

Instituto Nacional de Estadísticas • Chile

# estudios estudios

Análisis del  
comportamiento del  
consumo eléctrico y la  
actividad minera

**Diciembre / 2011**

## Índice

Introducción .....	3
1. El consumo de energía en la minería del cobre .....	3
2. Producción de cobre versus consumo energético .....	5
3. Consumo eléctrico en la minería del cobre .....	7
4. Estimación del consumo eléctrico en la minería del cobre .....	8
5. Anexos.....	15

## Introducción

El consumo eléctrico es un indicador de la economía nacional, debido al carácter transversal de su demanda. Es por ello, que su estudio y la relación con los sectores económicos es vital para entender el comportamiento coyuntural y de largo plazo de esta variable y, por tanto, de la economía.

El sector minero es uno de los grandes demandantes de energía eléctrica en los últimos años. Según datos del Instituto Nacional de Estadísticas (INE), en 2010 representó el 34,9% del uso eléctrico total, y el 33,5% promedio para el período 1997-2010. Aunque su participación en términos porcentuales se ha mantenido casi constante, ha duplicado su utilización en ese período, acorde al crecimiento de la producción de este sector.

Dentro de esta actividad, la industria del cobre tiene una gran importancia, representando más del 80% del PIB real de Minería, según datos del Banco Central de Chile. Dado lo anterior, un análisis del comportamiento del consumo eléctrico en esta industria nos acercaría a determinar el la relación entre el uso de electricidad con la producción minera total.

### 1. El consumo de energía en la minería del cobre

La minería del cobre ha aumentado considerablemente el consumo de energía en los últimos años. El Gráfico 1 muestra la composición del uso energético en esta actividad, donde destaca la electricidad como la de mayor consumo, promediando entre 1991 y 2010 el 54,8% de la energía total.

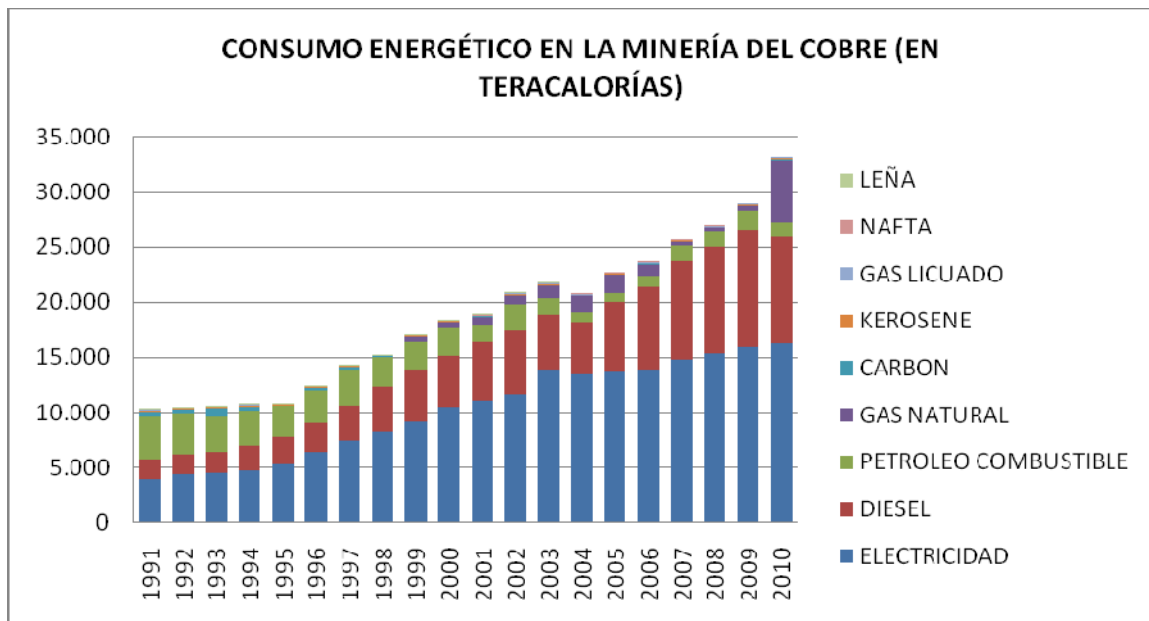
El petróleo combustible, otro de los insumos importantes en esta industria, disminuyó su participación en ese mismo período, pasando del 37,2% en 1991 a 4,1% en 2010, mientras que el diesel aumentó en ese mismo período de 17,9% a 29,1% su representatividad en la matriz de energías de la minería del cobre.

En 2010, destaca la participación del gas natural que llegó a 17,0% asociado a la puesta en marcha del terminal de GNL de Mejillones en abril de ese año, lo que permitió disminuir el consumo de diesel, tanto en la producción de cobre como en la generación eléctrica, que redonda en costos menores para las empresas mineras.

El crecimiento total de energía demandada en la industria del cobre llegó a 22.924 teracalorías entre 1991 y 2010, lo que significa un aumento de 223,9% en el período. De éstas, 12.299 teracalorías corresponden al mayor consumo de energía eléctrica y 7.812 teracalorías al incremento en el uso de diésel.

La baja ley del cobre influye de manera fundamental en el gasto de combustible. Lo anterior debido a que mientras menor es la concentración de cobre, se necesita más energía para la extracción y transporte del mineral.

**Gráfico 1**

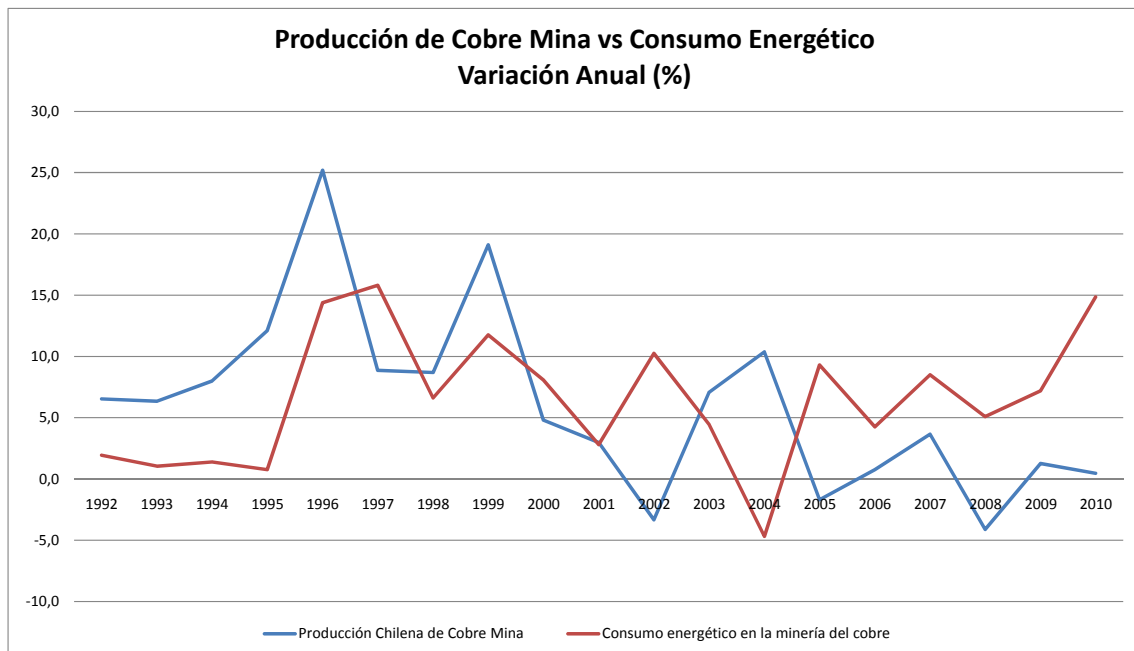


Fuente: Balances Energéticos – Ministerio de Energía.

## 2. Producción de cobre versus consumo energético

Comparando los datos de producción de cobre mina con los de consumo energético total en la minería del cobre, se observa que la producción se ha incrementado a una tasa mayor que el consumo de energía, a causa de un cambio estructural de mayor consumo de electricidad en vez de combustibles. Esta tendencia se revirtió a partir del 2005, debido principalmente a un mayor consumo de combustibles y un modesto crecimiento en la producción de cobre.

**Gráfico 2**



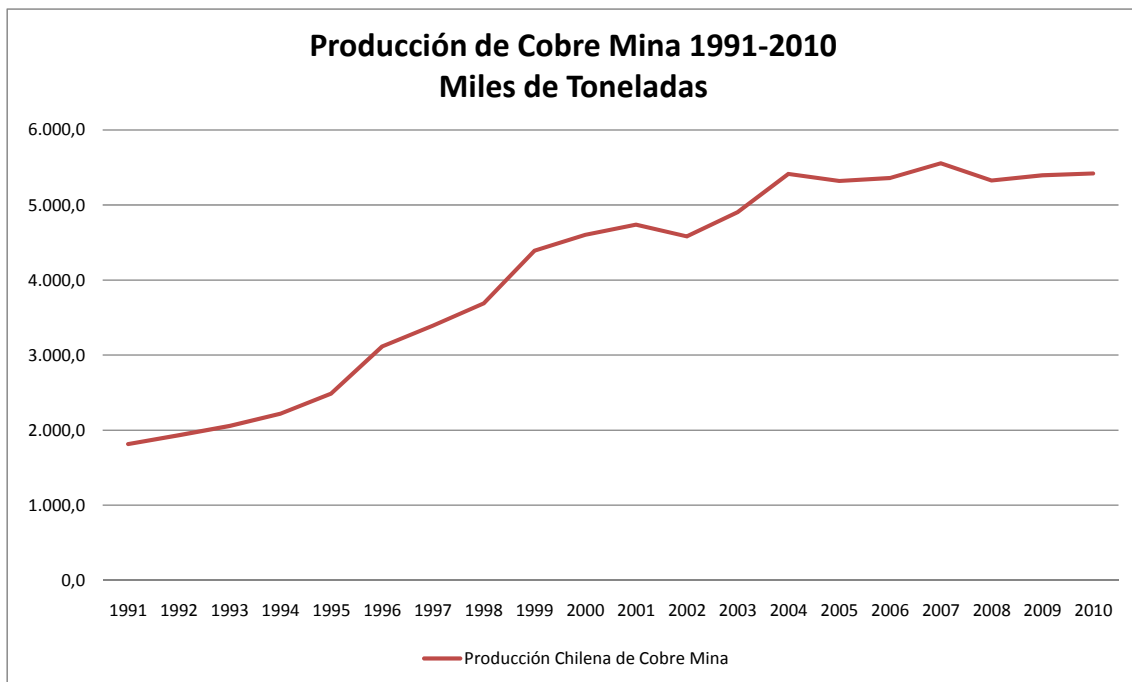
Fuente: Cochilco, Balances Energéticos – Ministerio de Energía.

Según datos de la Comisión Chilena del Cobre (Cochilco), la producción de cobre mina en 2010 alcanzó 5.418,9 miles de toneladas, 3.604,6 miles de toneladas más que en 1991, lo que representa una variación de 198,7% en el período. El Gráfico 3 muestra la producción de cobre en Chile desde 1991, donde se observa un aumento sostenido hasta 2004 y luego una desaceleración en el crecimiento de la producción hasta 2010. Lo anterior coincide con el período en que la energía eléctrica empieza a disminuir su participación porcentual en desmedro del diésel y el gas natural, este último aumentando considerablemente su utilización en 2010, llegando a niveles

superiores a los de los años previos a la crisis del gas Argentino, cuyo impacto más fuerte se vivió en 2008, donde este combustible representó el 0,9% de la matriz de energías, la participación más baja en la década.

Al 2020, se estima que la producción de cobre aumente a 7.491.000 toneladas métricas de fino, donde los nuevos proyectos aportarán el 37% sobre el total. De estos, los principales 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 Bronces, 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.

**Gráfico 3**



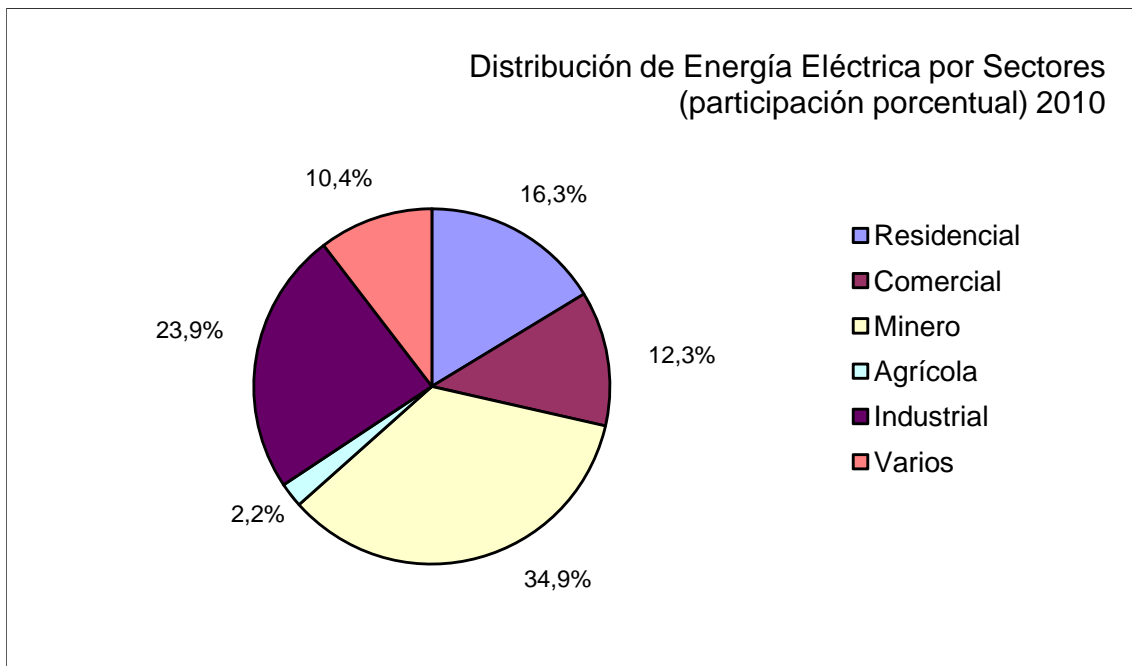
Fuente: Cochilco

### 3. Consumo eléctrico en la minería del cobre

La minería es el principal consumidor de electricidad del país. En 2010 representó el 34,9% de la distribución total de esta energía, seguido de la industria con el 25,9% (Ver Gráfico 4). Desde 1997 esta participación se ha mantenido relativamente constante, sin embargo en términos reales (KWh), casi ha duplicado su uso acorde a la mayor producción del sector.

El mayor consumo eléctrico se desarrolla en el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING). En 2008 la demanda de este sector representó el 82,2% de las ventas de electricidad, mientras que en el sistema Interconectado Central el 17,5%, lo que equivale al 33,7% de las ventas globales de ambos sistemas en dicho año.

Gráfico 4



Fuente: INE

#### 4. Estimación del consumo eléctrico en la minería del cobre

La estimación del consumo eléctrico para el análisis de las cifras contenidas en este informe está basada en aplicar a la producción anual de las diversas formas de cobre comercial (en este caso cátodos y concentrado de cobre) 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.

$$\text{Consumo}_{ijk} \text{ (GigaWatts-hora)} = \text{Coef. Unitario}_{ijk} \text{ (KWH/Tmf Cu)} * \text{Producción}_{ijk} \text{ (miles Tmf Cu)} / 1000$$

Donde:

i = en cada etapa del proceso

j = en cada sistema interconectado

k = en cada año

##### **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 ponderado 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.<sup>1</sup>

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:

---

<sup>1</sup> 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. Para el listado de empresas consultar anexo 2.

### 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 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.

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

- b. Coeficiente unitario de consumo eléctrico por cada tonelada de cobre contenido en ánodos, blister 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).

$$\text{Coef. Unitario Fundición (Kwh/Tmf Cu)}$$

- c. Coeficiente unitario de consumo eléctrico por cada tonelada de cobre contenida 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. Unitario 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.

- 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 Sx-Ew (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 Sx-Ew, 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.

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

- 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.

Coef. Unitario Servicios (KWh/Tmf Cu)

### Coeficientes Unitarios de Consumo de Energía Eléctrica por Áreas

(Por tonelada de fino en el producto de cada etapa)

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Mina Rajo (KWh/ TMF en mineral)	123,6	134,9	151,2	162,7	177,7	170,6	172,2	181,9	203,2
Mina Subterránea (KWh/ TMF en mineral)	346,8	371,5	387,4	349,4	432,9	470,4	470,1	583,2	547,6
Mina (1) (KWh/TMF en mineral)	158,4	171,8	187,1	191,4	213,9	210,7	210,4	2.224,5	243,9
Concentradora (KWh/TMF en concentrado)	1.697,7	1.911,6	1.982,0	1.928,5	2.011,4	2.062,4	2.184,1	2.280,1	2.515,4
Fundición (KWh/TMF en ánodos)	970,6	1.026,1	1.053,3	1.065,6	1.047,7	1.049,6	1.079,8	1.025,6	981,1
Refinería (KWh/TMF en cátodos ER)	345,9	345,4	343,9	354,7	352,8	342,6	339,2	357,0	348,6
LX/SX/EW (KWh/TMF en cátodos EO)	2.650,7	2.770,6	2.839,4	2.896,9	2.800,6	2.813,5	2.911,0	2.972,9	2.859,9
Servicios (KWh/TMF total producido)	145,8	154,4	139,0	143,3	160,0	139,6	123,1	155,0	170,9

(1) Promedio ponderado de los Coeficientes Unitarios de Mina Rajo y Subterránea.

Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre en base a información de empresas.

### **Determinación del Consumo eléctrico por tipo de producto o y áreas relacionadas**

Se determinó el consumo eléctrico anual de una selección de empresas de la gran minería del cobre: CODELCO, Doña Inés de Collahuasi, Escondida y Los Pelambres. Se tomó en cuenta la producción de cobre anual solamente para los productos cátodos ER, cátodos SX-EW y Concentrado de cobre y se vinculó con los coeficientes unitarios de cada tipo de operación.

### **Producción Anual de Cobre (TMF)**

<b>Años</b>	<b>CODELCO</b>		
	<b>Cátodos ER</b>	<b>Cátodos SX</b>	<b>Concentrado de cobre</b>
2003	777.003	455.118	216.963
2004	715.330	446.276	423.960
2005	714.235	448.452	391.759
2006	581.954	486.148	307.795
2007	614.719	452.830	253.808
2008	619.949	455.868	149.273
2009	688.301	615.981	169.481
2010	665.431	601.431	156.700

Fuente: Comisión Chilena del Cobre e Información de Memorias Anuales de Empresas.

<b>COLLAHUASI</b>		
<b>Años</b>	<b>Cátodos SX</b>	<b>Concentrado de cobre</b>
2003	63.393	331.331
2004	58.205	422.756
2005	60.674	366.338
2006	60.242	380.184
2007	58.163	393.841
2008	49.420	415.050
2009	43.377	492.728
2010	38.836	465.216

Fuente: Comisión Chilena del Cobre e Información de Memorias Anuales de Empresas.

<b>Años</b>	<b>ESCONDIDA</b>		<b>LOS PELAMBRES</b>
	<b>Concentrado de cobre</b>	<b>Cátodos SX</b>	<b>Concentrados de cobre</b>
2003	847.145	147.596	337.793
2004	1.043.054	152.115	362.649
2005	1.127.560	143.920	333.870
2006	1.121.170	134.794	335.143
2007	1.241.969	238.356	300.076
2008	992.991	257.529	351.406
2009	775.768	327.243	322.644
2010	786.606	300.096	398.040

Fuente: Comisión Chilena del Cobre e Información de Memorias Anuales de Empresas.

**Consumo eléctrico anual en Gwh para los cátodos ER y SX-EW en empresas seleccionadas:**

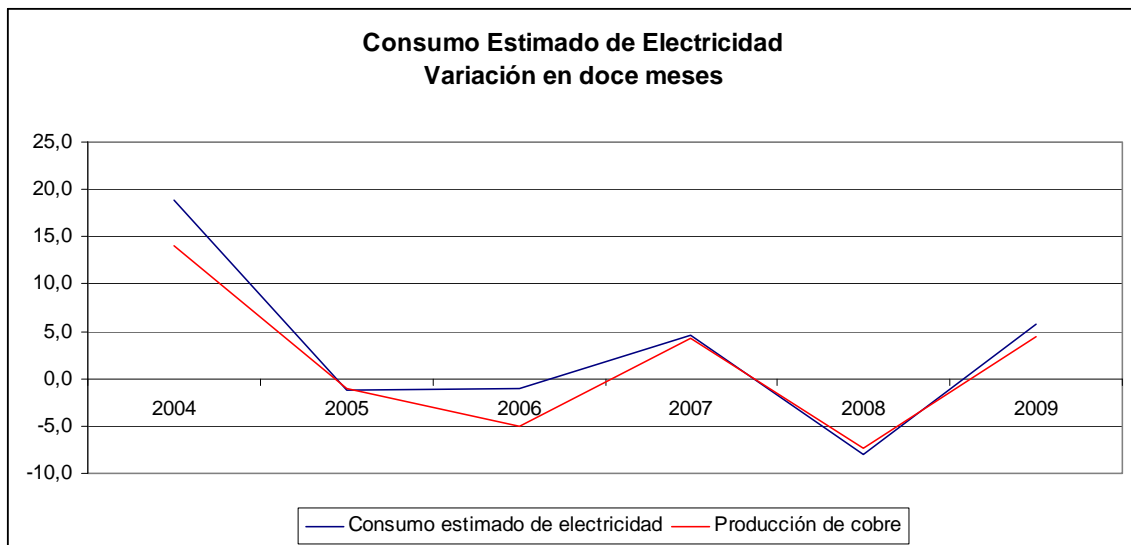
En Mwh	CODELCO - Cátodos SX	COLLAHUASI-Cátodos sx	ESCONDIDA - Cátodos SX	CODELCO - Cátodos ER
2003	1.292	180	419	267
2004	1.267	165	432	254
2005	1.273	172	409	252
2006	1.380	171	383	199
2007	1.286	165	677	209
2008	1.294	140	731	221
2009	1.749	123	929	240

**Consumo eléctrico anual en Mwh para concentrado de cobre en empresas seleccionadas:**

En Mwh	CODELCO-Concentrado de cobre	COLLAHUASI-Concentrado de cobre	ESCONDIDA-Concentrados de cobre	LOS PELAMBRES - Concentrado de cobre
2003	430	657	1.679	670
2004	840	838	2.067	719
2005	776	726	2.235	662
2006	610	754	2.222	664
2007	503	781	2.462	595
2008	296	823	1.968	696
2009	336	977	1.538	639

El Grafico 5 muestra las tasas de crecimientos anuales de la producción de cobre de las empresas en estudio y el consumo eléctrico estimado para sus procesos. Se observa que en general siguen un mismo patrón, sin embargo en 2006 existe una diferencia de casi de 4 puntos porcentuales, acorde al comportamiento contractivo de la producción, principalmente, de cátodos.

Gráfico 5



## 5. Anexos

### Anexo1. Glosario de términos especializados

<b>Potencia eléctrica</b>	<p>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.</p> <p>1 KiloWatt (KW) = 1.000 Watts (W)</p> <p>1 MegaWatt (MW)= 1.000 (KW) = 1.000.000 (W)</p> <p>1 GigaWatt (GW)= 1.000 (MW)= 10<sup>6</sup> (KW) = 10<sup>9</sup> (W)</p>
<b>Energía Eléctrica</b>	<p>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.</p> <p>1 Watt-hora (Wh) = 3.600 Joule</p> <p>1 KiloWatt-hora (KWh) = 1.000 Watt-hora (Wh)</p> <p>1 MegaWatt-hora (MWh) = 1.000 (KWh) = 1.000.000 (Wh)</p> <p>1 GigaWatt-hora (GWh) = 1.000 (MWh)= 10<sup>6</sup> (KWh) = 10<sup>9</sup> (Wh)</p>
<b>Potencia contratada</b>	<p>Es la potencia máxima requerida por un cliente para que funcionen todos sus sistemas eléctricos.</p>
<b>Potencia de punta</b>	<p>Es la máxima potencia real demandada al sistema generador en algún instante.</p>
<b>Energía primaria</b>	<p>Energía de cualquier fuente transformable</p>

	en electricidad.
<b>Turbina a Gas (TG)</b>	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, diésel o parafina) o gaseoso. Solo aprovecha un 35% de la energía y el resto se pierde en los gases de escape.
<b>Turbina a vapor (TV)</b>	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.
<b>Ciclo Combinado (CC) a gas natural</b>	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.
<b>SIC</b>	Sistema Interconectado Central
<b>SING</b>	Sistema Interconectado del Norte Grande
<b>CDEC</b>	Centro de Despacho Económico de Carga
<b>CNE</b>	Comisión Nacional de Energía
<b>Clientes regulados</b>	Usuarios de los sistemas eléctricos que toma el suministro de la red pública a las tarifas reguladas por la CNE.
<b>Clientes Libres</b>	Usuarios de más de 2 MW que pueden contratar el suministro eléctrico directamente con una compañía generadora a tarifas libremente pactadas.
<b>EO</b>	Cátodo electro-obtenido (hidrometalurgia)
<b>ER</b>	Cátodo electro-refinado (pirometalurgia)
<b>EW</b>	Electro-obtención
<b>LX</b>	Lixiviación
<b>SX</b>	Extracción por solvente
<b>TMF</b>	Tonelada métrica de fino

Anexo 2. FAENAS MINERAS INCLUIDAS EN EL ESTUDIO PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES UNITARIOS DE CONSUMO ELÉCTRICO

- CODELCO Chile
  - \* División Codelco Norte (Chuquicamata y Radomiro Tomic)
  - \* División Salvador
  - \* División Andina
  - \* División Ventanas
  - \* División El Teniente
- Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi
- Compañía Minera Cerro Colorado
- Compañía Minera Quebrada Blanca
- Sociedad Contractual Minera El Abra
- Minera Spence S.A.
- Minera Escondida Ltda.
- Compañía Minera Zaldívar
- Minera Michilla
- Compañía Minera Lomas Bayas
- Minera El Tesoro
- Compañía Contractual Minera Candelaria
- Compañía Contractual Minera Ojos del Salado
- Sociedad Punta del Cobre
- Compañía Minera Los Pelambres
- Compañía Minera Carmen de Andacollo
- Anglo American Chile Ltda.
  - \* Mantos Blancos
  - \* Manto Verde
  - \* El Soldado
  - \* Los Bronces
  - \* Fundición Chagres
- Fundición Altonorte
- Empresa Nacional de Minería
- Fundición Hernán Videla Lira
  - \* Planta Taltal

## Análisis del Comportamiento del consumo eléctrico y la actividad minera



- \* Planta Salado
- \* Planta Matta
- \* Planta Vallenar
- \* Planta Ovalle
- \* Minera Las Cenizas S.A. (Planta Taltal y Planta Cabildo)
- Minera Cerro Dominador S.A.
  - \* Planta Santa Margarita
  - \* Planta Callejas Zamora
  - Minera Valle Central