu fino)

PRODUCTOS	SIC				SING			
	%Rec	2008	2020	% Var. anual	%Rec	2008	2020	% Var. anual
CONCENTRADOS	88,8%	3.244,8	4.298,2	2,37%	85,7%	2.224,1	2.789,3	1,90%
FUNDICIÓN.	97,0%	978,3	1.014,2	0,3%	97,0%	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	99,5%	368,8	352,8	-0,37%	99,5%	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	36,5%	3.908,3	4.916,5	1,93%	56,8%	3.430,3	3.845,8	0,96%
SERVICIOS		136,1	124,6	-1,23%		167,3	192,3	1,16%

Fuente: Elaborado en COCHILCO

2. Proyección de la Producción Chilena de Cobre al año 2020

El segundo factor para la proyección del consumo eléctrico en la minería del cobre corresponde a los perfiles de producción estimados para cada uno de sus productos comerciales, esto es: concentrados, productos de fundición (ánodos, blíster y RAF), cátodos ER y cátodos SxEw.

La proyección de la producción de cobre al año 2020, corresponde a lo determinado en COCHILCO y publicado en el informe Inversión en la Minería Chilena del Cobre y del Oro Proyección del período 2009 – 2015 , Actualizada a AGOSTO 2009. Ella comprende la información para las operaciones de la Gran Minería del Cobre, las principales operaciones de Mediana Minería y las operaciones que alimentan las plantas de ENAMI ubicadas en diversas regiones del país. A ello se suma la producción de los proyectos mineros contemplados en dicho informe.

Para los fines de este estudio, los datos se han desagregado por sistemas de generación eléctrica que abastecen a las operaciones.

En el cuadro A3 se muestra el desglose de producción por tipo de producto de cobre, incluyendo los productos de fundición (ánodos, blíster) y de refinería (cátodos electro-refinados), de las operaciones que reciben su abastecimiento eléctrico del SING.

Cuadro A3: Proyección de la Producción de Cobre al año 2020, en el área del SING

PRODUCTO	Sistema	Estado	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Concentrados	SING	Base	1.772	1.745	1.925	2.044	1.954	2.010	1.990	2.007	1.996	2.008	2.003	1.973	1.883
		Proyectos	0	0	0	0	0	0	0	514	966	1.153	1.180	1.216	1.249
		Sub total	1.772	1.745	1.925	2.044	1.954	2.010	1.990	2.521	2.961	3.161	3.183	3.189	3.133
Ánodos y Blíster	SING	Base	527	557	700	790	790	790	790	890	890	890	890	890	890
		Proyectos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Sub total	527	557	700	790	790	790	790	890	890	890	890	890	890
Cátodos ER	SING	Base	490	522	484	600	700	700	700	700	700	700	700	700	700
		Proyectos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Sub total	490	522	484	600	700								
Cátodos SxEw	SING	Base	1.775	1.933	1.988	1.898	1.855	1.728	1.665	1.547	1.483	1.393	1.236	1.204	1.100
		Proyectos	0	0	0	10	95	150	180	200	220	220	264	315	350
		Sub total	1.775	1.933	1.988	1.908	1.950	1.878	1.845	1.747	1.703	1.613	1.500	1.519	1.450

FUENTE: Elaborado en COCHILCO

A su vez en el cuadro A4, se muestra las cifras de producción estimadas para el área del SIC.

Cuadro A4: Proyección de la Producción de Cobre al año 2020, en el área del SIC

PRODUCTO	Sistema	Estado	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Concentrados	SIC	Base	1.585	1.526	1.684	1.807	1.845	1.986	1.914	1.943	1.915	1.819	1.724	1.619	1.551
		Proyectos	0	0	0	0	0	0	0	127	321	347	419	552	592
		Sub total	1.585	1.526	1.684	1.807	1.845	1.986	1.914	2.070	2.236	2.166	2.143	2.171	2.143
Ánodos y Blíster	SIC	Base	842	843	910	929	884	934	899	944	944	944	944	944	944
		Proyectos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Sub total	842	843	910	929	884	934	899	944	944	944	944	944	944
Cátodos ER	SIC	Base	498	531	555	555	555	555	555	555	555	555	555	555	555
		Proyectos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Sub total	498	531	555										
Cátodos SxEw	SIC	Base	196	177	184	175	144	144	134	135	132	116	116	106	76
		Proyectos	0	0	0	6	23	80	89	83	89	94	129	127	110
		Sub total	196	177	184	181	167	224	223	218	221	210	245	233	186

FUENTE: Elaborado en COCHILCO

Finalmente, en el cuadro A5 se muestra la distribución por Región de la producción de cobre mina (Concentrados + Cátodos SxEw) esperada hasta al año 2020.

Cuadro A5: Proyección Regional de Producción de Cobre Mina al año 2020

Región	Sistema	Estado	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
I. Tarapacá	SING	Base	670	754	838	851	753	895	934	934	929	894	854	854	790
		Proyectos	0	0	0	10	35	50	60	100	288	354	386	386	387
		Sub total	670	754	838	861	788	945	994	1.034	1.218	1.248	1.240	1.240	1.177
II. Antofagasta	SING	Base	2.877	2.924	3.100	3.133	3.098	2.950	2.846	2.745	2.680	2.637	2.515	2.453	2.309
		Proyectos	0	0	0	0	60	100	120	614	897	1.020	1.058	1.145	1.213
		Sub total	2.877	2.924	3.100	3.133	3.158	3.050	2.966	3.359	3.577	3.657	3.572	3.598	3.522
III. Atacama	SIC	Base	352	329	354	326	265	300	215	219	214	204	204	194	164
		Proyectos	0	0	0	0	11	103	306	421	558	541	533	518	514
		Sub total	352	329	354	326	276	403	521	640	772	745	737	712	678
IV. Coquimbo	SIC	Base	372	336	453	552	563	542	532	518	517	517	517	506	506
		Proyectos	0	0	0	6	12	18	18	18	18	18	18	18	18
		Sub total	372	336	453	558	575	560	550	536	535	535	535	524	524
V. Valparaíso	SIC	Base	279	274	310	341	343	328	314	337	337	280	215	145	135
		Proyectos	0	0	0	0	0	0	0	127	321	340	437	549	536
		Sub total	279	274	310	341	343	328	314	464	658	620	652	694	671
Metropolitana	SIC	Base	234	240	216	216	230	362	389	416	412	412	392	392	392
		Proyectos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Sub total	234	240	216	216	230	362	389	416	412	412	392	392	392
VI. O'Higgins	SIC	Base	381	404	415	427	468	478	478	468	446	401	392	368	310
		Proyectos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	32	53	97
		Sub total	381	404	415	427	468	478	478	468	446	420	424	421	407
Operac. P y M Minería	SIC	Base	163	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
		Proyectos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Sub total	163	120											
Total Nacional		Base	5.328	5.381	5.806	5.966	5.840	5.975	5.828	5.757	5.655	5.466	5.209	5.032	4.726
		Proyectos	0	0	0	16	118	271	504	1.280	2.083	2.291	2.464	2.669	2.765
		TOTAL	5.328	5.381	5.806	5.982	5.958	6.246	6.332	7.037	7.738	7.757	7.673	7.701	7.491

FUENTE: Elaborado en COCHILCO

Este trabajo fue efectuado por

VICENTE PEREZ VIDAL

ENERO 2010