



Comisión Chilena del Cobre  
Dirección de Estudios y Políticas Públicas

**ACTUALIZACIÓN DEL ESTUDIO  
PROSPECTIVO AL AÑO 2020 DEL  
CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
EN LA MINERÍA DEL COBRE**

**DE / 12 / 2011**

Registro de Propiedad Intelectual  
© N° 212609

## INDICE

	<b>Pág. N°</b>
RESUMEN EJECUTIVO	3.
I. INTRODUCCIÓN	5.
II. EL CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA EN LA MINERIA DEL COBRE Y SU PROYECCIÓN HASTA EL AÑO 2020	5.
2.1 Consumo global de energía (1995 – 2010)	5.
2.2 Importancia de la minería del cobre en la demanda eléctrica	7.
III. PROYECCIÓN DE PRODUCCIÓN DE COBRE	7.
3.1 Principales proyectos en la minería del cobre	7.
3.2 Proyección de producción de cobre por sistema interconectado	9.
IV. CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PROYECTADO AL AÑO 2020	9.
V. CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR SISTEMA INTERCONECTADO Y TIPO DE OPERACIONES MINERAS	11.
5.1 Proyección para el SING	11.
5.2 Proyección para el SIC	12.
ANEXO: Actualización de la metodología para la proyección del consumo eléctrico en la minería del cobre	14.

## **RESUMEN EJECUTIVO**

El presente informe tiene por objeto estimar la cantidad de energía eléctrica que demandará anualmente la minería del cobre hasta el año 2020. Con esto se espera contribuir con antecedentes sobre demanda eléctrica para la formación de una visión global sobre la vinculación estratégica entre la minería y los sistemas de generación eléctrica del país.

Teniendo como base los antecedentes a partir del año 1995, la minería del cobre fue incrementando su consumo directo de energía global (electricidad y combustibles), a una tasa a una tasa del 6,2% anual, alcanzando el año 2010 a un consumo de 129,6 Tera Joules. La producción de cobre creció al 5,3% en el mismo período, debido a su modesto crecimiento desde el año 2006 en adelante.

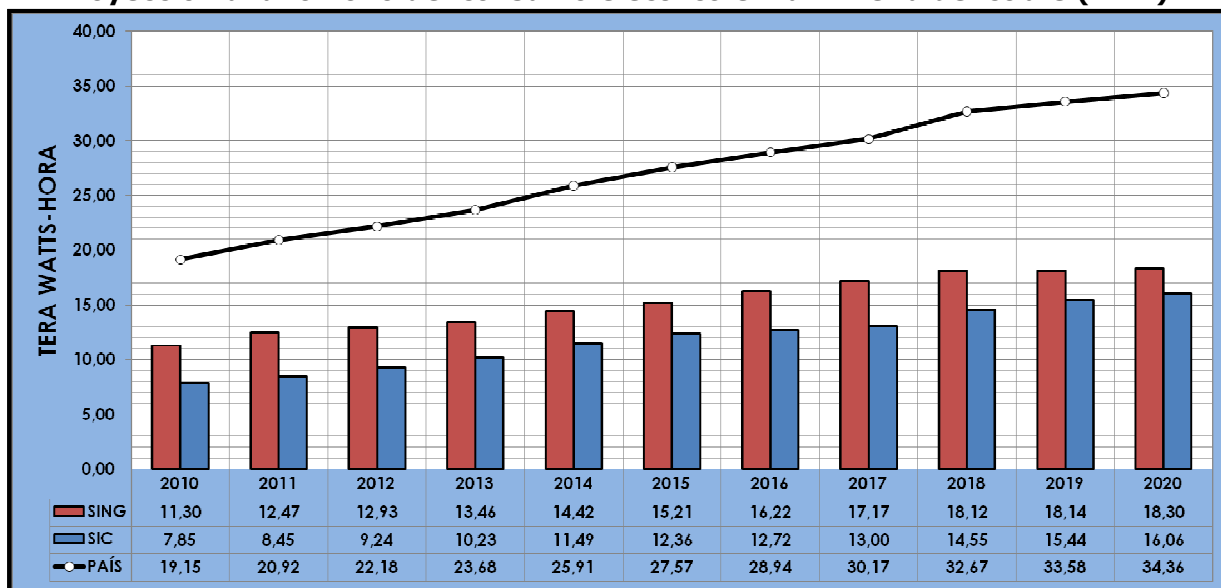
El año 2010, la electricidad significó 68,9 Tera Joules, equivalente al 53,2% del consumo energético directo de la minería del cobre. Este gran volumen explica el 81,9% de las ventas de electricidad en el SING, y el 19,1% en el SIC, lo que equivale al 34,9% de las ventas globales en ambos sistemas.

La mayor incertidumbre respecto a la demanda de energía eléctrica para los próximos años está dada por la entrada en operación de los proyectos de la minería del cobre, cuyas fechas nunca se conocen con precisión y algunos de ellos pueden sufrir demoras no previstas en la actualidad.

La cartera de proyectos de inversión contempla 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 El Bronce, Los Pelambres del SIC), desarrollo de nuevos yacimientos (Esperanza, Caracoles y Sierra Gorda en el SING, más Caserones, El Morro y Cerro Casale, del SIC), entre otros.

La producción de cobre mina en el SING crecerá de 3,66 millones de toneladas de cobre fino del año 2010 a 4,3 millones de toneladas el año 2020, de las cuales un 33,2% corresponderá al aporte de los nuevos proyectos, principalmente de concentrados. Para el mismo período, en el SIC la producción crecerá desde 1,73 a 2,85 millones de toneladas de cobre fino, con aporte del 36,6% de los nuevos proyectos, principalmente de concentrados. Para las fundiciones y refinerías electrolíticas se proyectan aumentos marginales de producción.

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

**Proyección al año 2020 del consumo eléctrico en la minería del cobre (TWh)<sup>1</sup>**

Fuente: Elaborado en COCHILCO

El consumo eléctrico 2020 en el área del Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) se proyecta en 18.301 GWh, con un crecimiento anual del 4,9%. Así mismo, en el área del Sistema Interconectado Central (SIC) se estima un consumo proyectado que alcanzará los 16.063 GWh, con un crecimiento anual del orden de 7,4%.

El notable incremento de la producción cuprífera chilena en el decenio que comienza significará un proporcional incremento en la demanda de energía eléctrica. Se estima que hacia el año 2020, ella demandará del orden de 34.360 GWh, lo que significa un crecimiento de un 79,4% comparado con el consumo del año 2010, equivalente a una tasa anual de crecimiento de 6,0%.

Se aprecia que la mayor demanda sigue en el SING, aunque bajará su participación en el consumo eléctrico minero total, del 59% en el año 2010 al 53,3% en el año 2020. Mientras que en el Sistema Interconectado Central (SIC) ocurrirá el impacto más significativo debido al crecimiento proyectado de 7,4% anual, para alcanzar el año 2020 una participación de 46,7% en el consumo minero, versus el 41% de participación alcanzado el 2010.

<sup>1</sup> Tera Watts-hora (TWh), equivalente a 1000 Giga Watts-hora (GWh)

## **I. INTRODUCCIÓN**

La minería del cobre es uno de los sectores económicos con mayor demanda de energía eléctrica y es uno de sus insumos estratégicos. Por esta razón, la Comisión Chilena del Cobre ha estado desarrollando una línea de estudios relacionados tanto con el uso de la energía como las proyecciones de consumo eléctrico para sustentar el desarrollo productivo de la presente década.

El año 2010, COCHILCO presentó una proyección de consumo minero de combustibles y electricidad para determinar la emisión de gases con efecto invernadero que dicho consumo generaría. Sin embargo, se ha acordado con el nuevo Ministerio de Energía que esta proyección debe ser realizada en dicho Ministerio en el ámbito de sus competencias.

En este contexto, el presente informe tiene el objetivo de estimar la demanda de la minería del cobre por energía eléctrica hasta el año 2020, como consecuencia de su desarrollo productivo en el período.

A fin de perfeccionar la estimación, se ha realizado una actualización de la metodología para la proyección del consumo eléctrico en la minería del cobre, la que se detalla en el anexo.

## **II. EL CONSUMO DE ENERGÍA EN LA MINERÍA CHILENA DEL COBRE**

El presente capítulo está dedicado a situar el contexto histórico del consumo de energía eléctrica y de combustibles en la minería del cobre como un antecedente indicativo para el desarrollo del sector.

### **2.1 Consumo global de energía en la minería del cobre (1995 – 2010)<sup>2</sup>**

La minería del cobre es una actividad intensiva en consumo de energía, tanto de combustibles como eléctrica, cuya evolución en el período 1995 – 2010 se muestra a continuación, relacionándola con la producción de cobre comercial.

---

<sup>2</sup> 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-hora.

**Cuadro N° 1: Consumos de energía de la minería del cobre 1995–2010**

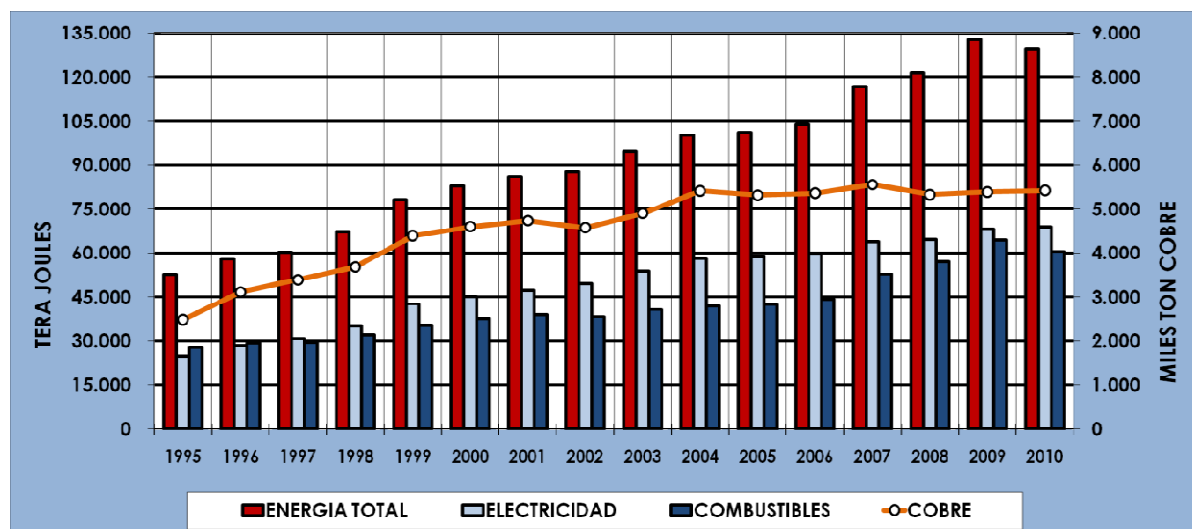
	1995	Participación	2010	Participación	% Variación Anual
<b>Total Energía (Tera Joule)</b>	<b>52.618</b>	<b>100,0%</b>	<b>129.583</b>	<b>100,0%</b>	<b>6,2%</b>
<i>Energía Eléctrica (TJoule)</i>	24.704	46,9%	68.947	53,2%	7,1%
<i>Combustibles (TJoule)</i>	27.914	53,1%	60.637	46,8%	5,3%
<b>Producción Cobre (Ktmf)</b>	<b>2.489</b>	<b>-----</b>	<b>5.419</b>	<b>-----</b>	<b>5,3%</b>

Fuente: COCHILCO en base a Informe "Consumos de Energía de la minería del Cobre de Chile 2001 - 2010"

Cabe señalar que la producción anual de cobre corresponde al total de productos comerciales (Concentrados, Blíster, RAF, Cátodos ER y Cátodos SxEw), expresado en cobre fino contenido.

El comportamiento anual se grafica a continuación.

**Gráfico N° 1: Consumo de energía en el período 1995 – 2010 y producción de cobre**



Fuente: COCHILCO en base a Informe "Consumos de Energía de la minería del Cobre de Chile 2001 - 2010"

Fuente: COCHILCO en base a Informe "Consumos de Energía de la minería del Cobre de Chile 2001 - 2010"

Del gráfico se aprecia que hasta el año 2006 el consumo global de energía creció a tasas menores que la producción de cobre, 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 últimos años, aumentando significativamente el consumo energético, particularmente de combustibles, aunque en el año 2010 se reportó un consumo energético menor que el año anterior, para una cifra global de producción de cobre similar.

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 minería del cobre en la demanda eléctrica

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 2001 - 2010.

**Cuadro N° 2: Participación de la minería del cobre en el consumo eléctrico nacional**

Sistema	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
<b>SING (GWh)</b>										
Consumo Minería Cu	7.589	7.933	8.822	9.431	9.604	9.883	10.700	10.870	11.646	11.298
Ventas SING	8.991	9.482	10.480	11.240	11.560	12.029	12.674	13.219	13.656	13.792
<b>Participación Min Cu (%)</b>	<b>84,4%</b>	<b>83,7%</b>	<b>84,2%</b>	<b>83,9%</b>	<b>83,1%</b>	<b>82,2%</b>	<b>84,4%</b>	<b>82,2%</b>	<b>85,3%</b>	<b>81,9%</b>
<b>SIC (GWh)</b>										
Consumo Minería Cu	4.703	5.381	5.692	6.240	6.311	6.540	7.080	6.920	7.109	7.854
Ventas SIC	29.144	30.335	32.076	34.602	35.929	38.231	39.964	39.580	39.401	41.061
<b>Participación Min Cu (%)</b>	<b>16,1%</b>	<b>17,7%</b>	<b>17,7%</b>	<b>18,0%</b>	<b>17,6%</b>	<b>17,1%</b>	<b>17,7%</b>	<b>17,5%</b>	<b>18,0%</b>	<b>19,1%</b>
<b>PAÍS (GWh)</b>										
Consumo Minería Cu	12.292	13.314	14.514	15.671	15.915	16.423	17.780	17.790	18.755	19.152
Ventas PAÍS	38.135	39.817	42.556	45.843	47.489	50.261	52.638	52.799	53.057	54.853
<b>Participación Min Cu (%)</b>	<b>32,2%</b>	<b>33,4%</b>	<b>34,1%</b>	<b>34,2%</b>	<b>33,5%</b>	<b>32,7%</b>	<b>33,8%</b>	<b>33,7%</b>	<b>35,3%</b>	<b>34,9%</b>

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

## III. PROYECCIÓN DE PRODUCCIÓN DE COBRE

En este capítulo se muestra la proyección de producción de cobre en el decenio, por su importancia como inductor de demanda de energía eléctrica.

### 3.1 Principales proyectos en la minería del cobre

La mayor incertidumbre respecto a la demanda de energía eléctrica para los próximos años está dada por la entrada en operación de los proyectos de la

minería del cobre, cuyas fechas nunca se conocen con precisión y algunos de ellos pueden sufrir demoras no previstas en la actualidad.

Para efectos de esta proyección, se ha tomado como referencia el catastro de proyectos publicado por COCHILCO<sup>3</sup> cuyo resumen y cronograma de puesta en marcha se indica a continuación.

**Cuadro N° 3: Calendario de Puesta en Marcha de Principales Proyectos**

Año Puesta en Marcha	EMPRESA	PROYECTOS	REGIÓN	SECTOR	TIPO	CONDICIÓN	INVERSIÓN (Mill US\$)
2011	ANGLO AMERICAN	Los Bronces Exp. a 160 KTPD	MET	Gran Min.	Expansión	Construcción	2.500
	FREEPORT MC MORAN	El Abra Sulfolix	II	Gran Min.	Reposición	Construcción	725
	BHP BILLITON	Escondida Nueva Pila Biolixiv.	II	Gran Min.	Reposición	Construcción	384
2012	COLLAHUASI	Expansión Fase I	I	Gran Min.	Expansión	Construcción	750
	BHP BILLITON	Escondida Reloc. Chancador	II	Gran Min.	Reposición	Construcción	554
	XSTRATA	Extensión Lomas Bayas II	II	Gran Min.	Reposición	Construcción	293
2013	BARRICK	Pascua	III	Oro	Nuevo	Construcción	1.500
	BHP BILLITON	Escondida Nueva Pila Lixiv Óx.	II	Gran Min.	Reposición	Probable	426
	CAN-CAN	Diego de Almagro- Lixiv.	III	Med. Min.	Nuevo	Posible	107
2014	PAN PACIFIC COPPER	Caserones	III	Gran Min.	Nuevo	Construcción	2.000
	CODELCO Div MH	Mina Ministro Hales	II	Estatal	Nuevo	Construcción	2.515
	ANTOFAGASTA MIN.	Antucoya	II	Gran Min.	Nuevo	Posible	950
	FAR WEST	Santo Domingo	III	Gran Min.	Nuevo	Posible	941
	PANAUST	Inca de Oro	III	Med. Min.	Nuevo	Posible	600
	KINROSS	Lobo - Marte	III	Oro	Nuevo	Posible	575
	CODELCO Div Salv.	San Antonio Óxidos	III	Estatal	Nuevo	Posible	317
	CAN-CAN	Diego de Almagro- Conc.	III	Med. Min.	Nuevo	Posible	120
2015	GOLDCORP	El Morro	III	Oro	Nuevo	Probable	2.500
	QUADRA FNX MINING	Sierra Gorda	II	Gran Min.	Nuevo	Posible	2.500
	CODELCO Div Chuqui.	Quetena	II	Estatal	Nuevo	Posible	620
Después del 2015	TECK	Quebrada Blanca Hipógeno	I	Gran Min.	Nuevo	Probable	3.000
	CODELCO Div. TTE.	Nuevo Nivel Mina	VI	Estatal	Reposición	Probable	2.790
	BHP BILLITON	Escondida Fase V	II	Gran Min.	Expansión	Probable	2.514
	CODELCO Div Chuqui.	Chuquicamata Subterránea	II	Estatal	Reposición	Probable	2.200
	CODELCO Div. Andina	Expansión a 244 Ktpd (Fase II)	V	Estatal	Expansión	Posible	6.400
	ANTOFAGASTA MIN.	Distrito Sierra Gorda	II	Gran Min.	Nuevo	Posible	6.000
	BARRICK	Cerro Casale	III	Oro	Nuevo	Posible	5.250
	TECK	Relincho	III	Gran Min.	Nuevo	Posible	3.000
	COLLAHUASI	Expansión Fase II	I	Gran Min.	Expansión	Posible	2.450
	CODELCO Div RT	Sulfuros Fase II	II	Estatal	Nuevo	Posible	1.946
<b>Sub Total Proyectos principales</b>							<b>56.427</b>
<b>Otros proyectos</b>							<b>7.744</b>
<b>TOTAL INVERSIÓN EN MINERÍA DEL COBRE Y ORO - PLATA</b>							<b>64.171</b>

<sup>3</sup> Ver "INVERSIÓN EN LA MINERÍA CHILENA - Catastro de Proyectos" COCHILCO Julio 2011



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

Los proyectos situados en la I y II Región se abastecen del SING y el los situados en las restantes regiones se abastecen del SIC.

### 3.2 Proyección de producción de cobre por sistema interconectado

En consecuencia, la producción de cobre hasta el año 2020 en la que se basa la proyección de consumo de energía eléctrica está compuesta por los perfiles de producción base estimadas para las operaciones vigentes y por los perfiles de producción que aportarían los proyectos mineros que probablemente se materializarían en el período.

En el cuadro siguiente muestra las proyecciones para la producción comercial de cobre en las respectivas áreas geográficas del SIC y del SING.

**Cuadro N° 4: Proyección de producción de cobre en el SIC y en el SING**

PRODUCCIÓN DE COBRE EN EL ÁREA DEL SIC											
PRODUCTO	Estado	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Concentrados	Base	1.769	1.944	2.038	2.137	2.098	2.048	1.965	1.849	1.741	1.700
	Proyectos	0	0	0	139	289	508	743	763	839	973
	<b>Sub total</b>	<b>1.769</b>	<b>1.944</b>	<b>2.038</b>	<b>2.276</b>	<b>2.386</b>	<b>2.557</b>	<b>2.708</b>	<b>2.612</b>	<b>2.580</b>	<b>2.673</b>
Ánodos y Blíster	Base	929	884	934	899	944	944	944	944	944	944
	Proyectos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<b>Sub total</b>	<b>929</b>	<b>884</b>	<b>934</b>	<b>899</b>	<b>944</b>	<b>944</b>	<b>944</b>	<b>944</b>	<b>944</b>	<b>944</b>
Cátodos ER	Base	555	555	555	555	555	555	555	555	555	555
	Proyectos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<b>Sub total</b>	<b>555</b>	<b>555</b>	<b>555</b>	<b>555</b>	<b>555</b>	<b>555</b>	<b>555</b>	<b>555</b>	<b>555</b>	<b>555</b>
Cátodos SxEw	Base	222	222	220	205	188	159	111	111	110	105
	Proyectos	0	0	5	17	35	41	49	61	59	68
	<b>Sub total</b>	<b>222</b>	<b>222</b>	<b>226</b>	<b>222</b>	<b>223</b>	<b>200</b>	<b>159</b>	<b>172</b>	<b>169</b>	<b>174</b>
PRODUCCIÓN DE COBRE EN EL ÁREA DEL SING											
PRODUCTO	Estado	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Concentrados	Base	1.847	1.863	1.963	1.969	2.025	1.972	1.922	1.930	1.697	1.581
	Proyectos	0	27	39	202	277	576	795	1.034	1.169	1.225
	<b>Sub total</b>	<b>1.847</b>	<b>1.890</b>	<b>2.001</b>	<b>2.170</b>	<b>2.302</b>	<b>2.548</b>	<b>2.717</b>	<b>2.964</b>	<b>2.866</b>	<b>2.806</b>
Ánodos y Blíster	Base	790	790	790	790	890	890	890	890	890	890
	Proyectos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<b>Sub total</b>	<b>790</b>	<b>790</b>	<b>790</b>	<b>790</b>	<b>890</b>	<b>890</b>	<b>890</b>	<b>890</b>	<b>890</b>	<b>890</b>
Cátodos ER	Base	530	530	530	530	530	530	530	530	530	530
	Proyectos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<b>Sub total</b>	<b>530</b>	<b>530</b>	<b>530</b>	<b>530</b>	<b>530</b>	<b>530</b>	<b>530</b>	<b>530</b>	<b>530</b>	<b>530</b>
Cátodos SxEw	Base	1.892	1.891	1.844	1.800	1.687	1.581	1.560	1.433	1.368	1.294
	Proyectos	0	8	13	77	151	188	174	168	181	204
	<b>Sub total</b>	<b>1.892</b>	<b>1.898</b>	<b>1.857</b>	<b>1.878</b>	<b>1.838</b>	<b>1.769</b>	<b>1.733</b>	<b>1.601</b>	<b>1.549</b>	<b>1.498</b>

Fuente: Elaborado en COCHILCO

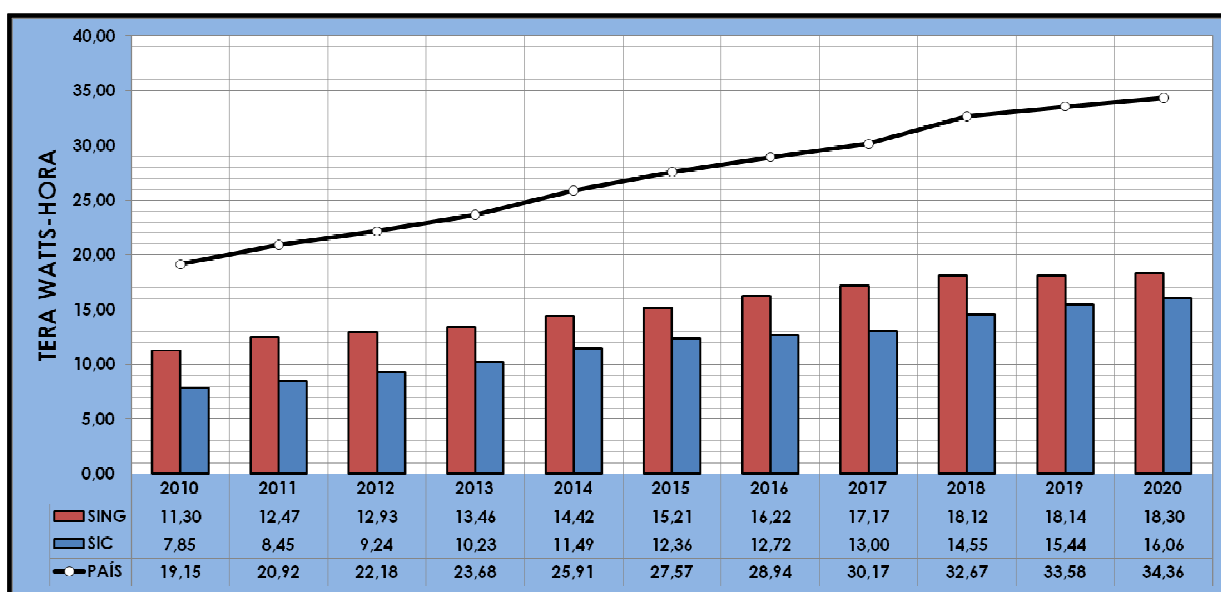
## IV. CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PROYECTADO AL AÑO 2020

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 34,36 TWh, lo que significa un incremento del 79,4% comparado con el consumo del año 2010, equivalente a una tasa de crecimiento del 6,0% anual en el período 2010-2020.

Su evolución anual esperada se muestra en el Gráfico N° 2<sup>4</sup>.

**Gráfico N° 2: Proyección al año 2020 del consumo eléctrico en la minería del cobre (Tera Watts-hora)**



Fuente: Elaborado en COCHILCO

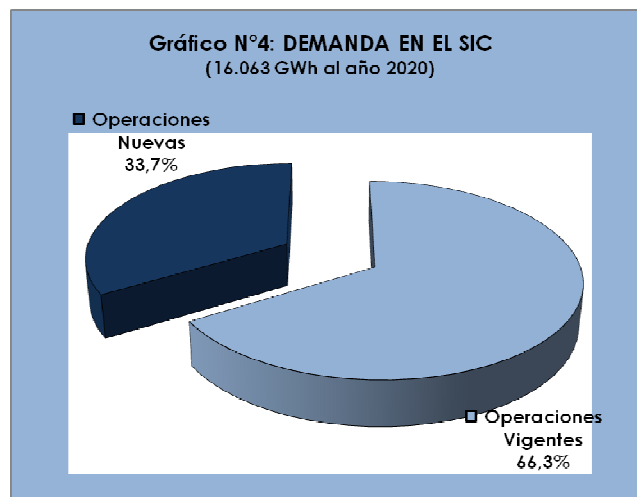
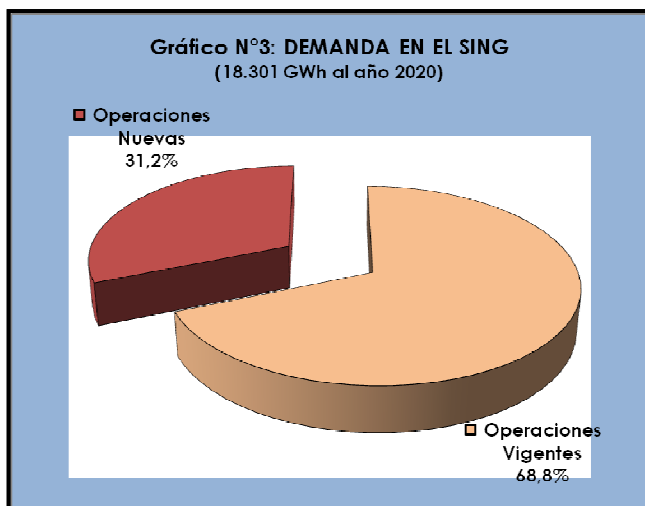
La mayor demanda se concentra en el SING. En el año 2010 su consumo alcanzó a los 11.298 GWh, explicando un 59% del consumo eléctrico total de la minería del cobre. Al 2020, el consumo eléctrico alcanzará los 18.301 GWh, equivalentes a una tasa de crecimiento anual de 4,9% en el período, disminuyendo su participación en el consumo nacional a un 53,3%.

A su vez el consumo en el área del SIC pasará de 7.854 GWh, equivalentes a un 41% del consumo eléctrico de la minería cuprífera, a 16.063 GWh en el mismo período, equivalente a una tasa del 7,4% en el período, lo que significará subir su participación al 46,7% del consumo minero del sector cuprífero esperado para el año 2020.

El crecimiento de la demanda en el corto plazo se debe al crecimiento de las operaciones actuales. En el mediano plazo se reflejará la demanda de los nuevos proyectos que irán entrando en operación durante el período en

<sup>4</sup> Se incluye los datos de consumo del año 2010 como antecedente de referencia

estudio, pues naturalmente las actuales operaciones irán presentando una apreciable declinación. Es así como al año 2020, los nuevos proyectos explicarán el 31,2% de la demanda en el SING y el 33,7% del SIC.



Fuente: Elaborado en COCHILCO

## V. CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PROYECTADO AL AÑO 2020 POR SISTEMA INTERCONECTADO Y TIPO DE OPERACIONES MINERAS

El consumo base comprende las operaciones mineras conducentes a la producción de concentrados de cobre y cátodos SxEw y las operaciones de fundición y refinación 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.

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 en las operaciones vigentes como el de los proyectos.

### 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 2011, para situarse al año 2013 en

torno a las 13 mil 400 GWh, un incremento de más de 1.600 GWh comparado con el consumo en el SING el pasado año 2010. Ello obedece al empuje de las actuales operaciones.

Posteriormente, un segundo ciclo de alta demanda se presenta hacia el año 2014-2018, cuando emerge con todo el vigor la demanda creciente de los proyectos a medida que se van poniendo en marcha, mientras que las operaciones base se mantienen estables, lo que llevará a situar la demanda en un nuevo nivel en torno a las 18 mil GWh.

Hacia el fin de la década las actuales operaciones ya muestran su declinación en la demanda, particularmente por la declinación manifiesta de las operaciones de Lixiviación (Cátodos SxEw), compensada con los mayores requerimientos de los proyectos.

**Cuadro N° 5: Proyección de consumos de energía eléctrica en el SING por tipo de operaciones en el período 2011- 2020**

GIGA WATS-HORA	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<b>TOTAL SING</b>	<b>11.298</b>	<b>12.471</b>	<b>12.935</b>	<b>13.457</b>	<b>14.415</b>	<b>15.208</b>	<b>16.219</b>	<b>17.171</b>	<b>18.115</b>	<b>18.138</b>	<b>18.301</b>
<b>De los cuales:</b>											
CONCENTRADOS BASE	4.328	4.933	5.205	5.738	6.022	6.481	6.607	6.738	7.078	6.516	6.353
CÁTODOS SX-EW BASE	6.117	6.511	6.596	6.521	6.454	6.133	5.827	5.828	5.430	5.256	5.041
FUND / REF BASE	853	1.027	1.033	1.039	1.045	1.158	1.164	1.170	1.177	1.183	1.190
<b>SUB TOTAL BASE</b>	<b>11.298</b>	<b>12.471</b>	<b>12.833</b>	<b>13.298</b>	<b>13.521</b>	<b>13.772</b>	<b>13.598</b>	<b>13.737</b>	<b>13.685</b>	<b>12.955</b>	<b>12.584</b>
CONCENTRADOS PROYECTOS	0	0	75	114	617	887	1.928	2.785	3.794	4.487	4.922
CÁTODOS SX-EW PROYECTOS	0	0	26	45	277	549	693	650	637	696	796
<b>SUB TOTAL PROYECTOS</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>101</b>	<b>159</b>	<b>894</b>	<b>1.436</b>	<b>2.621</b>	<b>3.435</b>	<b>4.431</b>	<b>5.183</b>	<b>5.717</b>
CRECIMIENTO ANUAL	-----	1.172	464	522	958	793	1.012	952	944	23	163
CRECIMIENTO ACUMULADO	-----	1.172	1.637	2.159	3.117	3.910	4.921	5.873	6.817	6.840	7.003

Fuente: Elaborado por COCHILCO

## 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 está enfrentando a partir del 2011 un sostenido crecimiento del consumo eléctrico minero, donde los nuevos requerimientos de las operaciones actuales significarán en el año 2013 más de 2 mil 200 GWh sobre el consumo del año 2010, para llevar el nivel de demanda en torno a las 10 mil 200 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 16 mil GWh hacia fines de la década.

**Cuadro N° 6: Proyección de consumos de energía eléctrica en el SIC  
por tipo de operaciones en el período 2011 - 2020**

GIGA WATS-HORA	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<b>TOTAL SIC</b>	<b>7.854</b>	<b>8.453</b>	<b>9.244</b>	<b>10.226</b>	<b>11.491</b>	<b>12.362</b>	<b>12.722</b>	<b>13.001</b>	<b>14.550</b>	<b>15.437</b>	<b>16.063</b>
<b>De los cuales:</b>											
CONCENTRADOS BASE	5.991	6.381	7.184	8.059	8.770	8.895	8.450	7.972	8.805	8.978	8.820
CÁTODOS SX-EW BASE	798	904	931	953	914	863	752	540	558	572	564
FUND / REF BASE	1.065	1.168	1.130	1.191	1.162	1.220	1.229	1.238	1.248	1.257	1.267
<b>SUB TOTAL BASE</b>	<b>7.854</b>	<b>8.453</b>	<b>9.244</b>	<b>10.203</b>	<b>10.847</b>	<b>10.978</b>	<b>10.431</b>	<b>9.750</b>	<b>10.611</b>	<b>10.807</b>	<b>10.651</b>
CONCENTRADOS PROYECTOS	0	0	0	0	569	1.224	2.097	3.014	3.633	4.324	5.046
CÁTODOS SX-EW PROYECTOS	0	0	0	24	75	160	194	237	307	306	366
<b>SUB TOTAL PROYECTOS</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>24</b>	<b>645</b>	<b>1.384</b>	<b>2.290</b>	<b>3.251</b>	<b>3.939</b>	<b>4.630</b>	<b>5.412</b>
CRECIMIENTO ANUAL	-----	599	791	982	1.265	870	360	279	1.549	887	626
CRECIMIENTO ACUMULADO	-----	599	1.390	2.373	3.638	4.508	4.868	5.148	6.696	7.584	8.210

Fuente: Elaborado por COCHILCO

Cabe señalar, que la mayor parte de la nueva demanda por proyectos proviene de la región de Atacama, lo que incrementará significativamente el consumo en el área Norte del SIC.

## ANEXO

### ACTUALIZACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA LA PROYECCIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO EN LA MINERÍA DEL COBRE

La metodología que se ha estado usando para proyectar el consumo eléctrico en un período futuro está basada en aplicar al perfil anual de producción esperada de las diversas formas de cobre comercial, y los respectivos coeficientes unitarios promedio ponderados de consumo eléctrico requerido para obtener una tonelada de cobre fino contenido en cada producto.

La fórmula general para calcular el consumo eléctrico necesario para la producción de cobre es la siguiente:

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

Donde:  $i$  = en cada etapa del proceso  
 $j$  = en cada año  
 $k$  = en cada Sistema Interconectado

#### 1. LA PROYECCIÓN DE PRODUCCIÓN

COCHILCO elabora proyecciones anuales de producción para los productos comerciales: concentrados, ánodos, cátodos ER y cátodos SxEw. Para ello recurre a antecedentes emanados de las empresas productoras y otras fuentes especializadas (capacidades actuales y proyectadas de producción, leyes de sus minerales y características de sus procesos, etc.)

Los procesos de producción de cobre y sus productos comerciales son:

##### a) Proceso hasta cátodo electro-refinado (ER)

- Extracción de mineral sulfurado que alimenta a la fase de concentración. Puede ser en minas a rajo abierto y/o subterránea. El contenido de cobre en el mineral oscila entre 0,5% y 2% de su peso.
- Concentración del mineral sulfurado, para obtener como producto comercial el "concentrado de cobre". En este proceso se recupera entre un 80% y 90% del cobre contenido en el mineral. El contenido de cobre en el concentrado oscila entre 25% y 35% de su peso.
- Fundición de concentrado de cobre, para obtener un producto de cobre blíster o ánodo de > 99,5%. Las recuperaciones en la fundición fluctúan en torno a 97%.

- Electro-refinación de los ánodos, para obtener un cátodo electro-refinado (ER) de 99,99% de cobre. En este proceso, se recupera el 99% del cobre contenido en el ánodo.

#### **b) Proceso hasta cátodo electro-obtenido (SxEw)**

- Extracción de mineral lixiviable que alimenta a la fase hidrometalúrgica. Puede ser a rajo abierto o subterránea.
- Tratamiento hidrometalúrgico del mineral, mediante un proceso continuo que comprende: lixiviación, extracción por solvente (Sx) y electro-obtención (Ew), para obtener un cátodo electro-obtenido (SxEw) de 99,99% de cobre. En este proceso, la recuperación de cobre contenido en el mineral es del orden de 75%, aunque en las operaciones "run off mine" la recuperación puede ser muy baja.

## **2. DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES UNITARIOS**

### **2.1 Coeficientes Unitarios por Proceso**

Los coeficientes unitarios de consumo eléctrico por unidad de cobre producido en cada área de proceso han estado siendo determinados anualmente por COCHILCO, a partir 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.<sup>5</sup> Ello permite calcular coeficientes unitarios por proceso, tanto para cada operación informante, como el promedio ponderado de la información de consumo eléctrico real.

Esta encuesta también permite determinar coeficientes de energía consumida por cada tonelada de material tratado en la respectiva etapa.

Dado el interés por proyectar separadamente los consumos en los dos sistemas interconectados donde opera la minería del cobre (SIC y SING) y gracias a la cobertura de la encuesta, se calculan coeficientes propios para cada sistema para ser aplicados a los perfiles de producción estimados para el conjunto de operaciones cupríferas que ellos abastecen.

Los coeficientes determinados para el período 2001 - 2009 se muestran en la siguiente tabla.

---

<sup>5</sup> Ver COCHILCO: CONSUMO DE ENERGÍA EN LA MINERÍA DEL COBRE DE CHILE. Años 1990 -1998, elaborado por Sara Pimentel H y Pedro Santic, Sept. 2001, e informes anuales posteriores.

**Tabla 1: Coeficientes Unitarios por Tonelada de Cobre contenido determinados para cada Sistema Eléctrico Interconectado en los años 2001 y 2010 (KWh/Ton Cu fino)**

Área Productiva	SIC			SING		
	2001	2010	% Var. anual	2001	2010	% Var. anual
MINA RAJO	95,1	158,4	5,83%	129,4	177,4	3,57%
MINA SUBTE.	335,2	559,3	5,85%	1.134,6	555,3	-7,63%
CONCENTRADORA	2.036,4	3.036,2	4,54%	1.411,9	2023,0	4,08%
FUNDICIÓN	938,1	1.027,1	1,01%	1.017,8	1052,7	0,37%
REFINERÍA	388,4	370,1	-0,53%	317,7	358,5	1,35%
TRAT. LIXIVIABLES	2.604,2	3.325,3	2,75%	2.655,0	2921,6	1,07%
SERVICIOS	150,9	205,9	3,52%	142,4	178,1	2,52%

Fuente: Elaborado en COCHILCO

Aquellos consumos eléctricos en las faenas que no son asignables a un área productiva, se asignan al concepto de servicios.

Por su parte, los coeficientes unitarios de consumo eléctrico por unidad de mineral tratado en cada proceso se indican en la siguiente tabla:

**Tabla 2: Coeficientes Unitarios por tonelada de material procesado determinados para cada Sistema Eléctrico Interconectado en los años 2001 y 2010 (KWh/Ton mineral)**

Área Productiva (Unidad de Medida)	SIC			SING		
	2001	2010	% Var. anual	2001	2010	% Var. anual
MINA RAJO (KWh/Ton mineral extraído)	0,99	1,22	2,65%	1,35	1,39	0,34%
MINA SUBTE. (KWh /Ton mineral extraído)	3,72	5,25	4,40%	28,25	8,53	-10,16%
CONCENTRADORA (KWh /Ton min. procesado)	19,75	22,39	1,58%	17,50	18,06	0,04%
FUNDICIÓN (KWh/Ton concentrado proc.)	313,9	295,52	-0,75%	323,0	346,43	0,15%
REFINERÍA (KWh /Ton ánodo proc.)	388,4	370,1	-0,53%	317,7	358,5	1,35%
TRAT. LIXIVIABLES (KWh /Ton min. procesado)	12,78	6,92	-7,39%	18,65	12,19	-4,89%

Fuente: Elaborado en COCHILCO

## 2.2 Coeficientes Unitarios por producto

Considerando que COCHILCO puede proyectar la producción de los productos de cobre comerciales, es decir a partir de concentrados, para efectos de su



aplicación en la proyección de consumo eléctrico a largo plazo, se debe determinar coeficientes unitarios por producto - lo que requiere combinar los coeficientes de cada área de proceso involucrado hasta la obtención del producto comercial. La metodología empleada ha sido la siguiente:

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

En cada operación se registran consumos eléctricos por Servicios generales no asignables a un proceso productivo determinado. Por ello, el coeficiente unitario por Servicios se calcula en base al total de consumo de este tipo dividido por la producción global de cobre mina de la faena.

***Coef. Unit. Servicios (KWh/Tmf Cu)***

Por esta razón, este coeficiente unitario de servicio se debe sumar al coeficiente unitario correspondiente para la producción de concentrados y cátodos SxEw.

**b) 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 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, junto a la disposición de los relaves correspondientes.

El coeficiente de extracción es el promedio de los coeficientes de extracción en rajo y subterránea ponderado por la cantidad de mineral extraído mediante cada modalidad. 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.

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

**c) Coeficiente unitario de consumo eléctrico por cada tonelada de cobre contenido en ánodos y/o blíster.**

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

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

**Coef. Unit. Fundición (KWh/Tmf Cu)**

**d) 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.

**Coef. Unit. Refinería (KWh/Tmf Cu)**

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

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

**e) 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 y, 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.

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

### 3. PROYECCIÓN DE LOS COEFICIENTES UNITARIOS AL AÑO 2020

A raíz de la crisis de generación eléctrica surgida por las restricciones al suministro de gas natural argentino a partir de abril del 2004, se creó la incertidumbre por el abastecimiento eléctrico para la minería del cobre a mediano plazo. Particular preocupación fue el área del SING, pues resultó la zona más afectada por el GN, dada su relevancia en la matriz de generación eléctrica en dicho sistema. Allí se sitúa la mayor producción cuprífera (64%

de la producción chilena), que explica más del 85% del consumo eléctrico del sistema.

A partir del año 2005, COCHILCO inició el cálculo de una proyección del consumo eléctrico en la minería del cobre del área del SING hasta el año 2010, aplicando la metodología reseñada en el punto anterior, sobre la base de los perfiles de proyección de la producción de cobre y los coeficientes unitarios reales determinados para el año anterior, manteniéndolos fijos durante el período de proyección.

En los años 2006 y 2007 se amplió la proyección al 2012, cubriendo todo el país, es decir, tanto el SING como el SIC. A su vez en el año 2008 se proyectó hasta el año 2015, con la misma metodología.

Dada la significativa cartera de proyectos mineros que entrarían en operación del 2014 en adelante, en el año 2009 se estimó necesario proyectar el consumo eléctrico hasta el año 2020. Para estos efectos se consideró pertinente modificar la metodología en el sentido de aplicar un factor de crecimiento anual a los coeficientes unitarios, dada la evidencia empírica, reflejada en la Tabla A1, donde se aprecia que anualmente los coeficientes unitarios varían a consecuencia de los factores mineros, metalúrgicos, operacionales y exógenos a las operaciones, etc.

Por ello, a partir del año 2009 se supuso un factor de crecimiento para cada uno de los coeficientes unitarios determinado el año 2008, equivalente a la mitad de su tasa de crecimiento anual registrada en el período 2001 al 2008.

La razón de suponer una tasa de crecimiento se debe, tanto al deterioro esperado en las condiciones minero-metalúrgicas en las operaciones vigentes, como a las mejoras esperadas por el efecto de los avances tecnológicos de la creciente participación de la nueva producción y en los ahorros por los programas de eficiencia energética que las compañías mineras supuestamente debieran ir implementando. Con ello se pretendió corregir una subestimación del consumo eléctrico con el uso de coeficientes fijos.

Ello quedó registrado en el informe "Demanda de Energía Eléctrica en la Minería del Cobre y Perspectivas de Seguridad en su Abastecimiento DE/01/2010".

#### **4. ANTECEDENTES PARA REVISAR LA METODOLOGÍA DE PROYECCIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO**

La metodología reseñada se basa en disponer de coeficientes unitarios de consumo eléctrico para cada una de las etapas del proceso productivo del cobre, resultantes del promedio ponderado de las operaciones vigentes a cada año y aplicarles una tasa de crecimiento anual para el período a proyectar, basada en el comportamiento histórico anterior.

Sin embargo, los siguientes antecedentes hicieron necesario revisar esta metodología:

- a) La fase de concentración es la etapa de mayor consumo de energía eléctrica. En cifras del año 2010, ella explicó el 44% del consumo eléctrico del cobre en Chile.
- b) A su vez, los coeficientes unitarios de consumo eléctrico promedio ponderado por tonelada de cobre fino para esta fase, son los que más han crecido en el período 2001 al 2009. Es así como en el SIC la tasa de crecimiento anual fue de 5,3% y en el SING de 4,9%. Esto se explica principalmente, por la baja generalizada en la ley promedio de cobre contenido en los minerales tratados en las concentradoras.

En cambio, los coeficientes unitarios promedio ponderado por tonelada de mineral tratado en la concentradora, han presentado una baja tasa de crecimiento, a saber: un 1,9% en el SIC y un 0,3% en el SING. Ello obedece a factores más bien estables en la operación de las plantas.

- c) Un comportamiento similar se observan en ambos tipos de coeficientes unitarios de consumo eléctrico para la fase de extracción de mineral
- d) A su vez, los coeficientes unitarios por tonelada de cobre contenido para las restantes etapas del proceso productivo, se mantienen con bajas tasas de crecimiento anual.
- e) Entre el año 2001 y 2010 hubo poca variación en la capacidad global de concentración en la minería del cobre de Chile. Sin embargo, para el período 2011 – 2020, se registrará un fuerte proceso de inversión destinado principalmente a una gran expansión de la capacidad de concentración en operaciones actuales y el desarrollo de nuevos yacimientos para producir concentrados.

Como resultado de ello, las operaciones en el área del SING incrementaran sus capacidades de tratamiento de mineral desde 546.000 a 1.411.000 KTPD<sup>6</sup>. A su vez, en el área del SIC el incremento será desde 577.500 a 1.494.000 KTPD.

---

<sup>6</sup> KTPD: Kilo toneladas por día o bien miles de toneladas por día

El detalle se aprecia en la siguiente tabla.

**Tabla 3: Distribución de la capacidad de las concentradoras Operando en las áreas del SING y del SIC (KTPD)**

ÁREA SING	OPERACIÓN	CAP 2010	PROYECTO	CAP 2020
Sin Ampliación	Mantos Blancos	11.000	-----	11.000
Con Ampliación o Reposición	Escondida	215.000	Fase V	300.000
	Collahuasi	145.000	Fases I y II	250.000
	Chuquicamata	175.000	RT Sulf Fase I Chuqui Subt	182.000
Proyectos Nuevos (Greenfield)	-----	-----	Q. Blanca Hipógeno	120.000
	-----	-----	Sierra Gorda	110.000
	-----	-----	RT Sulf Fase II	100.000
	-----	-----	Esperanza <sup>(1)</sup>	98.000
	-----	-----	Ampliación Esperanza	95.000
	-----	-----	Caracoles	95.000
-----	-----	Ministro Hales	50.000	
<b>Total Capacidad KTPD</b>		<b>546.000</b>		<b>1.411.000</b>
			<b>Incremento Capacidad KTPD</b>	<b>865.000</b>
ÁREA SIC	OPERACIÓN	CAP 2010	PROYECTO	CAP 2020
Sin Ampliación	Candelaria	75.000	-----	75.000
	Salvador	35.000	-----	35.000
	El Soldado <sup>(2)</sup>	20.000	-----	-----
	Varios Conc Med Min	40.000	-----	40.000
Con Ampliación o Reposición	Andina	67.500	Fases I y II	244.000
	Los Pelambres	145.000	Ampl a 175 Ktpd	175.000
	Los Bronces	61.000	Ampl a 160 Ktpd	160.000
	El Teniente	134.000	Nuevo Nivel Mina	137.000
Proyectos Nuevos (Greenfield)	-----	-----	Cerro Casale	160.000
	-----	-----	Relincho	120.000
	-----	-----	Caserones	105.000
	-----	-----	El Morro	90.000
	-----	-----	Santo Domingo	70.000
	-----	-----	Andacollo Hipógeno	55.000
	-----	-----	Inca de Oro	20.000
-----	-----	Diego de Almagro	8.000	
<b>Total Capacidad KTPD</b>		<b>577.500</b>		<b>1.494.000</b>
			<b>Incremento Capacidad KTPD</b>	<b>916.500</b>

Fuente: Elaborado en COCHILCO

- f) El año 2010, la producción chilena de concentrados, expresada en cobre fino contenido, fue de 3,27 millones de toneladas de Cu. Gracias al proceso de expansión señalado, la producción de cobre en concentrados alcanzaría las 6,08 millones de toneladas de Cu, de las cuales 3,0 millones son explicadas por las expansiones y nuevas operaciones. Esta producción será realizada por un parque de concentradoras distinto al prevaeciente en el decenio pasado.

En consecuencia, los antecedentes sobre la mayor relevancia que tendrán las operaciones de concentración y la estabilidad observada en el comportamiento de los coeficientes unitarios por tonelada de mineral a extraer y a concentrar, frente al coeficiente por Cu contenido, sugieren la conveniencia de proyectar el consumo eléctrico de la producción de concentrados en base a mineral en vez de cobre fino contenido y para las restantes fase mantener el criterio basado en los coeficientes en base a cobre contenido.

## 5. ESTIMACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO PARA LA PRODUCCIÓN DE CONCENTRADOS DE COBRE

El nuevo criterio metodológico para proyectar el consumo eléctrico anual para la producción de concentrados, a partir del año 2011, se expresa en la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo Conc}_{ijk} \text{ (GWh)} = 0,36 * (\text{Coef. Unit. Conc}_{ijk} \text{ (KWh/Tmin)} * \text{Cap. Trat.}_{ijk} \text{ (Ktpd)} + \\ + \text{Coef. Unit. Extr}_{ijk} \text{ (KWh/Tmin)} * \text{Cap. Trat.}_{ijk} \text{ (Ktpd)} + \\ + \text{Coef. Unit. Serv}_{jk} \text{ (KWh/Tmf Cu)} * \text{Cap. Trat.}_{jk} \text{ (Ktpd)} * \text{LeyCu}_{jk})$$

Donde:  $i$  = en cada operación que emplee concentración de mineral

$j$  = en cada año (2011 al 2020)

$k$  = en cada Sistema Interconectado (SIC y SING)

**0,36** = es el factor de conversión para expresar la capacidad de tratamiento de miles de ton día (Ktpd) en toneladas anuales (360\*1000), junto con expresar el consumo eléctrico en GWh en vez de KWh (1/1000000)

La explicación de cada uno de los factores es la siguiente:

### 5.1 Capacidad de tratamiento de mineral en la concentradora (Ktpd)

Se refiere a la capacidad nominal con que se diseñan las plantas concentradoras para tratar los minerales mediante las etapas de conminución, flotación, disposición de relaves y secado (filtración) del concentrado de cobre. Se expresa en miles de toneladas de mineral alimentado a la planta por día (Ktpd).

Esta capacidad de tratamiento determina la cantidad de mineral que es necesario extraer de la mina y alimentar a la planta para que ella opere todo el año, es decir 360 días.

El parque de plantas concentradoras actuales y proyectadas en Chile se indica en la Tabla A3. Las capacidades señaladas para el año 2010, corresponden a las tasas reales en que han estado operando en los últimos años. A su vez las capacidades del año 2020, corresponden a las capacidades definitivas tanto de las expansiones proyectadas como de las nuevas plantas.

Se asume que lo normal es que las empresas operen sus plantas a tasas muy cercanas a la capacidad nominal, durante los 360 días del año. Excepcionalmente, bajan la tasa de ocupación, sea por mantenimientos prolongados, por razones operacionales y/o de mercado. También en algunos casos se logra superar la capacidad nominal con mayores eficiencias en el proceso.

Las expansiones y las nuevas plantas entran gradualmente en puesta en marcha (ramp up). Para efectos de esta metodología, se asume que el año de puesta en marcha se aprovecha la mitad de la nueva capacidad, el segundo año el 75% y el tercer año está operando a plena capacidad. Este criterio conservador obedece a las incertidumbres propias de una puesta en marcha.

Por lo tanto, la capacidad de cada planta se mantiene constante hasta que se inicia la transición de la puesta en marcha, donde se incrementa gradualmente hasta alcanzar la capacidad nominal definitiva que permanece constante posteriormente.

## **5.2 Coeficiente unitario de consumo eléctrico en la etapa de concentración (KWh/Tmin)**

Es la cantidad de energía eléctrica consumida en una planta concentradora (KWh) para tratar una tonelada de mineral alimentado.

A su vez, se estima que la cantidad de mineral alimentado a la planta corresponde a su capacidad diaria (expresada en 1000 \* Ktpd) por los 360 días de operación asumida de la planta.

### **5.2.1 Análisis de los datos históricos de este coeficiente**

Del análisis de la serie histórica para el coeficiente unitario expresado en energía eléctrica consumida (KWh) por cada tonelada de mineral (Tmin) alimentada a la planta concentradora, se puede observar lo siguiente:

- a) Los valores de KWh/Tmin para cada planta son relativamente estables en el tiempo, aunque disímiles unas de otras.
- b) Las diferencias entre plantas obedecen principalmente al tamaño, donde hay una correlación inversa entre el coeficiente unitario y la capacidad de tratamiento. En segundo lugar, las plantas integradas a minas en mayor altura, procesan mineral con mayor dureza, lo que implica un mayor consumo de electricidad. Además los equipos están sometidos a condiciones adversas que inciden directamente en sus estándares de operación mecánica.

- c) La ley del mineral no incide directamente, aunque las minas de menor ley requieren de plantas de mayor capacidad para rentabilizar la operación. Durante la vida útil a una determinada capacidad, el consumo eléctrico de la planta es estable, pero si la ley disminuye se obtiene menos cobre. Por ello el coeficiente unitario basado en el cobre fino contenido crece significativamente.
- d) También, el factor de recuperación de la plantas no afecta a este coeficiente, pues se mantiene relativamente estable, ya que obedece a criterios de diseño y políticas de operación en ellas. Sin embargo, se registran claras diferencias entre las diferentes plantas en este aspecto y por ello tiene incidencia en el coeficiente referido a cobre contenido.
- e) Si bien la operación de cada planta mantiene consumos estables, el coeficiente crece a medida que la planta opera a niveles más bajos de su capacidad de diseño, lo que es variable de un año a otro. Aunque lo más frecuente es que las plantas tienden a operar lo más cerca de su capacidad nominal.
- f) Otro factor que se observa es que algunas plantas presentan un alza escalar de su coeficiente, indicio que entran a operar con mineral primario de mayor dureza, propio de las minas más antiguas.
- g) Así mismo, se observan plantas de mediana envergadura donde sus coeficientes son incluso más altos que el promedio registrado en su sistema interconectado asociado, debido, posiblemente, a que trabajan con plantas sin estándares de optimización como las plantas de gran minería.

### **5.2.2 Criterio para definir el coeficiente para proyectar el consumo eléctrico en la planta concentradora**

Considerando los antecedentes señalados, el criterio propuesto para estimar los coeficientes unitarios de consumo eléctrico por tonelada de mineral para la proyección del consumo eléctrico de las concentradoras es el siguiente:

- a) Se asignan coeficientes unitarios para cada planta concentradora, en vez de usar un coeficiente unitario promedio ponderado para cada sistema interconectado.
- b) Para el caso de las plantas concentradoras en operación al año 2010, se asigna el coeficiente unitario más representativo que haya presentado la planta en los últimos 5 años, descartando aquellos años cuando la planta hubiera operado más bajo de su capacidad.



- c) Para el caso de las expansiones, se asigna a la nueva capacidad el valor de la operación actual, sin modificar.
- d) Para el caso de las operaciones nuevas se le asigna un coeficiente similar al de plantas de similares características (criterio de *benchmarking*), según sistema interconectado al que pertenecen y ubicación geográfica (cordillera, centro o costa). Si poseen tratamientos inferiores a las operaciones actuales, se busca en los años anteriores donde registren similares tasas de tratamiento de mineral y se asocia ese coeficiente.
- e) Los coeficientes asignados se mantienen constantes durante el período de proyección, ya que estos se verían afectados si existen variaciones significativas de tasas de tratamiento por ampliaciones o por el *ramp up* de los proyectos nuevos.

### **5.3 Coeficiente unitario de consumo eléctrico en la etapa de extracción (KWh/Tmin)**

Es la cantidad de energía eléctrica consumida en una faena (KWh) para extraer una tonelada de mineral, sea esta un rajo o una mina subterránea. El coeficiente para rajo incluye el gasto eléctrico requerido para la extracción y disposición de estéril.

Para efectos de la estimación del consumo eléctrico, se asume que se extrae tanto mineral como el requerido para alimentar a la respectiva planta concentradora.

A cada faena se le asignan los coeficientes de consumo unitario para extracción, como un valor promedio de los registrados en los últimos 5 años, descartando aquellos en que la faena operó a menos de su capacidad habitual.

En el caso del SIC donde existen faenas mixtas, es decir con extracción en rajo y subterránea, el coeficiente a aplicar para la proyección corresponde al promedio de los coeficientes de cada tipo de extracción ponderado por la proporción de mineral a extraer en cada modalidad.

En el caso de las operaciones nuevas, se aplica el mismo criterio de *benchmarking* utilizado para definir los coeficientes unitarios de las plantas concentradoras de los proyectos nuevos.

#### **5.4 Coeficiente unitario de consumo eléctrico por concepto de servicios (KWh/Tmf Cu)**

Es la cantidad de energía eléctrica consumida en las faenas correspondientes a labores de apoyo no asignables a un área de proceso en particular. Se expresa en KWh por tonelada de cobre fino producido.

Para este concepto se aplica un coeficiente unitario común para todas las operaciones productoras de concentrados, sin variaciones durante el período. Se asigna 170 KWh/Tmf Cu, correspondiente al máximo valor registrado en los últimos 5 años para el promedio ponderado país.

Como se expresa en cobre fino contenido, la capacidad de tratamiento debe ser multiplicada por el factor de ley de cobre. Dado que se desconoce la ley futura de los minerales a tratar, se aplica homogéneamente a las faenas del SING una ley de 0,9% y a las del SIC 0,75%, es decir, 0,1% menos de la ley promedio registrada el año 2010 en los minerales a concentración.

Este trabajo fue elaborado por

VICENTE PEREZ VIDAL y  
CRISTIAN CIFUENTES GONZÁLEZ

VICENTE PEREZ VIDAL  
Director de Estudios y Políticas Públicas (S)

DICIEMBRE 2011