

Comisión Chilena del Cobre
Dirección de Estudios

**COEFICIENTES UNITARIOS DE CONSUMO DE ENERGIA
DE LA MINERIA DEL COBRE. 2001 – 2007
DE/11/08**

Registro de Propiedad Intelectual
© N° 174331

INDICE

GLOSARIO	1
RESUMEN EJECUTIVO	2
INTRODUCCION	6
METODOLOGIA	7
FLUJO DE MATERIALES AÑO 2007	8
PRINCIPALES RESULTADOS	9
1. Coeficientes Unitarios y Totales de Energía	9
2. Consumos por Áreas de Producción	12
2.1 Mina	12
2.2 Concentradora	16
2.3 Fundición	17
2.4 Refinación Electrolítica	19
2.5 Tratamiento de Minerales Lixiviables	20
3. Valores de los Coeficientes Unitarios	21
Tabla N°1 – Coeficientes Unitarios de Consumo de Combustibles por Áreas (TMF)	22
Tabla N°2 – Coeficientes Unitarios de Consumo de Combustibles por Áreas (Tonelada de mineral extraído o tratado)	22
Tabla N°3 – Coeficientes Unitarios de Consumo de Energía Eléctrica por Áreas (TMF)	23
Tabla N°2 – Coeficientes Unitarios de Consumo de Energía Eléctrica por Áreas (Tonelada de mineral extraído o tratado)	23
4. Participación por Áreas	24
COMENTARIOS FINALES	25
Anexo I – Faenas Mineras incluidas en el Estudio	30

GLOSARIO

EO: Cátodo electroobtenido (hidrometalurgia)

ER: Cátodo electrorefinado (pirometalurgia)

EW: Electroobtención

KWh: Kilowatt-hora = $3,6 \times 10^6$ Joule

LX: Lixiviación

MJ: MegaJoule = 10^6 Joule

SX: Extracción por Solvente

TJ: Terajoule = 10^{12} Joule

TMF: Tonelada Métrica de Cobre Fino

RESUMEN EJECUTIVO

Este trabajo corresponde a la 5ª versión del estudio que periódicamente realiza la Comisión Chilena del Cobre, con antecedentes actualizados al año 2007, respecto de consumos de energía en la minería del cobre de Chile.

Para desarrollar el trabajo se ha utilizado la misma metodología que en las versiones anteriores, cuantificando el consumo de energía sobre la conceptualización del proceso de obtención del cobre a través de la definición de áreas, etapas y procesos que generan flujos de materiales característicos, cuyo volumen va decreciendo a medida que se avanza en el grado de refinación del producto.

Como en ocasiones anteriores, se ha contado con una amplia colaboración de las empresas del sector para la entrega de la información requerida, por lo que este estudio cubre el 99% de la producción de cobre del país del año 2007.

A diferencia de los estudios anteriores, en el presente estudio el período de análisis de la evolución de los consumos energéticos, combustibles y energía eléctrica del sector minería del cobre, se acota, en general, a sólo los últimos 7 años, comprendidos entre el 2001 y el 2007. Esta decisión se basa en que en este período la mayoría de las faenas mineras que entraron en operación a mediados de la década del 90 se encuentran operando a régimen, lo que permite análisis más representativos.

No obstante lo anterior, en algunos casos especiales, como por ejemplo, en el caso de las fundiciones de concentrados de cobre, el análisis cubre el período de 13 años (1995-2007), para reflejar el impacto que han tenido en el consumo de energía eléctrica y combustibles los Planes de Descontaminación de las 5 fundiciones estatales, los que involucraron profundos cambios tecnológicos.

PRINCIPALES RESULTADOS

1. Consumos Unitarios y Totales de Energía

Entre los años 2001 y 2007 los coeficientes unitarios¹ de consumo de energía total muestran una tendencia creciente, incrementándose en un 15,6%, resultando en el 2007 un valor promedio de 21.066 MJ/TMF.

El análisis por tipo de energía muestra que los coeficientes unitarios globales de consumo de combustibles tienen una tendencia creciente en

¹ Consumo Unitario: energía consumida para producir una unidad de producto (1 tonelada de cobre fino contenido).

los últimos 4 años, aumentando en el período en un 15,7%, mientras que la energía eléctrica experimenta un aumento entre los años 2001 y 2002 para luego mantenerse relativamente estable, aumentando en promedio en el período en un 15,5%.

Es importante destacar que, en el período de 13 años (1995-2007) los coeficientes unitarios globales de consumo de combustibles muestran una tendencia decreciente de casi 15%, mientras que los coeficientes unitarios de consumo de energía eléctrica compensan esta reducción, incrementándose en 16%, dando como resultado que, en el período de 13 años, el consumo unitario global de energía se reduce en un 0,4%. Esto se debe principalmente a cambios tecnológicos en área de fundiciones.

Por su parte, el consumo estimado total de energía del sector minería del cobre creció entre los años 2001 y 2007 en un 35,5%. En el mismo período, la producción de cobre fino del país aumentó sólo en un 17,3%. El consumo de energía como combustibles aumentó en el período de 7 años en un 35,6%, mientras que el consumo de energía eléctrica se incrementó en un 35,5%. Los resultados anteriores, que se explican por una multiplicidad de factores, tales como disminuciones en la ley de los minerales, aumento de las distancias de acarreo, cambios en la cartera de productos comerciales y cambios tecnológicos, están indicando que el sector minería del cobre, en esta década, ha experimentado un aumento en la intensidad de uso de energía.

2. Consumos por Áreas de Producción

Al analizar la participación en el consumo total de energía de cada una de las áreas definidas del proceso de producción² se observa que el área más consumidora de energía es la explotación minera (35,7%), seguida por la concentradora (25,9%). Es importante destacar que, mientras la explotación minera consume un 87% de su consumo total como combustibles, el consumo de energía del área de concentración de minerales es, en la práctica, casi exclusivamente energía eléctrica (98%). En el período considerado en el estudio (2001-2007), los consumos de energía como combustibles en la mina se incrementaron en 61% y el consumo de energía eléctrica en la concentradora aumentó en 46,7%.

Un hecho destacable es que, gracias a la disminución en su consumo unitario de energía, el área de fundición entre 1995 y 2007 disminuyó su participación relativa en el consumo total de energía del sector desde un 31% a un 11,5%, no obstante que la producción del área se incrementó en un 17%. Por los resultados obtenidos, el área pareciera haber alcanzado un

² Mina rajo y subterránea, Concentradora, Fundición, Refinería Electrolítica, Tratamiento de Minerales Lixiviables y Servicios a la producción.

punto de equilibrio desde la perspectiva de la tecnología utilizada, donde es poco probable lograr nuevas reducciones en los consumos unitarios de energía, a menos que se produzca un nuevo cambio tecnológico.

En lo que se refiere al consumo de energía como combustibles, la explotación minera, que en 1995 consumía alrededor del 40% de los combustibles utilizados por la minería, fue incrementando su participación hasta alcanzar el 68% en el año 2007. Lo anterior se debe fundamentalmente a que las nuevas minas que han entrado en operación en el período son de rajo abierto, y a que, a medida que avanza la explotación de este tipo de minas, las distancias y pendientes de acarreo, tanto de los minerales como de los materiales estériles van aumentando, con el consiguiente aumento de consumo de combustibles.

Al analizar el consumo de energía eléctrica de la minería del cobre, destaca el hecho que la concentración de minerales sulfurados consume prácticamente la mitad del total de la energía eléctrica consumida por el sector, aunque ha disminuido su participación desde un 49% en 1995 a un 46% en el año 2007.

Otro hecho relevante es el importante aumento de participación en el consumo energético del área de tratamiento de minerales lixiviables, de un 16% en 1995 a un 30% en el 2007. Esto se debe al fuerte incremento en la producción de cobre a partir de este tipo de minerales, y a que las distintas etapas del procesamiento son fundamentalmente consumidoras de energía eléctrica (bombeo de soluciones en la etapa de lixiviación y extracción por solvente, y la electrodeposición).

Resulta interesante comparar los consumos específicos de energía para producir una tonelada de cátodos ER provenientes de mineral sulfurado, que utiliza la vía pirometalúrgica, con cátodos EO, que se producen por la vía hidrometalúrgica.

Para efectos de este análisis se utilizó la información de faenas que sólo producen cátodos ER o cátodos EO. Considerando el promedio del período (2001-2007), y un volumen promedio agregado de producción de 1.063.121 TM de cátodos EO, se obtiene un coeficiente unitario de 20.307 Megajoule/TMF para dicho tipo de cátodos. En el caso de los cátodos ER, el volumen de producción promedio agregado fue de 1.115.244 TM, y el coeficiente unitario resultante es 25.262 Megajoule/TMF. Esto indicaría que, desde el punto de vista de consumo de energía, la producción de cátodos EO es más sustentable que la producción de cátodos ER. Sin embargo, esta situación podría estar cambiando, según se desprende del hecho que, al comienzo del período un cátodo ER consumía un 23% más de

energía que un cátodo EO, en cambio el año 2007 esta diferencia se ha reducido a un 15%.

Los patrones de consumo de energía de la minería del cobre cambiaron fuertemente entre 1995 y el año 2005, en el sentido de un aumento en la importancia relativa del consumo de energía eléctrica. Este último año la energía eléctrica daba cuenta de un 58,4% del consumo total de energía. Sin embargo, a partir del 2006 esta tendencia se revierte y en el año 2007 un 55% corresponde a energía eléctrica y un 45% a una variada gama de combustibles.

Los principales combustibles consumidos directamente por la minería del cobre en el año 2007 son: petróleo Diesel (77,4%), Enap 6 (16,7%) y Gas Natural (3,2%), siendo marginal la participación de los otros combustibles (carbón, kerosene, gas licuado y gasolinas). El hecho más destacable es que, producto de la reducción en el abastecimiento de gas natural, éste baja su participación en el consumo directo del sector minero de un 13,3% a un 3,2% entre los años 2004 y 2007, mientras que el petróleo diesel la sube de un 69,1% a un 77,4%. El principal consumo de gas natural corresponde a las fundiciones de concentrados de cobre.

De lo anterior, se puede concluir que los recortes en el abastecimiento de gas natural, que han afectado al país desde el año 2004, no han tenido un impacto directo respecto de la actividad minera del cobre, pero sí sobre los costos de la energía eléctrica consumida, principalmente porque la utilización de combustibles alternativos, más caros, por parte de las empresas generadoras ha hecho subir los precios de este insumo estratégico para la minería.

Más aún, además del alza en los costos unitarios de energía, la minería del cobre ha incrementado en los últimos años sus consumos de combustibles y electricidad, tanto en valores absolutos como en términos unitarios, por tonelada de cobre fino producido.

La participación promedio de la minería del cobre en el consumo total final de energía del país en el período 2001-2007 fue de un 10,9%, mientras que la participación promedio del sector en el PIB, a precios corrientes de cada año, fue de 12,08%³ en el mismo período. Por tipo de energía, las empresas del sector consumieron en el año 2007 un 32,2% del total de la energía eléctrica consumida por el país y sólo un 6,2% del total de combustibles.

³ Cálculo de la Dirección de Estudios de COCHILCO con información del Banco Central de Chile.

INTRODUCCION

Este trabajo corresponde a una actualización al año 2007 de versiones anteriores de estudios realizados por la Comisión Chilena del Cobre, los que pueden ser consultados en nuestra página web.^{4 5 6 7}.

A diferencia de los estudios anteriores, en el presente estudio el período de análisis de la evolución de los consumos energéticos, combustibles y energía eléctrica del sector minería del cobre, se acota, en general, a sólo los últimos 7 años, comprendidos entre el 2001 y el 2007. Esta decisión se basa en que en este período la mayoría de las faenas mineras que entraron en operación a mediados de la década del 90 se encuentran operando a régimen, lo que permite análisis más representativos.

No obstante lo anterior, en algunos casos especiales, como por ejemplo, en el caso de las fundiciones de concentrados de cobre, el análisis cubre el período de 13 años (1995-2007), para reflejar el impacto que han tenido en el consumo de energía eléctrica y combustibles los Planes de Descontaminación de las 5 fundiciones estatales, los que involucraron profundos cambios tecnológicos.

En particular, en esta ocasión la actualización anual de este estudio, se sustenta en el interés de verificar los efectos que la estrechez en el abastecimiento de energía eléctrica a raíz de la crisis del gas natural puede haber tenido en la actividad de la minería del cobre.

Este trabajo cumple varios objetivos. El primero de ellos es contar con información actualizada, que permita visualizar la forma en que van evolucionando a través de los años los consumos energéticos del sector, producto de cambios tecnológicos, cambios en la cartera de productos comerciales u otros factores. Esto ha sido posible gracias a la amplia colaboración de las empresas que entregaron sus antecedentes para la elaboración de este trabajo⁸.

Con la información generada por este estudio, COCHILCO elabora, además, un estudio prospectivo respecto de la demanda futura de energía eléctrica por parte de la minería del cobre.

⁴ "Consumos de Energía en la Minería del Cobre 1990 – 1998", Comisión Chilena del Cobre. http://www.cochilco.cl/desarrollo/fr_estudios.html

⁵ AMPL – Uso Eficiente de Energía. Consejo Minero. <http://www.consejominero.cl/biblioteca/biblioteca.asp>

⁶ Coeficientes Unitarios de Consumo de Energía de la Minería del Cobre 1995 – 2004, Comisión Chilena del Cobre. http://www.cochilco.cl/productos/fr_mercado.html

⁷ Coeficientes Unitarios de Consumo de Energía de la Minería del Cobre 1995-2006, Comisión Chilena del Cobre. http://www.cochilco.cl/productos/fr_mercado.html

⁸ ANEXO N° 1 Faenas Mineras incluidas en el Estudio.

METODOLOGIA

Para desarrollar el trabajo se ha utilizado la misma metodología que en las versiones anteriores, conceptualizando el proceso de obtención del cobre a través de la definición de áreas, etapas y procesos que generan flujos de materiales característicos, cuyo volumen va decreciendo a medida que se avanza en el grado de refinación del producto.

Con las definiciones se genera una encuesta que se envía a todas las principales empresas productoras y refinadoras. La encuesta es segmentada y específica, considerando las áreas, etapas y procesos característicos de cada una de las empresas, de acuerdo al conocimiento que de ellas tiene la Comisión Chilena del Cobre. Esta encuesta se enfoca a obtener información, lo más desagregada posible, respecto de consumos de energía (energía eléctrica y combustibles), flujo de materiales inter áreas, tecnologías y producción en cada etapa, entre otros antecedentes.

Con la información proporcionada por las empresas, que representan el 99% de la producción de cobre de Chile del año 2007, respecto de consumo de combustibles y energía eléctrica en cada una de las áreas de la producción de cobre, en el período considerado en el estudio, se calculó para cada área y cada faena los Coeficientes Unitarios Específicos para cada uno de los combustibles utilizados y la energía eléctrica, tanto por unidad de material tratado, como por unidad de material producido y cobre fino contenido en el material tratado.

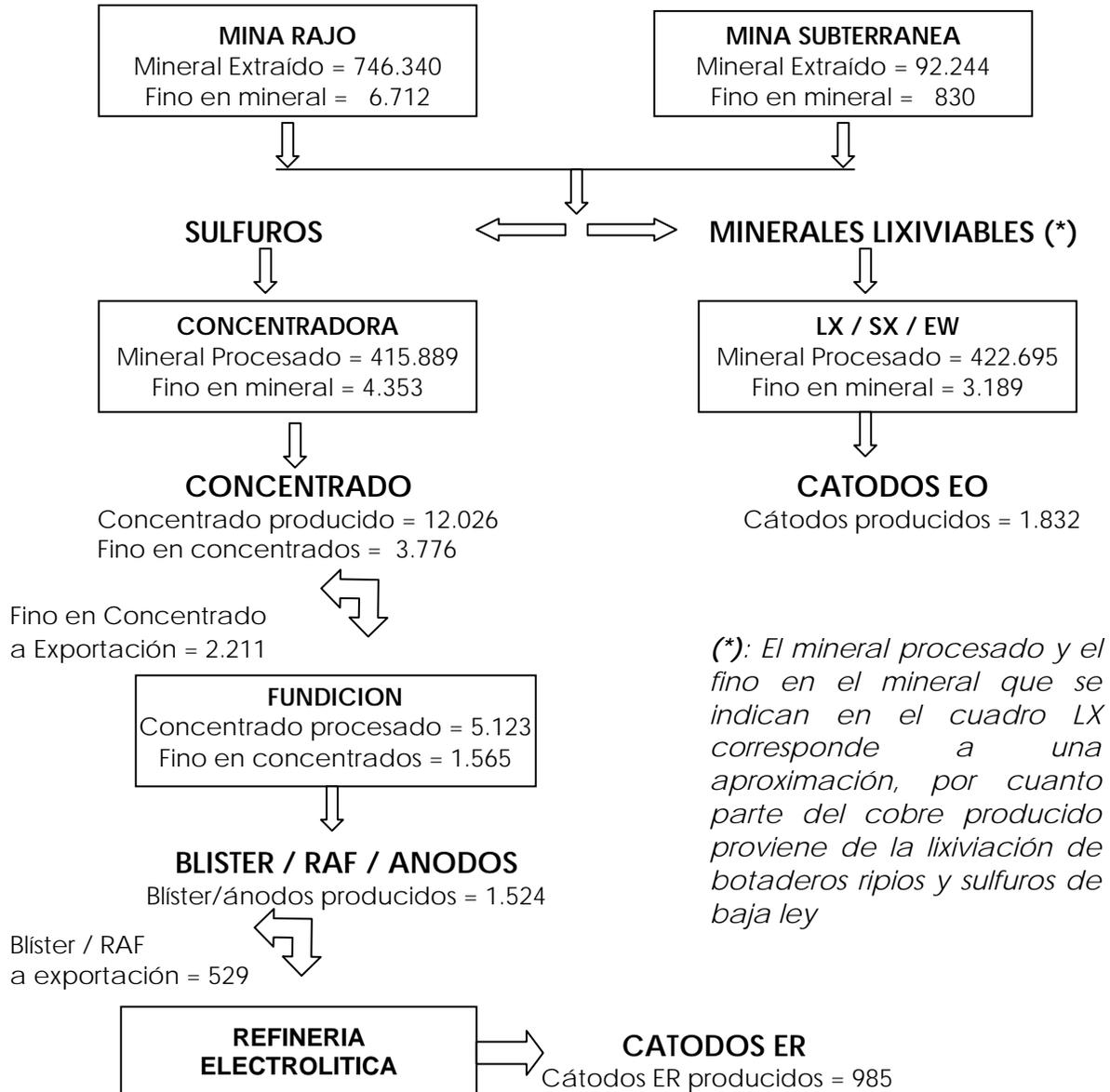
Los Coeficientes Globales respectivos se determinaron en base a los poderes caloríficos específicos superiores⁹ de cada uno de los combustibles. Luego, se determinó para cada año el promedio ponderado del Coeficiente Unitario Global de cada una de las áreas del proceso de producción de cobre en Chile.

En base a la información entregada por las faenas mineras respecto de mineral extraído, razón lastre / mineral, tipo de mineral procesado, tipo de faena minera, tipos y volúmenes de productos, leyes de mineral, recuperaciones, etc., se generó el flujo de materiales principales para cada año considerado en el estudio.

El siguiente diagrama simplificado (Figura N° 1) permite visualizar en forma global los flujos de materiales en cada una de las áreas para el año 2007. Las cifras consideran las variaciones de stocks y las recuperaciones características de cada una de las áreas.

⁹ Balance Nacional de Energía 1979 – 1998 Chile. Comisión Nacional de Energía.

FIGURA N° 1
FLUJO DE MATERIALES AL AÑO 2007
(cifras en miles de toneladas métricas)



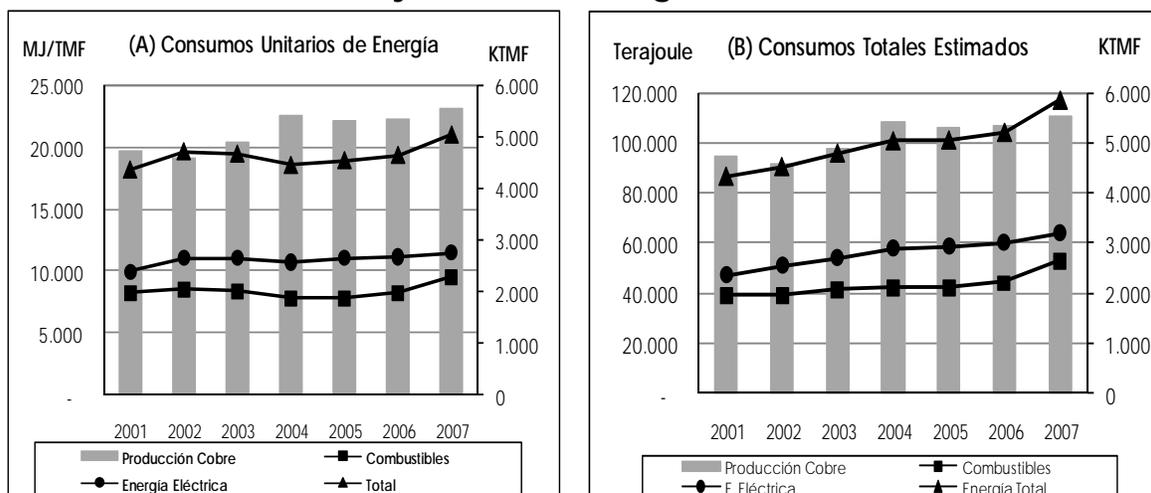
Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre

Es importante destacar, que los valores informados en este documento corresponden al promedio ponderado de los valores individuales de aquellas faenas mineras que informaron consumo de energía (combustibles y/o energía eléctrica) en el período.

PRINCIPALES RESULTADOS

1. Consumos Unitarios¹⁰ y Totales de Energía

Gráfico N° 1
Consumos Unitarios y Totales de Energía de la Minería del Cobre



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

En el período bajo análisis, los coeficientes unitarios de consumo de energía total muestran una tendencia creciente en los últimos 4 años, que se acentúa en el último año, incrementándose entre el año 2001 y el 2007 en un 15,6%, resultando en el 2007 un valor promedio de 21.066 MJ/TMF.

El análisis por tipo de energía muestra que los coeficientes unitarios globales de consumo de combustibles tienen la misma tendencia creciente en los últimos 4 años, aumentando en el período en un 15,7%, mientras que la energía eléctrica experimenta un aumento entre los años 2001 y 2002 para luego mantenerse relativamente estable, aumentando en el período en un 15,5%.

Es importante destacar que, en el período de 13 años (1995-2007) los coeficientes unitarios globales de consumo de combustibles muestran una tendencia decreciente de casi 15%, mientras que los coeficientes unitarios de consumo de energía eléctrica compensan esta reducción, incrementándose en 16%, dando como resultado que, en el período de 13 años, el consumo unitario global de energía se reduce en un 0,4%.

¹⁰ Consumo Unitario: energía consumida para producir una unidad de producto (1 tonelada de cobre fino contenido).

En base a estos coeficientes unitarios globales de consumo de combustibles y energía eléctrica, determinados para cada área del proceso de obtención del cobre, y las producciones intermedias estimadas en cada área, se realizó una estimación de los consumos de energía, tanto combustibles como energía eléctrica, para el total del sector minero del cobre, lo que incluye la producción de subproductos.

Los resultados obtenidos muestran que el consumo de energía total del sector minería del cobre creció entre los años 2001 y 2007 en un 35,5%. En el mismo período, la producción de cobre fino del país aumentó sólo en un 17,3%. El consumo de energía como combustibles aumentó en el período de 7 años en un 35,6%, mientras que el consumo de energía eléctrica se incrementó en un 35,5%. Los resultados anteriores se explican por una multiplicidad de factores.

Los mayores incrementos de consumo de combustible se producen en el área mina y se deben principalmente a las bajas en las leyes de los minerales, las mayores distancias de acarreo y aumentos en las razones lastre mineral.

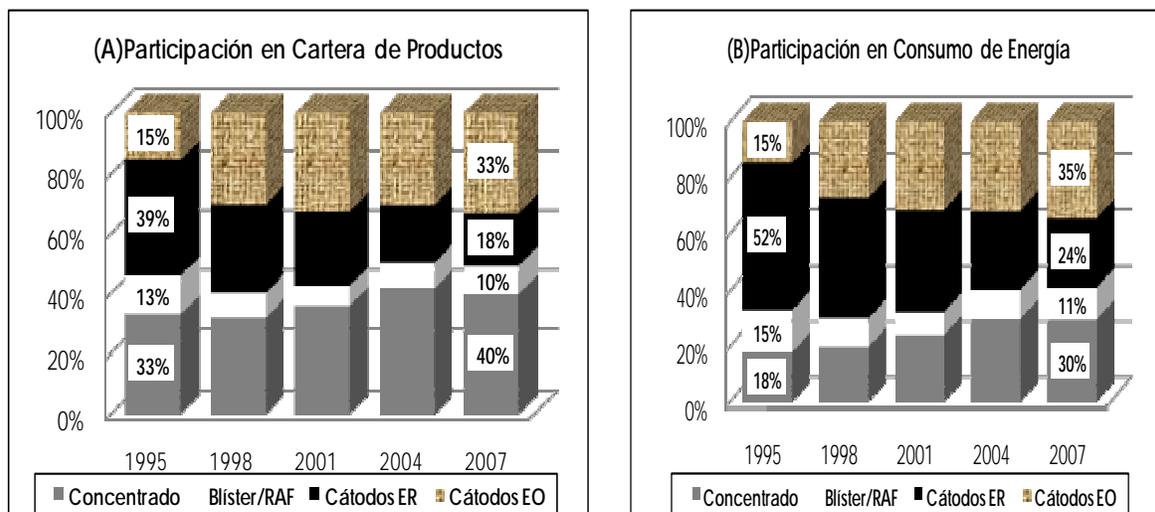
Los cambios tecnológicos han afectado fundamentalmente a las fundiciones de concentrados de cobre, donde, por razones de carácter ambiental, entre los años 1994 y 2000 se reemplazaron los hornos reverbero por convertidores Teniente y hornos Flash, y además, se instalaron plantas de oxígeno y sistemas de captación y tratamiento de gases. Esto, por una parte, ha significado una reducción en los consumos de combustibles que, como se muestra más adelante, a contar del año 2004 no experimentan nuevas reducciones, por lo que en el área de fundición pareciera haberse alcanzado el límite que permite la tecnología en uso. Sin embargo, estos mismos cambios tecnológicos han significado incrementos en los consumos de energía eléctrica, para el funcionamiento de las plantas de oxígeno, plantas de ácido y sistemas de captación y limpieza de gases.

Los cambios en la cartera de productos comerciales también influyen en los consumos de energía eléctrica y combustibles.

Como se muestra en el Gráfico N° 2, en 1995 un 33% del cobre se vendía como concentrados, un 52% correspondía a productos refinados (cátodos electro refinados, refinado a fuego (RAF) y blíster) y sólo un 15 % a cátodos electroobtenidos, producidos por la vía hidrometalúrgica.

En el año 2007, la cartera estuvo compuesta por un 40% de concentrados, 28% de refinados y 33% de cátodos electroobtenidos.

Gráfico N° 2



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

Como se puede observar en los gráficos anteriores, en el año 1995 el 33% de la producción de cobre (concentrados) consumió el 18% del total de la energía consumida por el sector, mientras que en el año 2007 un incremento en la participación de los concentrados resulta en un mayor aumento en el consumo de energía. Lo anterior se debe a que en el período de 13 años los coeficientes unitarios de consumo de combustibles en la mina y de energía eléctrica en la concentradora crecen entre 40% y 50%, debido, como se explicó anteriormente a las menores leyes, mayores distancias de acarreo, mayores razones lastre mineral y aumentos en la dureza del mineral.

Los productos refinados, que reducen su participación en la cartera de productos comerciales de un 52% a un 28%, también reducen su participación en el consumo total de energía del sector de un 67% a un 35%, principalmente por la fuerte reducción (50%) de los consumos unitarios de combustibles en la fundición, por las razones que se exponen más arriba.

Los cátodos electroobtenidos (incluyendo mina, lixiviación, extracción por solventes y electrodeposición) aumentan su participación en la cartera en proporción similar a su participación en el consumo total de energía del sector.

Finalmente, cabe destacar que las restricciones en el abastecimiento de gas natural que ha experimentado el país en los últimos 4 años no han significado reducciones en los consumos totales de energía del sector minería del cobre.

Se observa un mayor incremento en los consumos de combustibles, en desmedro de la electricidad, lo que ha redundado en la inversión de la tendencia creciente mostrada por la participación de la energía eléctrica en el consumo total de energía del sector desde comienzos del periodo y que alcanzó su punto máximo en el año 2005 con un 58,4%.

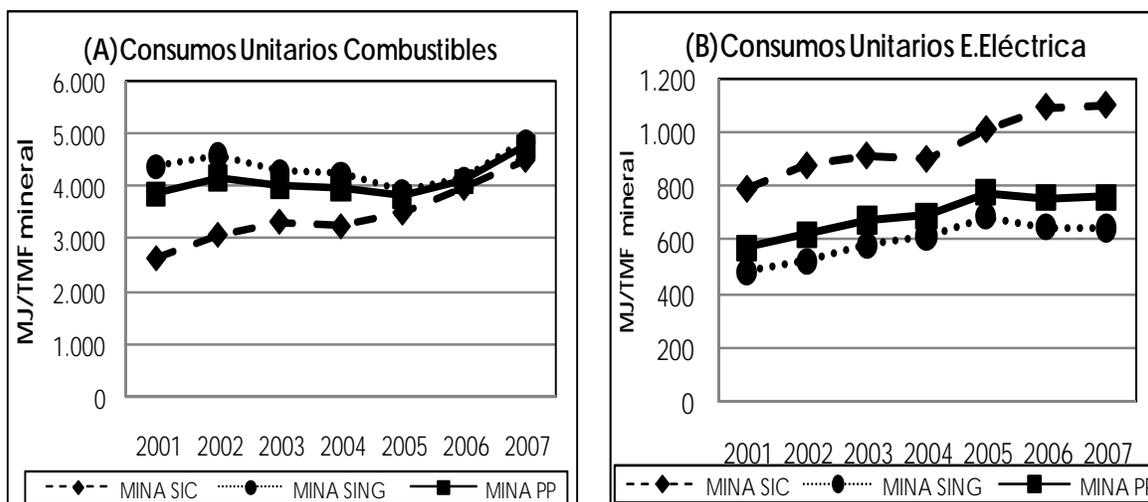
Todo lo anteriormente expuesto indicaría que el sector minería del cobre estaría experimentando en esta década un incremento en la intensidad de uso de energía (energía consumida por unidad de cobre fino producido).

2. Consumos por Área de Producción

Por primera vez, en esta versión del trabajo se muestran resultados de los coeficientes unitarios de consumo de energía por unidad de mineral extraído en la mina, y de mineral tratado en la concentradora, la fundición y en la lixiviación.

2.1 Área Mina

Gráfico N° 3
Consumos Unitarios Área Mina
(TMF en mineral)



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

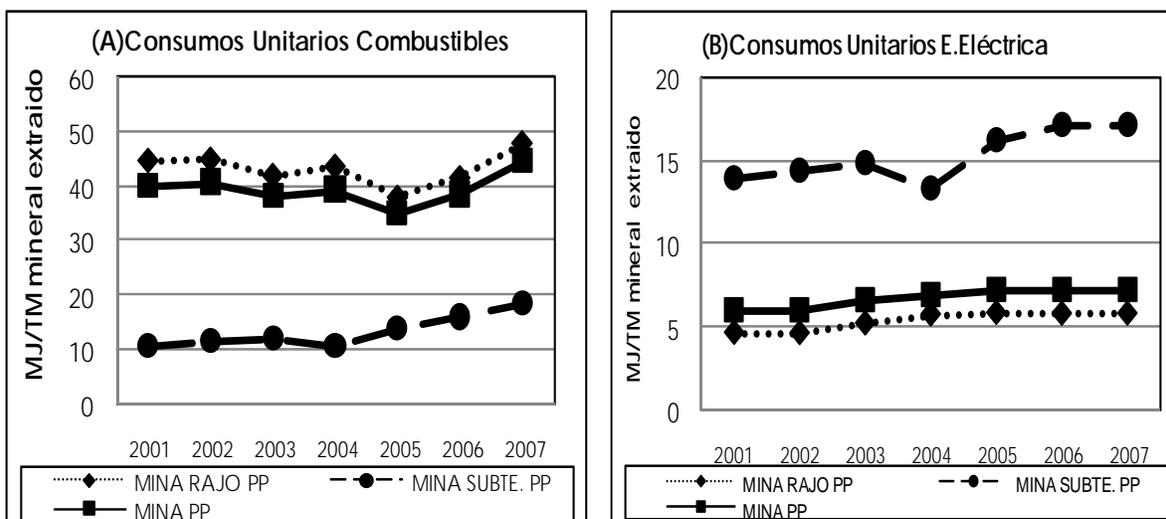
En el año 2007, un 89% del mineral extraído provino de minas a rajo abierto y sólo un 11% de minas subterráneas.

Los coeficientes unitarios de consumo de combustibles promedio país del área mina (rajo y subterránea) siguen una tendencia similar a los de las minas del SING, lo que se debe a que más del 65% del cobre del país se

extrae en esa zona. En el período, los consumos unitarios de combustibles de las minas SING se incrementan en 10,8%, mientras que las del SIC lo hacen en casi 70%, debido principalmente a incrementos en la dureza del mineral. El consumo unitario de combustibles promedio país del área mina crece entre el año 2001 y el 2007 en un 23,5%.

Los consumos unitarios de energía eléctrica del área mina asociada al SIC son superiores a aquellos del SING, debido a la importancia relativa de la minería subterránea en el SIC, que hace un uso más intensivo de electricidad en la explotación minera, en especial en los sistemas de ventilación. El consumo unitario de electricidad promedio país del área mina crece en los primeros 5 años del período (35%) y en los 2 últimos años experimenta una reducción (2%) impulsado por los valores decrecientes de consumo unitario de las minas SING, con lo que en los 7 años alcanza un incremento promedio de 33%.

Gráfico N° 4
Consumos Unitarios Área Mina
(TM mineral extraído)



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

Los consumos unitarios de combustibles en las minas rajo son entre 6,5 y casi 10 veces superiores a aquellos de energía eléctrica, lo que se debe fundamentalmente a que el transporte, tanto de mineral como de material estéril, se realiza en camiones.

Los principales factores que influyen en el consumo de combustibles en las distintas faenas son la razón lastre / mineral, las distancias medias de acarreo, la geometría del yacimiento, la dureza de la roca y factores

tecnológicos relacionados con los equipos que se utilizan para el transporte del mineral y el lastre.

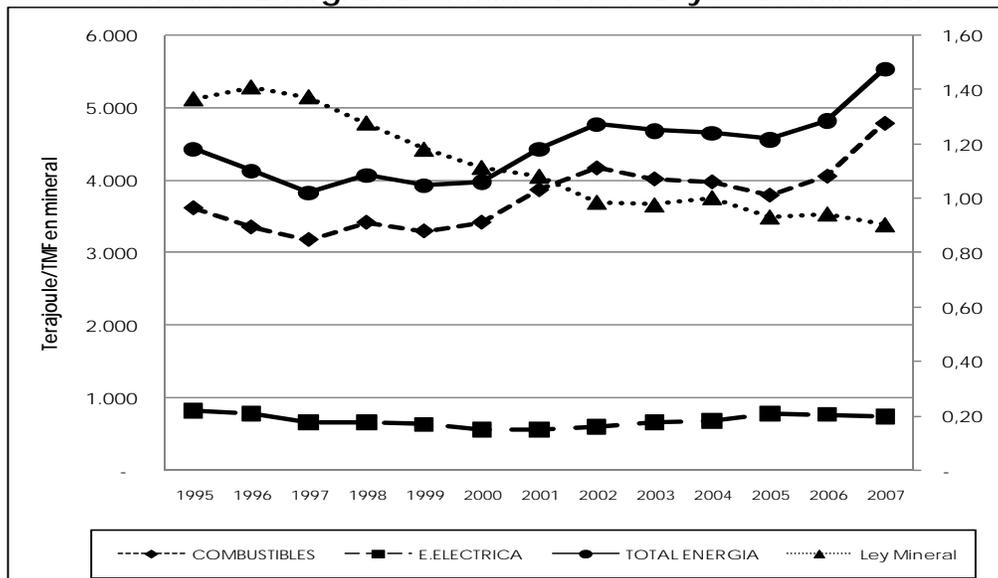
Los proyectos mineros de rajo abierto, por definición, tiene su óptimo en cuanto a consumo de energía al iniciar la explotación del yacimiento, ya que a medida que avanza la faena van disminuyendo las leyes, se incrementan las razones lastre/mineral, aumentan las distancias de acarreo y también la dureza del mineral.

Al analizar los consumos unitarios del área mina respecto de mineral extraído (Gráfico N° 4), en el caso de los combustibles, el promedio ponderado país se incrementa en 11%, valor inferior al de los coeficientes unitarios calculados respecto del fino contenido en el mineral (23,5%). Esto se debe, por una parte, a que las leyes promedio de los minerales extraídos bajan de 1,08% a cerca de 0,90%, lo que hace que para obtener la misma cantidad de fino sea necesario extraer más mineral y, por otra, a la variación de las razones lastre mineral.

Los coeficientes unitarios promedio país de consumo de energía eléctrica del área mina calculados respecto del mineral extraído aumentan en casi 20%, siguiendo una tendencia muy similar a la de las minas rajo, que aportan el año 2007 un 89% de la producción total de mina. Las minas subterráneas tienen consumos unitarios de electricidad muy superiores a las minas rajo por los sistemas de ventilación y aire comprimido. La baja que se produce en el año 2004 se debe a que una de las minas subterráneas más importantes incrementó la extracción de mineral sin aumentar significativamente su consumo de electricidad.

En el siguiente gráfico se muestra el comportamiento de los consumos unitarios de combustibles en el área mina a medida que se reducen las leyes del mineral.

Gráfico N° 5
Consumo Energía Área Mina versus Leyes del Mineral



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

A diferencia de los consumos unitarios de las minas rajo, los coeficientes unitarios de consumo de combustibles de las minas subterráneas son bastante inferiores a aquellos de las minas a rajo abierto, lo que se debe a que estas últimas deben mover grandes volúmenes de lastre y material estéril para ser depositados en botaderos, con los consiguientes consumos de petróleo diesel en los camiones utilizados en el transporte. Por su parte, las minas subterráneas son explotadas mediante el sistema de hundimiento de bloques que hace uso de la fuerza de gravedad para la extracción del mineral, con el consiguiente ahorro energético en esta etapa.

Es importante destacar que la mayoría de las minas subterráneas se encuentran en el área del SIC y en el Norte Grande existe actualmente en operación sólo una y de tamaño relativamente pequeño

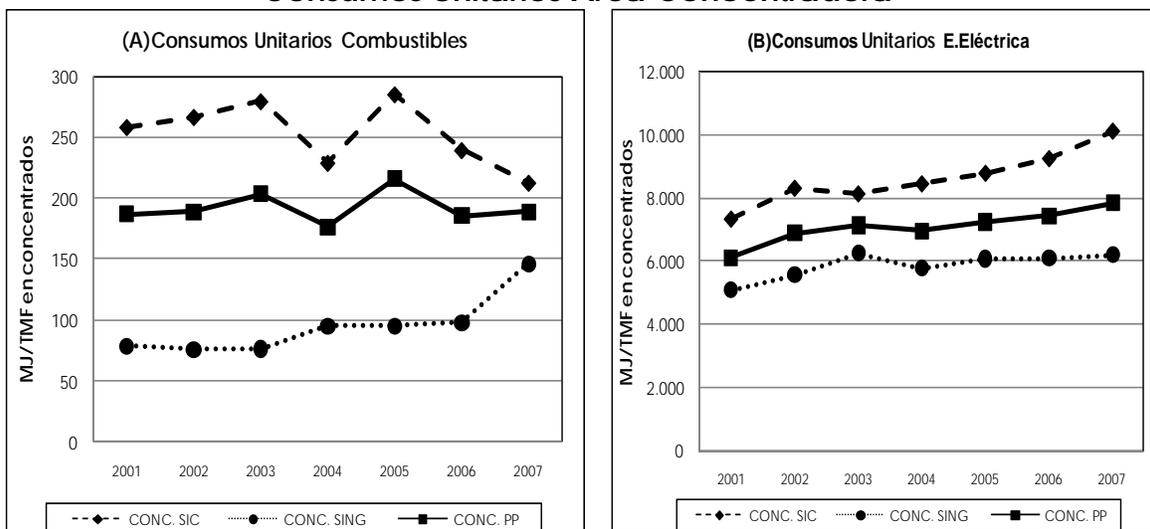
A la inversa que en el consumo de combustibles, los coeficientes unitarios de consumo de energía eléctrica de la minería subterránea, expresados por unidad de cobre fino en el mineral, más que duplican aquellos de la minería a rajo abierto. Lo anterior se debe fundamentalmente a que la minería subterránea requiere de uso intensivo de aire comprimido y servicios de ventilación. En general, su evolución promedio en el período muestra para el promedio país una tendencia creciente de 38,4%.

Estos incrementos se explican por una caída de la ley promedio del mineral extraído que va desde un 1,13% a un 1,0% en el año 2007.

2.1 Área Concentradora

Los consumos, tanto de combustibles como de energía eléctrica, en la concentradora incluyen aquellos de la planta de molibdeno. En la práctica, existiría un "crédito" a los coeficientes de la concentradora, por cuanto la energía se utiliza no sólo en producir cobre sino también molibdeno.

Gráfico N° 6
Consumos Unitarios Área Concentradora



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

Los valores unitarios promedio país de consumo de combustibles por unidad de cobre fino contenido en los concentrados producidos en la concentradora, con algunas fluctuaciones, se mantienen estables en el período.

Como se puede observar en los gráficos anteriores, la concentradora es una etapa del proceso de producción de cobre altamente consumidora de energía eléctrica, la que se utiliza en particular en las operaciones de chancado, molienda y clasificación del mineral. En promedio, los valores país muestran una tendencia creciente en el período que alcanza a un 28%, tendencia que es más acentuada en las minas SIC (37,8%) debido a incrementos en la dureza del mineral. Estos mismos consumos unitarios expresados por unidad de mineral tratado en la concentradora se mantienen bastante estables, aumentando sólo en 9%.

Otro hecho destacable es que, los consumos unitarios de electricidad en el área concentradora de las minas SIC son alrededor de 1,5 veces aquellos de las faenas SING. Lo anterior se debe a que el mineral extraído en la zona norte presenta durezas en torno a 13-15 KWh/ton, mientras que los

minerales de faenas asociadas al SIC tienen durezas más altas, 15-20 KWh/ton, por lo que se requiere más energía para su molienda.

2.2 Área Fundición

Debido a los cambios tecnológicos, inducidos por normativas ambientales, que han experimentado las fundiciones chilenas de concentrados de cobre, desde comienzos de la década del 90, se estimó procedente realizar el análisis de la evolución de los consumos unitarios de energía para un periodo más amplio.

Las 5 fundiciones estatales de concentrados debieron someterse a planes de descontaminación para dar cumplimiento a la normativa de calidad del aire, tanto de anhídrido sulfuroso, como de material particulado. Lo anterior, les significó implementar cambios tecnológicos, que en la mayoría de los casos correspondieron a reemplazo de los hornos reverbero para fusión del cobre por convertidores tipo Teniente, instalación de sistemas de captación, manejo y limpieza de gases, plantas de ácido, plantas de oxígeno y hornos eléctricos para el tratamiento de las escorias. Además, se reemplazaron los hornos rotatorios para el secado de concentrado por filtros de alta eficiencia y secadores fluosólido para alcanzar las humedades (<0,2%) requeridas por la nueva tecnología de fusión.

Hasta el año 2000, los coeficientes unitarios son un promedio ponderado de los consumos reportados por 6 fundiciones, mientras que los últimos 7 años consideran la información de las 7 fundiciones existentes en el país.

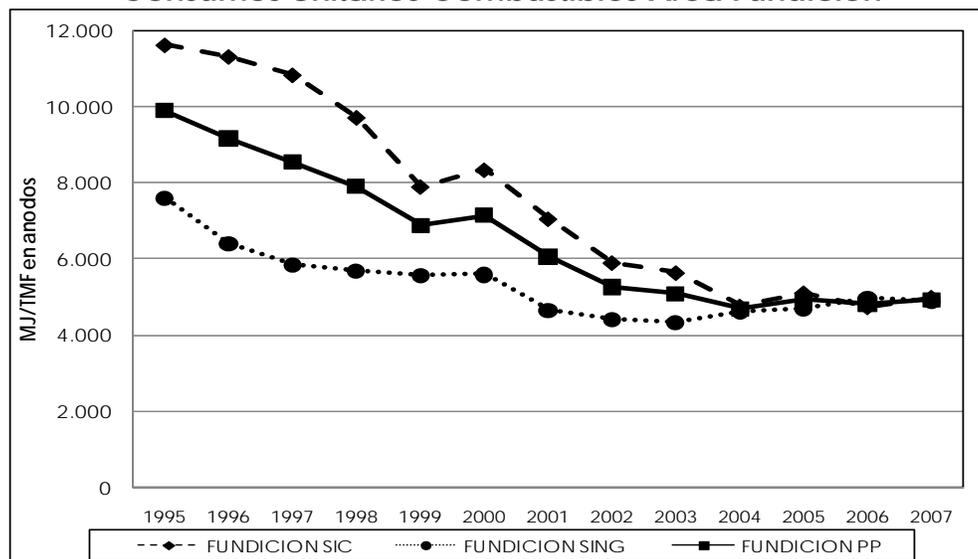
El cálculo de estos coeficientes se realizó considerando la operación de las plantas de oxígeno y ácido sulfúrico como un sistema integrado a la operación de la fundición, lo que representa en mejor forma la situación actual de las fundiciones, las que deben operar con plantas de ácido para dar cumplimiento a la normativa ambiental.

Como se puede observar en el siguiente gráfico, el área de fundición tiene consumos unitarios de combustibles bastante altos, los que han ido disminuyendo significativamente en el tiempo a la mitad (50%), producto de los cambios tecnológicos.

A partir del año 2004, fecha en la que todas las fundiciones se encontraban operando con los nuevos equipos, prácticamente no se observan reducciones en los consumos unitarios de combustibles y las curvas de las fundiciones SING y SIC tienden a ser asintóticas con la de los promedio ponderados país. Lo anterior, estaría indicando que se alcanzó un punto en que, desde el punto de vista de la tecnología utilizada, pareciera poco probable obtener nuevas reducciones en los consumos

unitarios de combustibles. No obstante lo anterior, existe un potencial de recuperación de energía a partir de los gases de las fundiciones, lo que en la actualidad no está siendo utilizado, y que permitiría disminuir aún más los consumos de combustibles.

Gráfico N° 7
Consumos Unitarios Combustibles Área Fundición

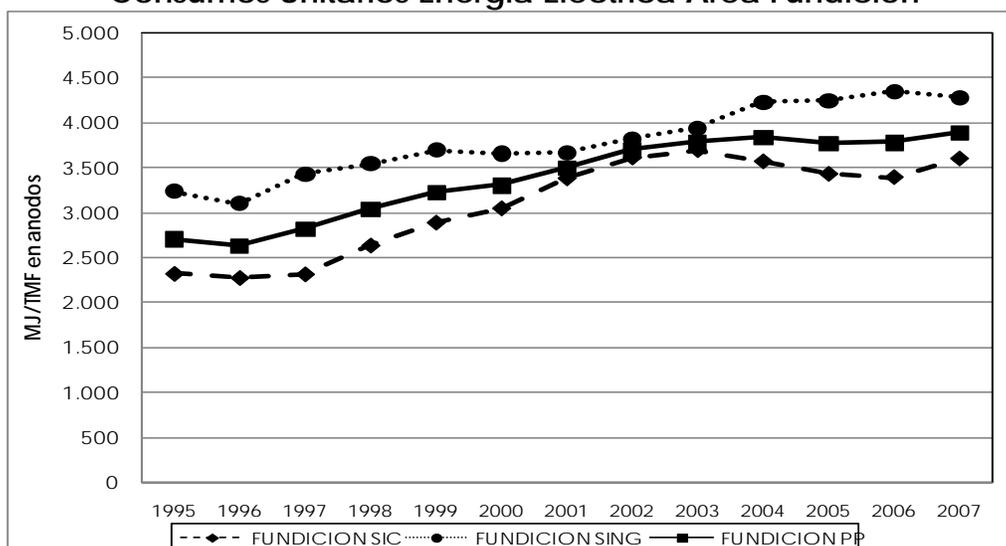


Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre en base a información de las empresas

Por su parte, los consumos de energía eléctrica en la fundición son crecientes en el tiempo (44%), debido, por una parte, a la introducción de tecnologías intensivas en el uso de oxígeno (Horno Flash, Convertidor Teniente y Noranda), que han implicado la instalación de plantas de oxígeno, que son grandes consumidoras de energía eléctrica. Por otra, la implementación de normativa de calidad del aire ha significado que las fundiciones deban instalar sistemas de captación y manejo de gases, así como plantas de ácido sulfúrico, con el consiguiente incremento en el consumo de energía eléctrica. Además, varias fundiciones han llevado a cabo proyectos de modernización, que han involucrado la instalación de sistemas de transporte e inyección de concentrado seco, como también la instalación de hornos eléctricos para el tratamiento piro metalúrgico de las escorias.

En los últimos años, a contar del año 2003, los consumos unitarios promedio país de energía eléctrica también tienden a estabilizarse, lo que refuerza la tesis que se habría alcanzado el punto óptimo que permite la tecnología en uso.

Gráfico N° 8
Consumos Unitarios Energía Eléctrica Área Fundición

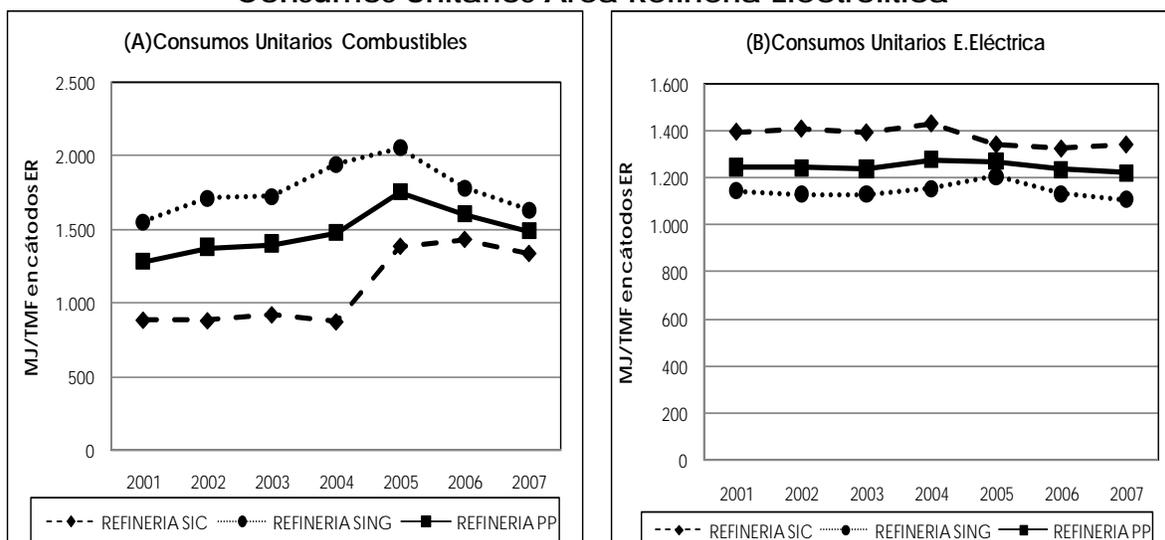


Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre en base a información de las empresas

2.4 Área Refinación Electrolítica

El área de refinación electrolítica tiene consumos de combustibles y energía eléctrica por unidad de cátodos electro refinados (ER) producidos relativamente similares.

Gráfico N° 9
Consumos Unitarios Área Refinería Electrolítica



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

En esta área los combustibles se utilizan para mantener la temperatura del electrolito. Los coeficientes unitarios promedio país en los 5 primeros años

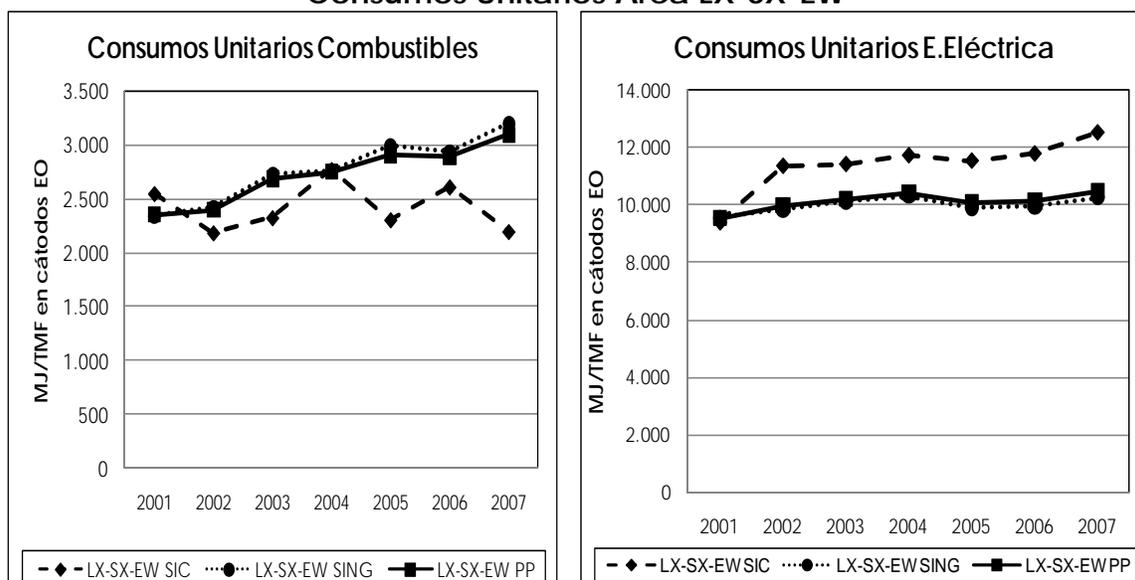
del período del estudio se incrementan en 36%, para luego reducirse entre el 2005 y el año 2007 en un 15%, resultado en promedio para los 7 años una tendencia creciente de 16%. Esta reducción se debe a un cambio tecnológico que experimentó la refinería de Chuquicamata, que significó la paralización de una de sus naves de refinación, con la consiguiente reducción en el manejo de electrolito.

En cuanto a los consumos de energía eléctrica, los valores de los coeficientes unitarios se mantienen en general bastante estables en el tiempo, reduciéndose el promedio ponderado país ligeramente en alrededor de 2%.

2.5 Área de Tratamiento de Minerales Lixiviables

El consumo de combustibles de la explotación de las minas que producen minerales lixiviables se contabiliza en el área mina, debido a que las operaciones mineras que extraen minerales sulfurados, oxidados y mixtos no informan por separado los consumos asociados a los distintos tipos de mineral.

Gráfico N° 10
Consumos Unitarios Área LX-SX-EW



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

Los consumos unitarios de combustibles calculados por unidad de mineral tratado se reducen en alrededor de 13%, mientras que estos mismos consumos unitarios medidos por unidad de cobre fino en cátodos SX-EW (Gráfico N° 10 (A)) muestran una tendencia creciente en torno al 32% en el período. Lo anterior es un reflejo de las caídas en las leyes de los minerales

tratados (10%) y en las recuperaciones del proceso (24%), por un aumento en los últimos de años de mineral procesado en botaderos (dump).

El ciclo alto de precios del cobre de los últimos años ha rentabilizado el procesamiento de los minerales de baja ley que se encontraban almacenados. Por lo anterior, varias empresas mineras han comenzado en los últimos años a procesar este tipo de minerales en botaderos, donde las recuperaciones son muy bajas.

En el tratamiento de minerales lixiviables los combustibles se utilizan para la formación y descarga de pilas, en algunos casos calefacción del mineral y de las soluciones de lixiviación, y calefacción del electrolito en la electrodeposición.

Esta área de producción del cobre es altamente consumidora de energía eléctrica, la que se utiliza para preparación y acondicionamiento del mineral (curado y aglomerado), formación y descarga de pilas, manejo y circulación de soluciones y en el proceso de electrodeposición.

Los consumos unitarios de energía eléctrica, que fluctúan entre 3,5 y 4 veces aquellos de combustibles, son bastante estables en el tiempo, con una tendencia ligeramente creciente del orden de 10%, impulsada por los aumentos de consumos unitarios de las faenas del SIC (33%). Al igual que en el caso de los combustibles, los consumos unitarios calculados respecto de mineral tratado muestran una tendencia decreciente del orden de 23%.

Como se puede observar en los gráficos anteriores, los valores promedio ponderados país de los consumos unitarios son muy similares a aquellos de las faenas del SING y esto se debe a que más del 90% de la producción de cátodos EO proviene de faenas que se abastecen de energía eléctrica de ese sistema de generación.

3. Valores de los Coeficientes Unitarios

Los resultados globales obtenidos para las diferentes áreas del proceso de obtención de cobre se muestran en las siguientes tablas.

Tabla N° 1
COEFICIENTES UNITARIOS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLES POR AREAS
 (por tonelada de fino en el producto de cada etapa)

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Mina Rajo (MJ / TMF en mineral)	4.346,1	4.680,2	4.493,0	4.465,8	4.196,4	4.465,0	5.166,4
Mina Subterránea (MJ / TMF en mineral)	947,0	1.069,7	1.129,0	1.000,6	1.333,1	1.563,9	1.795,6
Concentradora (MJ / TMF en concentrado)	186,6	188,8	203,4	176,2	215,8	185,4	188,6
Fundición (MJ / TMF en ánodos)	6.063,7	5.275,1	5.087,8	4.699,8	4.924,7	4.822,7	4.935,2
Refinería (MJ / TMF en cátodos ER)	1.284,2	1.378,4	1.401,7	1.475,2	1.751,7	1.603,7	1.492,2
LX / SX / EW (MJ / TMF en cátodos SX-EW)	2.352,3	2.394,3	2.686,2	2.751,1	2.905,5	2.893,8	3.094,6
Servicios (MJ / TMF total producido)	357,7	377,0	510,8	318,6	278,7	280,4	267,8

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

Tabla N° 2
COEFICIENTES UNITARIOS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLES POR AREAS
 (por tonelada de mineral extraído o tratado)

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Mina Rajo (MJ / TM mineral extraído)	44,7	44,9	41,9	43,6	37,9	41,5	47,9
Mina Subterránea (MJ / TM mineral extraído)	10,6	11,5	12,0	10,6	13,9	15,8	18,2
Concentradora (MJ / TM mineral procesado)	2,1	1,7	1,8	1,7	1,9	1,6	1,5
Fundición (MJ / TM concentrado procesado)	2.045,9	1.751,7	1.684,6	1.533,9	1.590,7	1.538,7	1.554,4
LX / SX / EW (MJ / TM mineral tratado)	16,9	16,2	16,1	16,8	14,9	14,8	14,7

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

Tabla N° 3
COEFICIENTES UNITARIOS DE CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA POR AREAS
 (por tonelada de fino en el producto de cada etapa)

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Mina Rajo (MJ / TMF en mineral)	445,5	485,3	544,3	585,8	643,0	614,7	620,9
Mina Subterránea (MJ / TMF en mineral)	1.248,3	1.337,3	1.394,5	1.257,9	1.558,5	1.693,5	1.699,1
Concentradora (MJ / TMF en concentrado)	6.111,8	6.881,7	7.135,3	6.942,7	7.240,9	7.424,6	7.826,3
Fundición (MJ / TMF en ánodos)	3.494,1	3.694,0	3.792,0	3.836,2	3.771,7	3.778,7	3.887,1
Refinería (MJ / TMF en cátodos ER)	1.245,4	1.243,4	1.238,1	1.276,8	1.269,9	1.233,4	1.221,2
LX / SX / EW (MJ / TMF en cátodos SX-EW)	9.542,5	9.974,0	10.221,9	10.429,0	10.082,3	10.128,7	10.479,6
Servicios (MJ / TMF total producido)	515,2	546,8	493,0	509,0	567,9	493,5	463,7

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

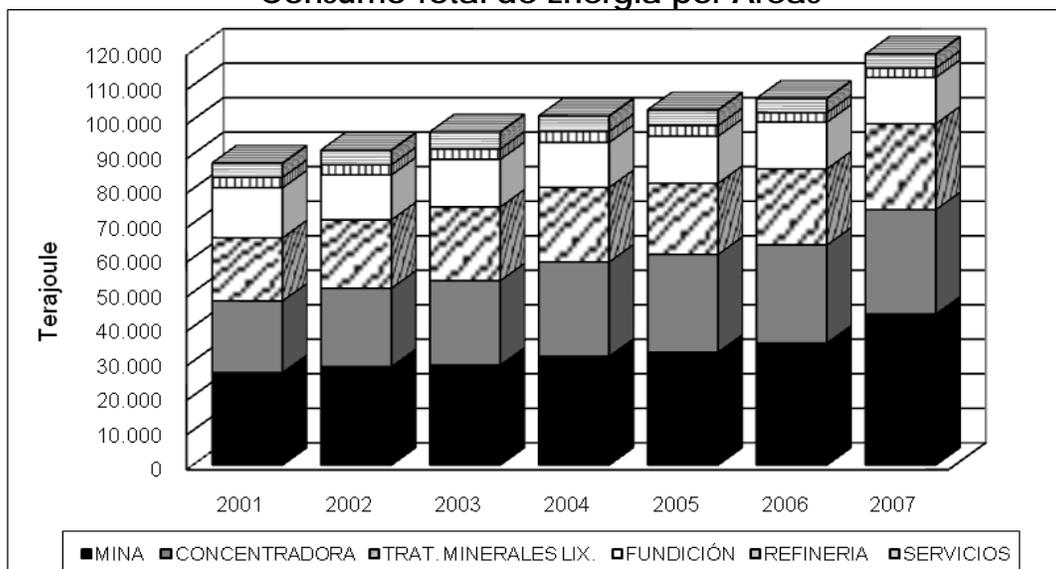
Tabla N° 4
COEFICIENTES UNITARIOS DE CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA POR AREAS
 (por tonelada de mineral extraído o tratado)

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Mina Rajo (MJ / TMF en mineral)	4,6	4,6	5,2	5,8	5,9	5,8	5,8
Mina Subterránea (MJ / TMF en mineral)	14,0	14,4	14,9	13,3	16,2	17,1	17,1
Concentradora (MJ / TMF en concentrado)	67,2	69,6	71,5	70,0	69,9	72,0	73,3
Fundición (MJ / TMF en ánodos)	1.119,2	1.179,6	1.195,6	1.193,8	1.158,3	1.155,8	1.183,7
LX / SX / EW (MJ / TMF en cátodos SX-EW)	64,5	62,6	61,0	61,2	51,7	51,7	49,6

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

4. Participación por Áreas

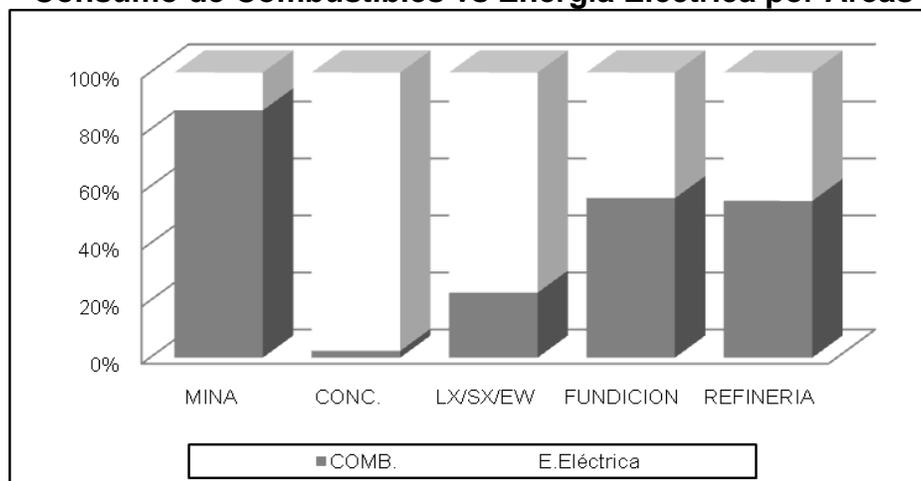
Gráfico N° 11
Consumo Total de Energía por Áreas



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

Al analizar la participación en el consumo total de energía de cada una de las áreas definidas del proceso de producción¹¹ se observa que el área más consumidora de energía es la explotación minera (35,7%), seguida por la concentradora (25,9%) y el tratamiento de minerales lixiviables (21,2%).

Gráfico N° 12
Consumo de Combustibles vs Energía Eléctrica por Áreas



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

¹¹ Mina rajo y subterránea, Concentradora, Fundición, Refinería Electrolítica, Tratamiento de Minerales Lixiviables y Servicios a la producción.

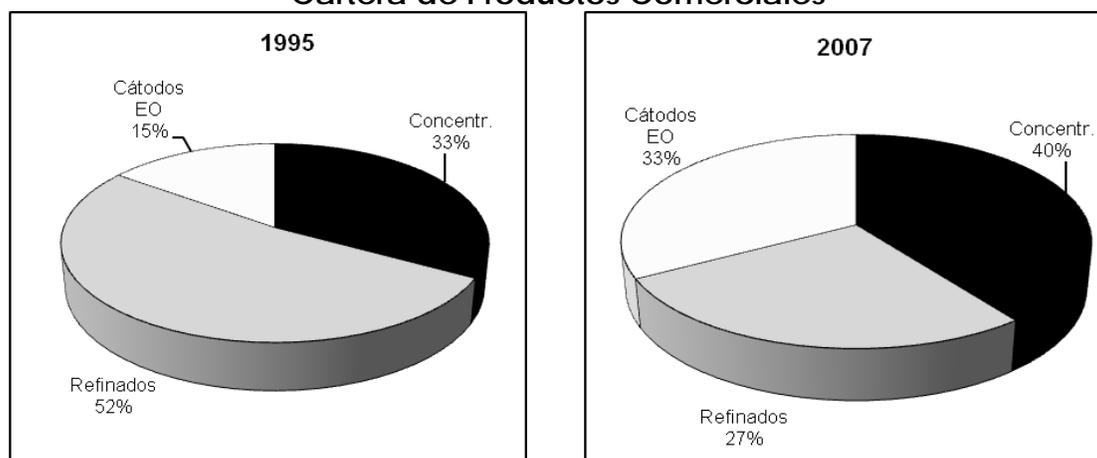
Es importante destacar que en el año 2007, mientras la explotación minera consume un 87% de su consumo total como combustibles, el consumo de energía del área de concentración de minerales es, en la práctica, casi exclusivamente energía eléctrica (98%). Por su parte, el tratamiento de minerales lixiviables consume el 77% de la energía como energía eléctrica y la fundición y refinación 55% como combustibles.

COMENTARIOS FINALES

En el período considerado en el estudio (2001-2007), en la mina los consumos de energía como combustibles se incrementan en un 61% y los consumos de energía eléctrica suben en 72,3%, lo que hace que esta área aumente su participación en el consumo total de energía eléctrica del sector de un 29,8% el 2001 a un 35,7% en el año 2007. La concentradora aumenta ligeramente su participación en el consumo total de energía sectorial a un 25,9% y el tratamiento de minerales lixiviables mantiene su participación en un 21,2%.

Un hecho destacable es que, entre 1995 y el año 2007, gracias a la disminución en su consumo unitario de energía, el área de fundición disminuyó su participación relativa en el consumo total de energía del sector desde un 31,2% a un 11,5%, no obstante que la producción del área se incrementó en un 17%. Lo anterior se explica por una reducción en el consumo de energía producto de cambios tecnológicos y por un aumento de la participación de productos no refinados en la cartera de productos comerciales del país. Por su parte, la participación en el consumo total de energía del área de tratamiento de minerales lixiviables (LX-SX-EW) aumentó de un 10% a un 21%.

Gráfico N° 13
Cartera de Productos Comerciales



Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre.

En el ámbito del consumo de energía como combustibles, la explotación minera, que en el año 2001 consumía el 57,4 % de los combustibles utilizados por la minería, fue incrementando su participación hasta alcanzar el 68,2% en el año 2007. Lo anterior se debe fundamentalmente a que las nuevas minas que han entrado en operación en el período son de rajo abierto, y a que, a medida que avanza la explotación de este tipo de minas, las distancias y pendientes de acarreo, tanto de los minerales como de los materiales estériles van aumentando, con el consiguiente aumento de consumo de combustibles.

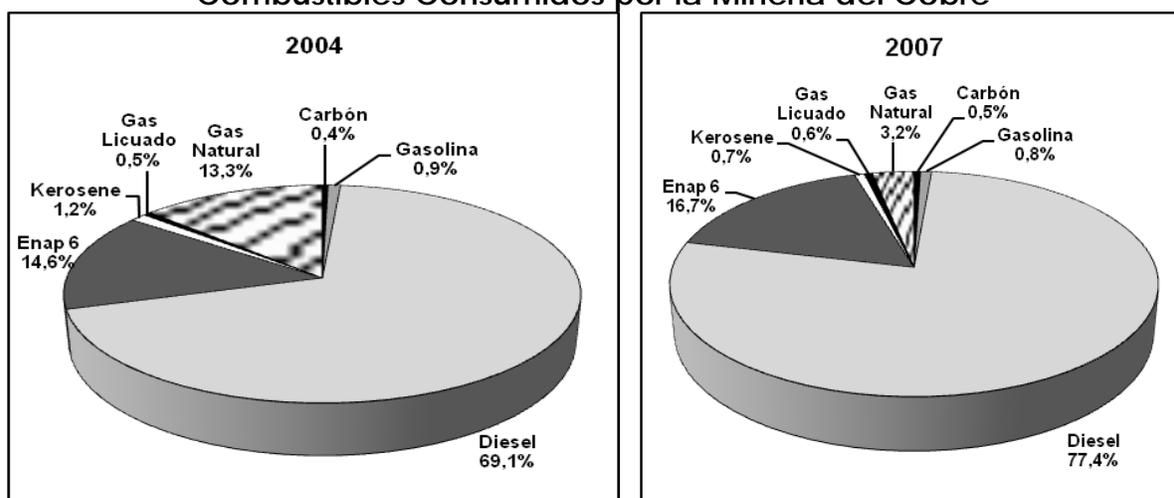
Al analizar el consumo de energía eléctrica de la minería del cobre, destaca el hecho que la concentración de minerales sulfurados consume prácticamente la mitad del total de la energía eléctrica consumida por el sector, y ha aumentado su participación de 42,6% en el año 2001 a 46,1% el 2007.

Otro hecho relevante es el importante aumento de participación en el consumo de energía eléctrica del área de tratamiento de minerales lixiviables, de un 16,3% en 1995 a un 30% en el 2007. Esto se debe al fuerte incremento de la producción de cobre a partir de este tipo de minerales, y a que las distintas etapas del procesamiento son fundamentalmente consumidoras de energía eléctrica.

Al analizar el consumo energético unitario de los productos comerciales se observa que la producción de 1 tonelada de concentrados incrementó su consumo en un 29% entre el año 2001 y 2007, alcanzando este último año un valor de 15.704 MJ/TMF. Por su parte, el blíster aumenta en 11% para llegar a 25.201 MJ/TMF en el 2007. Los cátodos ER aumentan su consumo unitario en el período en un 10%, llegando a un valor de 28.902 MJ/TMF. Los consumos unitarios de energía de la vía hidrometalúrgica, que produce los cátodos EO, crecen más fuertemente (25%), para alcanzar el año 2007 la cifra de 22.103 MJ/TMF.

Los patrones de consumo de energía de la minería del cobre cambiaron fuertemente entre 1995 y el año 2005, en el sentido de un aumento en la importancia relativa del consumo de energía eléctrica. Este último año la energía eléctrica daba cuenta de un 58,4% del consumo total de energía. Sin embargo, a partir del 2006 esta tendencia se revierte y en el año 2007 del consumo total de energía un 54,7% corresponde a energía eléctrica y un 45,3% a una variada gama de combustibles.

Gráfico N° 14
Combustibles Consumidos por la Minería del Cobre



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

Los principales combustibles consumidos directamente por la minería del cobre en el año 2007 son: petróleo Diesel (77,4%), Enap 6 (16,7%) y Gas Natural (3,2%), siendo marginal la participación de los otros combustibles (carbón, kerosene, gas licuado y gasolinas). El hecho más destacable es que, producto de la reducción en el abastecimiento de gas natural, éste baja su participación en el consumo directo del sector minero de un 13,3% a un 3,2% entre los años 2004 y 2007, mientras que el petróleo diesel la sube de un 69,1% a un 77,4%. El principal consumo de gas natural corresponde a las fundiciones de concentrados de cobre.

Además, en el año 2004 un 7,3% de los combustibles consumidos, principalmente petróleo diesel, se destinó a autogeneración eléctrica, cifra que baja a 5,5% en el 2007. El 35,9% del consumo total de diesel de la minería del cobre se utilizó en autogeneración, mientras que en el año 2007 se usó sólo el 29,3%.

De lo anterior, se puede concluir que los recortes en el abastecimiento de gas natural, que han afectado al país desde el año 2004, no han tenido un impacto directo respecto de la actividad minera del cobre, pero sí sobre los costos de la energía eléctrica consumida, principalmente porque la utilización de combustibles alternativos, más caros, por parte de las empresas generadoras han hecho subir los precios de este insumo estratégico para la minería.

Más aún, además del alza en los costos unitarios de energía, la minería del cobre ha incrementado en los últimos años sus consumos de combustibles

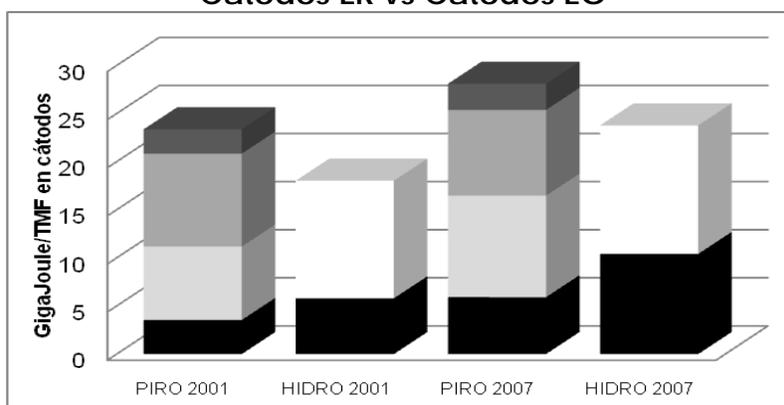
y electricidad, tanto en valores absolutos como en términos unitarios, por tonelada de cobre fino producido.

La participación promedio de la minería del cobre en el consumo total final de energía del país en el período 2001-2007 fue de un 10,9%, mientras que la participación promedio del sector en el PIB, a precios corrientes de cada año, fue de 12,08%¹² en el mismo período. Por tipo de energía, las empresas del sector consumieron en el año 2007 un 32,2% del total de la energía eléctrica consumida por el país y sólo un 6,2% del total de combustibles.

Un análisis interesante consiste en comparar los consumos específicos de energía para producir una tonelada de cátodos ER provenientes de mineral sulfurado, que utiliza la vía pirometalúrgica, con cátodos EO, que se producen por la vía hidrometalúrgica.

Para efectos de este análisis se utilizó la información de faenas que sólo producen cátodos ER o cátodos EO. Considerando el promedio del período (2001-2007), y un volumen promedio agregado de producción de 1.063.121 TM de cátodos EO, se obtiene un coeficiente unitario de 20.307 Megajoule/TMF para dicho tipo de cátodos. En el caso de los cátodos ER, el volumen de producción promedio agregado fue de 1.115.244 TM, y el coeficiente unitario resultante es 25.262 Megajoule/TMF. Esto indicaría que, desde el punto de vista de consumo de energía, la producción de cátodos EO es más sustentable que la producción de cátodos ER. Los valores anteriores no necesariamente coinciden con los indicados más arriba para los productos comerciales, puesto que estos últimos corresponden a promedios del período considerado.

Gráfico N° 15
Cátodos ER vs Cátodos EO



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

¹² Cálculo de la Dirección de Estudios de COCHILCO con información del Banco Central de Chile.

Sin embargo, esta situación podría estar cambiando, como se puede observar en el gráfico, puesto que al comienzo del período un cátodo ER consumía un 23% más de energía que un cátodo EO, en cambio el año 2007 esta diferencia se ha reducido a un 15%.

ANEXO I

FAENAS MINERAS INCLUIDAS EN EL ESTUDIO

- 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 Zaldivar
- 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
 - Planta Salado
 - Planta Matta
 - Planta Vallenar
 - Planta Ovalle
 - Minera Las Cenizas S.A. (Planta Taltal y Planta Cabildo)
- Sociedad Contractual Minera Atacama Kozan
- Minera Cerro Dominador S.A.
 - Planta Santa Margarita
- Minera Valle Central

Este trabajo fue elaborado por:

**Sara Inés Pimentel Hunt
con la colaboración de
Pedro Santic Contreras**

SEPTIEMBRE 2008