

**Comisión Chilena del Cobre  
Dirección de Estudios**

**COEFICIENTES UNITARIOS DE CONSUMO DE ENERGIA  
DE LA MINERIA DEL COBRE. 1995 – 2006  
DE/07/2007**

Registro de Propiedad Intelectual  
© N° 166882

## INDICE

<b>GLOSARIO</b>		<b>1</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO</b>		<b>2</b>
<b>1. ANTECEDENTES GENERALES</b>		<b>6</b>
<b>2. METODOLOGIA</b>		<b>7</b>
<b>3. CALCULO DE COEFICIENTES UNITARIOS POR AREAS</b>		<b>7</b>
3.1. Flujo de Tratamiento de Materiales Totales	7	
3.2 Coeficientes Unitarios de Consumo	9	
3.2.1 Area Mina a Rajo Abierto	9	
3.2.2 Area Mina Subterránea	10	
3.2.3 Area Concentradora	11	
3.2.4 Area Fundición	12	
3.2.5 Area Refinación Electrolítica	13	
3.2.6 Area de Tratamiento de Minerales Lixiviables	14	
3.2.7 Area Servicios	15	
<b>4 RESULTADOS OBTENIDOS</b>		<b>16</b>
4.1 Coeficientes Unitarios de Consumo de Energía por Area	17	
4.2 Consumos Totales y Unitarios de Energía	18	
4.3 Consumo de Energía por Areas de Producción	20	
4.3.1 Consumo de Combustibles por Area de Producción	21	
4.3.2 Consumo de Energía Eléctrica por Area de Producción	22	
4.3.3 Consumo Final de Productos Energéticos	23	
4.4 Reflexiones Finales	24	
<b>Anexo I – Faenas Mineras incluidas en el Estudio</b>		<b>26</b>

## 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**

### **INTRODUCCION**

Este documento constituye una actualización, al año 2006, del estudio publicado por la Comisión Chilena del Cobre en diciembre 2005 denominado “Coeficientes Unitarios de Consumo de Energía de la Minería del Cobre. 1995-2004”. En la presente actualización se analiza la evolución de los consumos energéticos, combustibles y energía eléctrica, del sector minería del cobre cubriendo el período 1995 – 2006.

Este trabajo cumple varios objetivos. El primero de ellos es contar con información actualizada, que permita visualizar la forma cómo 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 trabajo<sup>1</sup>.

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.

Además, la información recopilada es la base sobre la cual se actualizará el estudio “Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en la Minería del Cobre de Chile”, publicado en marzo 2007. En este mismo ámbito, el estudio constituye un aporte para la actualización del Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Chile que incluye la Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático, que el país debe entregar en el año 2009 a la Secretaría del Convenio.

### **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.

La 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 98% de la producción de cobre de Chile del año 2006, 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.

---

<sup>1</sup> ANEXO N° 1 Faenas Mineras incluidas en el Estudio.

Los Coeficientes Globales respectivos se determinaron en base a los poderes caloríficos específicos superiores<sup>2</sup> 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.

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 UNITARIOS Y TOTALES DE ENERGIA**

En el período bajo análisis, los coeficientes unitarios de consumo de energía total no presentan mayores variaciones, resultando en un valor promedio de 18.772 MJ/TMF.

Sin embargo, el análisis por tipo de energía muestra que los coeficientes unitarios globales de consumo de combustibles tienen una tendencia decreciente sistemática, reduciéndose en el período en un 30,9%. En el caso de la energía eléctrica, el comportamiento es en el sentido opuesto, aumentando en el período en un 12,3%.

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. Además, se calculó un Coeficiente Unitario Global promedio para la minería del cobre en el período.

Los resultados obtenidos muestran que el consumo de energía total del sector minería del cobre creció entre los años 1995 y 2006 en un 92%. Cabe destacar que, en el mismo período, la producción de cobre fino del país aumentó en un 115,4%. El consumo de energía como combustibles aumentó en el período de 12 años en un 48,8%, mientras que el consumo de energía eléctrica se incrementó en un 141,8%.

Los resultados anteriores se explican básicamente por cambios en la cartera de productos comerciales y cambios tecnológicos.

Con relación al primer factor, se debe señalar que el importante aumento de consumo de energía eléctrica obedece a que la producción de cátodos electroobtenidos (EO), producto refinado que involucra procesos altamente consumidores de energía eléctrica, creció en más de 3 veces en el período de 12 años (1995-2006).

Entre los principales cambios tecnológicos se debe destacar la detención de los hornos reverbero y su reemplazo por hornos de fusión autógena, con la consiguiente reducción en el consumo de combustibles, a la que, además, ha contribuido la tendencia creciente a utilizar equipamientos de gran tamaño, los que también son menos consumidores de combustibles. Por otra parte, también contribuye a explicar el aumento de consumo de energía eléctrica, en desmedro del consumo de combustibles (energía directa), la instalación de sistemas de captación y manejo de gases, plantas de ácido sulfúrico,

---

<sup>2</sup> Balance Nacional de Energía 1979 – 1998 Chile. Comisión Nacional de Energía.

plantas de oxígeno, hornos eléctricos para el tratamiento de escorias y secado mecánico de concentrados (filtros), procesos todos que son consumidores de energía eléctrica.

## **2. CONSUMOS POR AREAS DE PRODUCCION**

Al analizar la participación en el consumo total de energía de cada una de las áreas definidas del proceso de producción<sup>3</sup> se observa que el área más consumidora de energía es la explotación minera (30%), seguida por la concentradora (28%). Es importante destacar que, mientras la explotación minera consume un 84% 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 (1995-2006), los consumos de energía como combustibles en la mina y como energía eléctrica en la concentradora se incrementaron en alrededor de 130%.

Un hecho destacable es que, en el período considerado, el área de fundición disminuyó su participación relativa en el consumo total de energía del sector desde un 31,2% a un 13,4%, no obstante que la producción del área se incrementó en un 21%. 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 tratamiento de minerales lixiviables aumentó de un 10% a un 21,9%.

En el ámbito del consumo de energía como combustibles, la explotación minera, que inicialmente consumía alrededor del 40% de los combustibles, fue incrementando su participación hasta alcanzar el 61% en el año 2006. 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 49,4% en 1995 a un 46,7% en el año 2006.

Otro hecho relevante es el importante aumento de participación en el consumo del área de tratamiento de minerales lixiviables, de un 16,5% en 1995 a un 28,9% en el 2006. 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).

Un análisis interesante es 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 de los últimos 5 años, y un volumen

---

<sup>3</sup> Mina rajo y subterránea, Concentradora, Fundición, Refinería Electrolítica, Tratamiento de Minerales Lixiviables y Servicios a la producción.

promedio agregado de producción de 916.000 TM de cátodos EO, se obtiene un coeficiente unitario de 20.393 Megajoule/TMF para dicho tipo de cátodos. En el caso de los cátodos ER, el volumen de producción promedio agregado fue de 1.116.000 TM, y el coeficiente unitario resultante es 25.154 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.

Como resultado de los cambios ocurridos en la minería del cobre se observa que los patrones de consumo de energía del sector también cambiaron fuertemente en el período de 12 años. En 1995 un 53,6% del total de la energía consumida por el sector correspondía a combustibles, mientras que en el año 2006 la energía eléctrica daba cuenta de un 58,5% del consumo total. En el resto de los sectores nacionales usuarios de energía la situación es inversa, ya que en el año 2006, a nivel país, sólo un 18,8% de la energía utilizada correspondió a energía eléctrica, mientras que el 81,2% provino de una variada gama de combustibles<sup>4</sup>.

Los principales combustibles consumidos directamente por la minería del cobre en el año 2006 son: petróleo Diesel (76,6%), Enap 6 (11,1%) y Gas Natural (10,1%), 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 10,1% entre los años 2004 y 2006, mientras que el petróleo Diesel la sube de un 69,1% a un 76,6%. El principal consumo de gas natural corresponde a las fundiciones de concentrados de cobre.

La participación promedio de la minería del cobre en el consumo total final de energía del país en el período de 12 años (1995-2006) fue de un 9,7%, mientras que la participación promedio del sector en el PIB, a precios corrientes de cada año, fue de 8,02%<sup>5</sup> en el mismo período. Por tipo de energía, las empresas del sector consumieron en el año 2006 un 31,2% del total de la energía eléctrica consumida por el país y sólo un 5,1% del total de combustibles.

---

<sup>4</sup> Balance Nacional de Energía 2006 Chile. Comisión Nacional de Energía.

<sup>5</sup> Cálculo de la Dirección de Estudios de Cochilco con información del Banco Central de Chile.

## 1. ANTECEDENTES GENERALES

Este trabajo corresponde a una actualización para los años 2005 y 2006 de versiones anteriores de estudios realizados por la Comisión Chilena del Cobre, los que pueden ser consultados en nuestra página web.<sup>6 7 8</sup>.

En el presente estudio se analiza la evolución de los consumos energéticos, combustibles y energía eléctrica del sector minería del cobre cubriendo un período de 12 años comprendido entre 1995 y el 2006.

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.

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.

La información recopilada permitirá también actualizar el estudio sobre emisiones de gases de efecto invernadero en la minería del cobre de Chile, que fuera publicado por Cochilco en marzo de 2007, donde se determinan las emisiones globales de gases de efecto invernadero del sector minería del cobre en Chile, así como las emisiones unitarias de GEI para los productos comerciales del sector. En este mismo ámbito, el estudio constituye un aporte para la elaboración de la Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático, que Chile debe entregar próximamente a la Secretaría del Convenio.

La información global generada se comparte con la Comisión Nacional de Energía, organismo que ha desarrollado Indicadores de Eficiencia Energética agregados y sectoriales, para evaluar el uso de los recursos energéticos desde el punto de vista de su eficiencia, de manera de estimar el potencial de ahorro de energía. Para evaluar la evolución de la eficiencia energética se debe contar con información actualizada periódicamente, que sirva de respaldo para la elaboración de las correspondientes políticas públicas.

Finalmente, el trabajo busca también poner a disposición de la comunidad internacional un conjunto de información que supla las deficiencias y carencias que existen en materia de consumo energético en la industria primaria del cobre. La insuficiencia de información disponible sobre la materia quedó relevada en un informe que se preparó en el contexto del proyecto "Mining, Minerals and Sustainable Development (MMSD)".<sup>9</sup>

---

<sup>6</sup> "Consumos de Energía en la Minería del Cobre 1990 – 1998", Comisión Chilena del Cobre.

[http://www.cochilco.cl/desarrollo/fr\\_estudios.html](http://www.cochilco.cl/desarrollo/fr_estudios.html)

<sup>7</sup> AMPL – Uso Eficiente de Energía. Consejo Minero.

<http://www.consejominero.cl/biblioteca/biblioteca.asp>

<sup>8</sup> 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](http://www.cochilco.cl/productos/fr_mercado.html)

<sup>9</sup> "Energy and Sustainable Development in the Mining and Minerals Industries", K.R. Róbago, A.B. Lovins & T.E. Feiler. Rocky Mountain Institute, Colorado, USA., enero 2001



## **2. METODOLOGIA**

En este estudio se aplica la misma metodología utilizada en los estudios anteriores, donde se conceptualizó de manera simplificada el proceso de obtención del cobre, definiendo las diversas áreas que generan flujos de materiales característicos, cuyo volumen va decreciendo a medida que avanza el grado de refinación del producto.

Las áreas definidas fueron las siguientes: mina, rajo y subterránea; concentradora; fundición; refinera electrolítica; tratamiento de minerales lixiviables, que incluye lixiviación, extracción por solventes y electroobtención; y servicios.

La información recopilada corresponde a los consumos de energía y flujos de materiales de 34 faenas de la minería del cobre (ver detalle en Anexo I), que en el año 2006 representa el 98% de la producción total de cobre fino del país.

Para cada una de las operaciones mineras y para cada una de las áreas se calculó el Coeficiente Unitario Específico de consumo de cada uno de los combustibles (Kg, m<sup>3</sup> o TM por tonelada métrica de cobre fino producido) y luego un Coeficiente Unitario Global de consumo de combustibles (Megajoule por tonelada métrica de cobre fino producido), en base a los poderes caloríficos específicos<sup>10</sup> de cada uno de ellos. En el caso de la energía eléctrica, se calculó el Coeficiente Unitario Específico correspondiente (KWh y Megajoule por tonelada métrica de fino producido).

Los valores unitarios de cada una de las faenas mineras se ponderaron en base a la producción respectiva, para obtener un valor promedio sectorial representativo de cada una de las áreas de producción del cobre.

Con los valores unitarios obtenidos para cada año y para cada área se estimaron los consumos totales de energía (combustibles y energía eléctrica), del sector minería del cobre, en base a los antecedentes disponibles en COCHILCO respecto de producción de cobre en cada una de las áreas del proceso.

Es importante destacar que los valores de los Coeficientes Unitarios para el período 1995 – 2000 del estudio del Consejo Minero no son comparables con los de este estudio, porque el trabajo del Consejo Minero cubre un universo más restringido de operaciones mineras, esto es, sólo las empresas afiliadas a esa asociación gremial.

## **3. CALCULO DE COEFICIENTES UNITARIOS POR AREAS**

### **3.1. Flujo de Tratamiento de Materiales Totales**

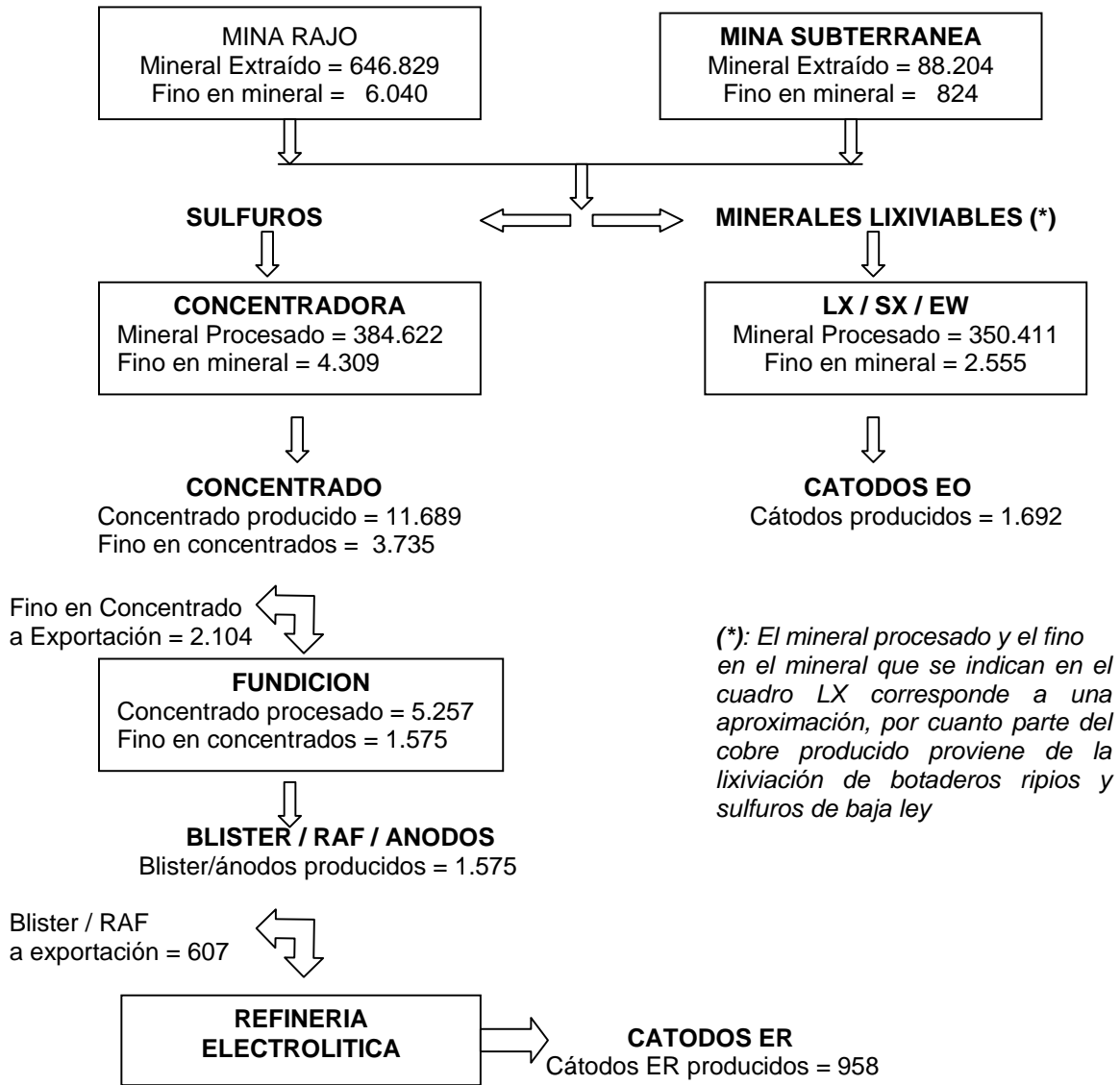
En base a la información entregada por las faenas mineras respecto de mineral extraído, razón lastre / mineral, tipo de mineral procesado, tipo de faena minera, tipos y volúmenes de productos, leyes de mineral, etc., se generó el flujo de materiales principales para cada año considerado en el estudio.

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 2006. Las cifras consideran las variaciones de stocks y las recuperaciones características de cada una de las áreas.

---

<sup>10</sup> Balance Nacional de Energía 1979 – 1998 Chile, Anexo A. Comisión Nacional de Energía.

**FIGURA N° 1**  
**FLUJO DE MATERIALES AL AÑO 2006**  
(cifras en miles de toneladas métricas)



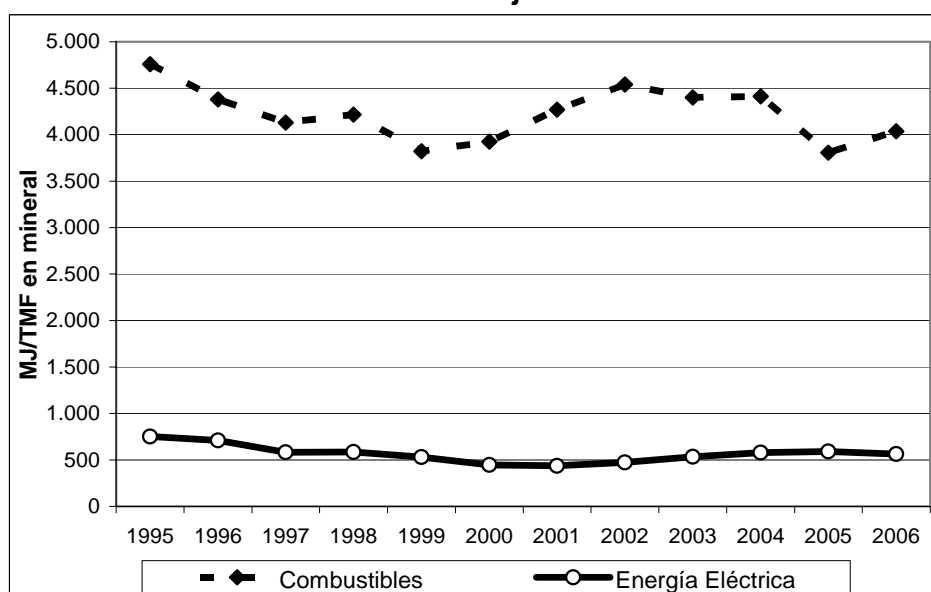
Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre

### 3.2 Coeficientes Unitarios de Consumo

#### 3.2.1 Area Mina a Rajo Abierto (88% producción total mina en el año 2006)

En el siguiente Gráfico N° 1 se muestra la evolución de los Coeficientes Unitarios Globales promedio ponderado de las minas a rajo abierto que informaron consumo de combustibles y energía eléctrica en el período.

**GRAFICO N° 1**  
**Coeficientes Unitarios de Consumo de Combustibles y Energía Eléctrica**  
**Area Mina a Rajo Abierto**



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

**MJ:** Megajoule

**TMF:** toneladas métricas de fino

Como se puede observar en el gráfico, los coeficientes unitarios de consumo de combustibles de las minas a rajo abierto son entre 6 y 10 veces superiores a aquellos de consumo de energía eléctrica. 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 coeficientes unitarios de consumo de combustibles medidos respecto del fino contenido en el mineral extraído muestran una tendencia decreciente hacia la mitad del período (1999-2000) y luego comienzan a incrementarse nuevamente, experimentando en los 12 años una reducción promedio en torno al 15%.

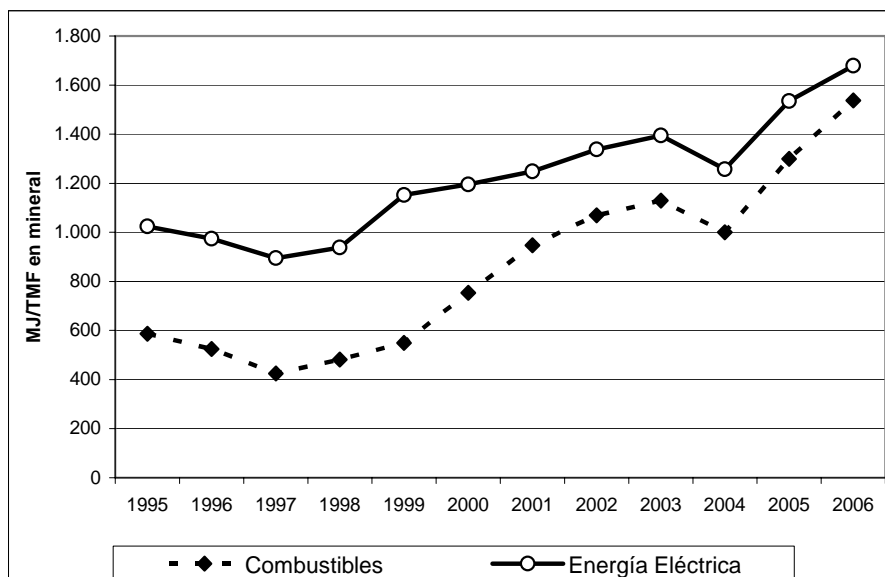
Por su parte, los coeficientes unitarios de consumo de energía eléctrica muestran una tendencia decreciente, que en promedio alcanza a cerca de 25% en el período considerado.

La producción proveniente de mina rajo, medida como fino contenido en el mineral, aumentó en el período de 12 años, en alrededor de 165 %.

### 3.2.2 Area Mina Subterránea (12% producción total mina del año 2006)

Los Coeficientes Unitarios Globales de consumo de combustibles y energía eléctrica se calcularon por unidad de cobre fino en el mineral extraído, y la evolución de los valores promedio ponderados para el período son los que se muestran en el siguiente gráfico.

**GRAFICO N° 2**  
**Coeficientes Unitarios de Consumo de Combustibles y Energía Eléctrica**  
**Area Mina Subterránea**



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

Como se puede observar, los valores unitarios de consumo de combustibles en las minas subterráneas son muy inferiores a aquellos de las minas a rajo abierto y también inferiores a los consumos unitarios de energía eléctrica. Lo anterior se debe a que las minas rajo deben mover grandes volúmenes de lastre y material estéril para ser depositados en botaderos, con los consiguientes consumos de petróleo diesel en los medios transporte utilizados.

En el período, los coeficientes unitarios de consumo de combustibles calculados respecto del fino contenido en el mineral extraído muestran una tendencia creciente de alrededor del 162%.

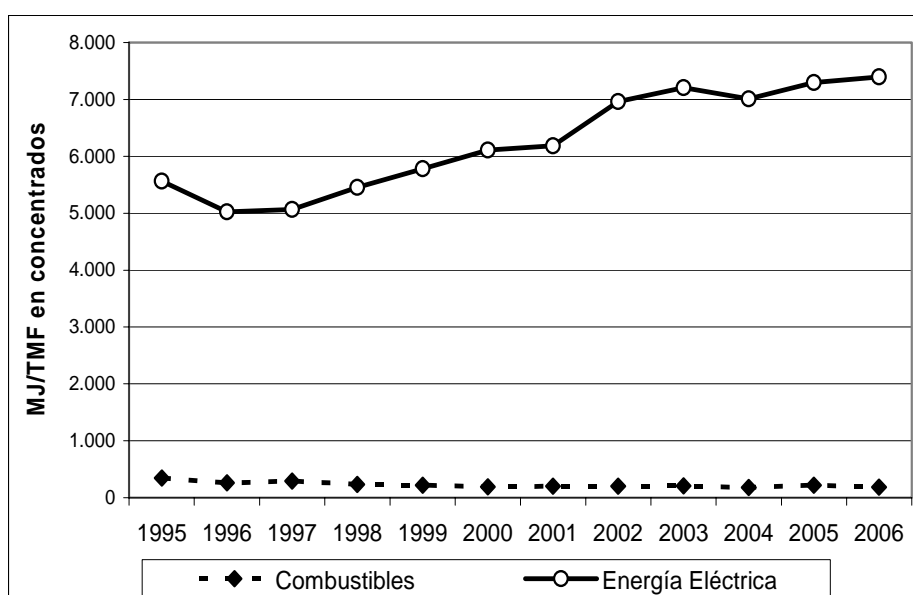
A la inversa que en el consumo de combustibles, los coeficientes unitarios de consumo de energía eléctrica de la minería subterránea, expresados por unidad de cobre fino en el mineral, más que duplican aquellos de la minería a rajo abierto. Lo anterior se debe fundamentalmente a que la minería subterránea requiere de uso intensivo de aire comprimido y servicios de ventilación. En general, su evolución promedio en el período muestra una tendencia creciente del orden de 64%.

Entre 1995 y el 2006 la producción proveniente de minas subterráneas, medida como fino contenido en el mineral, se incrementó a mediados del período, para luego comenzar a disminuir por el cierre de algunas minas. En promedio, el aumento fue de sólo un 8%.

### 3.2.3. Area Concentradora

Los Coeficientes Unitarios Globales se calcularon por unidad de cobre fino contenido en los concentrados producidos en la concentradora. El consumo de combustibles en la concentradora representa sólo el 2,4% del total de la energía consumida en esta etapa de la producción de cobre.

**GRAFICO N° 3**  
**Coeficientes Unitarios de Consumo de Combustibles y Energía Eléctrica**  
**Area Concentradora**



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

Es importante destacar que 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 y otros subproductos.

Los valores unitarios de consumo de combustibles por unidad de cobre fino contenido en los concentrados producidos en la concentradora, que son muy bajos en comparación con aquellos de energía eléctrica, muestran una tendencia decreciente (46%) en el período. Esto se debe a que, en la década de los 90 se produjo un cambio tecnológico en la mayoría de las plantas concentradoras, reemplazándose los secadores rotatorios (secado térmico), que permiten llevar los concentrados a una humedad final de 8 – 10%, por filtros de alta eficiencia, que utilizan energía eléctrica en su operación.

Como se puede observar en el Gráfico N° 3, 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 y molienda del mineral. En promedio, los valores muestran una tendencia creciente en el período que alcanza a un 33%. Esto revela la importancia de que las compañías mineras realicen estudios de mejoramiento de la eficiencia de uso de la energía en los procesos de chancado, molienda y flotación.

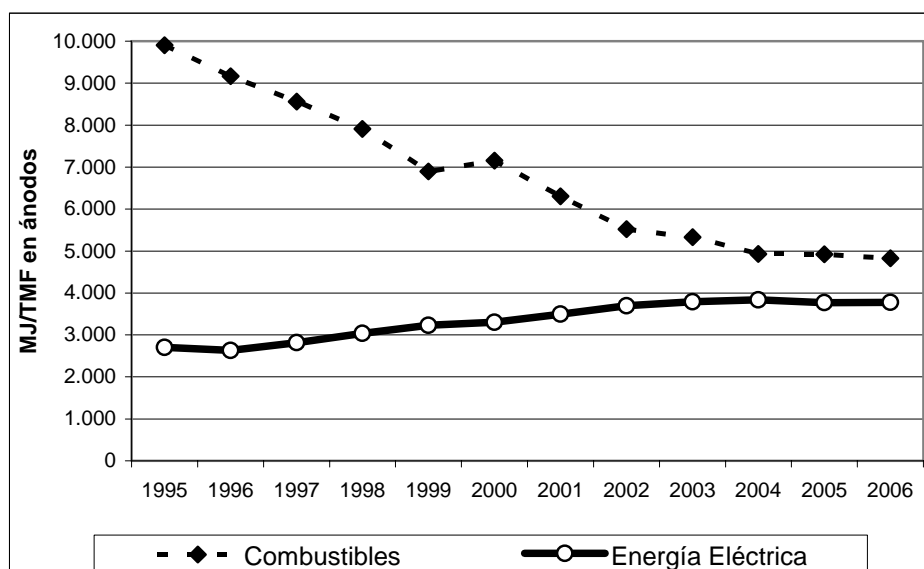
### 3.2.4. Area Fundición

Hasta el año 2000 los coeficientes unitarios son un promedio ponderado de los consumos reportados por 6 fundiciones<sup>11</sup>, mientras que los últimos 6 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 ácido sulfúrico y oxígeno 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 dichas plantas para dar cumplimiento a la normativa ambiental.

En el área de fundición, los Coeficientes Unitarios Globales de consumo de combustibles y energía eléctrica se calcularon por unidad de cobre fino en el blister / ánodo producido.

**GRAFICO N° 4**  
**Coeficientes Unitarios de Consumo de Combustibles y Energía Eléctrica**  
**Area Fundición**



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

Como se puede observar en el gráfico anterior, el área de fundición tiene consumos unitarios de combustibles bastante altos, los que han disminuido significativamente en el tiempo (51%, producto de los cambios tecnológicos (detención de los hornos reverbero y utilización de equipos de fusión autógenos) que las fundiciones han debido implementar para dar cumplimiento a las normas ambientales de calidad del aire.

Cabe hacer notar que los consumos unitarios de los últimos años corresponden a la operación de las fundiciones habiendo alcanzado ya los coeficientes de la tecnología en uso, luego de finalizados los planes de descontaminación, por lo que se espera que a futuro se mantengan relativamente estables.

<sup>11</sup> No se contaba con información para la Fundición Chagres, faena que en ese período pertenecía a EXXON.

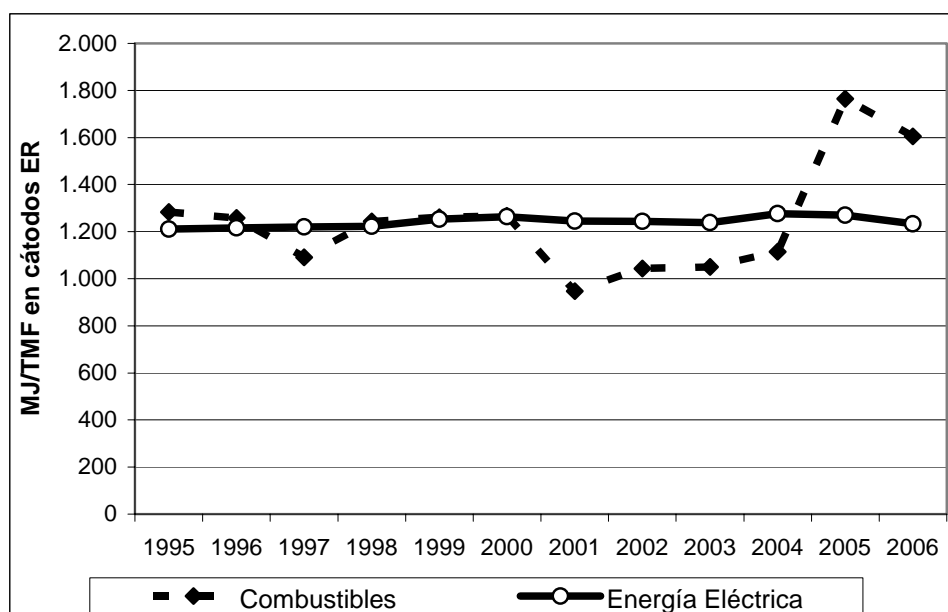
Por su parte, los consumos de energía eléctrica en la fundición son crecientes en el tiempo (40%), debido, por una parte, a la introducción de tecnologías intensivas en el uso de oxígeno (Horno Flash, Convertidor Teniente y Noranda), que han implicado la instalación de plantas de oxígeno, que son grandes consumidoras de energía eléctrica. Por otra, la implementación de la 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 pirometalúrgico de las escorias.

En el período, la producción de cobre de fundición, expresada como fino contenido en los productos, experimenta un crecimiento relativamente pequeño en comparación con el resto de las áreas, esto es 21%.

### 3.2.5. Area Refinación Electrolítica

El área de refinación electrolítica tiene consumos de combustibles y energía eléctrica por unidad de cátodos electrefinados (ER) producidos bastante similares, los que se muestran en el siguiente gráfico.

**GRAFICO N° 5**  
**Coeficientes Unitarios de Consumo de Combustibles y Energía Eléctrica**  
**Area 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 en el período del estudio muestran algunas fluctuaciones, que en los 2 últimos años se explican por cambios en la imputación de los consumos entre la fundición y la refinería de Potrerillos.

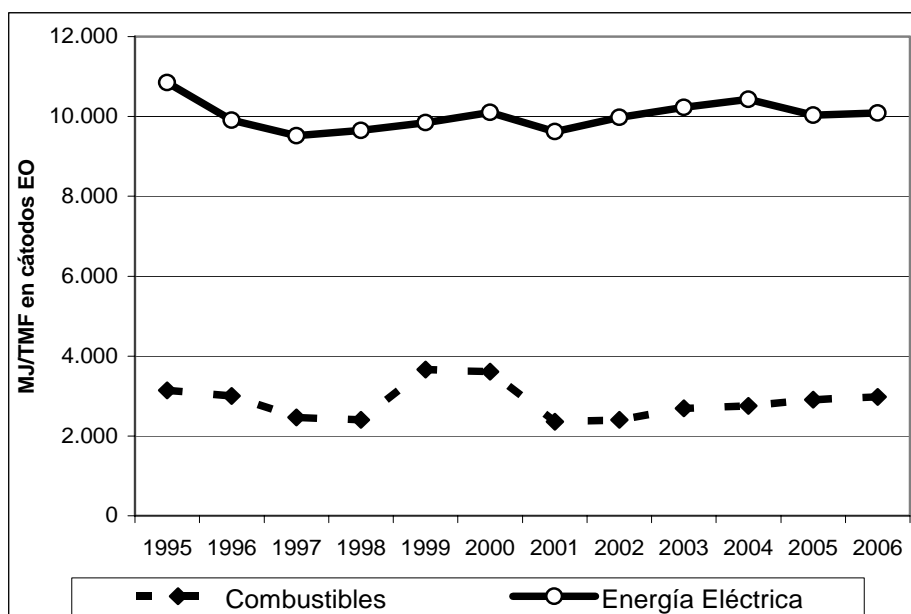
En cuanto a los consumos de energía eléctrica, los valores de los coeficientes unitarios se mantienen en general bastante estables en el tiempo, incrementándose ligeramente en alrededor de 2%. Lo anterior demuestra que en el período no se han producido mayores cambios en las refinерías electrolíticas que operan en el país, todas las cuales usan tecnología convencional y las diferencias entre ellas se deben a las distintas densidades de corriente que utilizan y el tamaño de los cátodos que producen.

La producción de cátodos ER se mantiene bastante estable en el período de 12 años, reduciéndose en promedio en un 1%.

### 3.2.6. Área de Tratamiento de Minerales Lixiviables

El consumo de combustibles de la explotación de las minas que producen minerales lixiviables se contabilizó 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.

**GRAFICO N° 6**  
**Coeficientes Unitarios de Consumo de Combustibles y Energía Eléctrica**  
**Area Tratamiento de Minerales Lixiviables**



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

En el área de 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. Los consumos unitarios de combustibles calculados por unidad de cobre fino en cátodos EO muestran fluctuaciones en el período, resultando en promedio una reducción de 5% en los 12 años.

Los consumos unitarios de energía eléctrica, que son entre 3 y 4 veces superiores a los de combustibles, también experimentan algunas fluctuaciones en el tiempo, con una tendencia ligeramente decreciente (7%). En esta área de producción del cobre la energía



eléctrica se utiliza para la preparación y acondicionamiento del mineral (curado y aglomerado), formación y descarga de pilas, manejo y circulación de soluciones y en el proceso de electrodeposición.

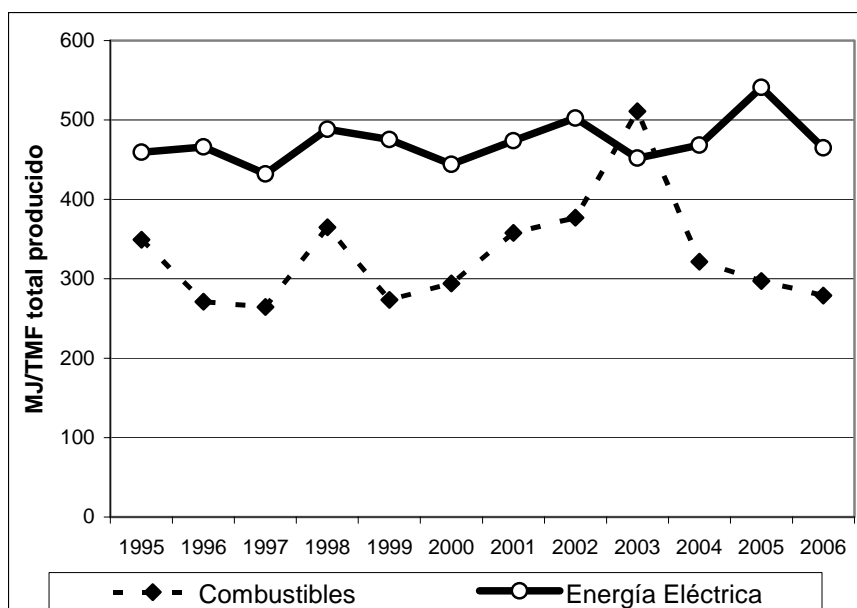
Como resultado del desarrollo de grandes proyectos de lixiviación en el período, la producción de cátodos EO ha experimentado un crecimiento del 354% entre 1995 y el año 2006.

### 3.2.7. Área Servicios

En esta área se consideran los consumos de energía asociados a servicios a la producción, esto es talleres industriales, equipos de servicios, distribución de agua y servicios generales, entre otros, además de los consumos de los campamentos, cuando corresponde.

Los coeficientes unitarios se calculan respecto del total del cobre producido, independiente del producto final.

**GRAFICO N° 7**  
**Coeficientes Unitarios de Consumo de Combustibles y Energía Eléctrica**  
**Area Servicios**



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

Los valores unitarios de consumo de combustibles experimentan fluctuaciones en el período, mostrando una tendencia promedio decreciente de 20%.

Por su parte, los coeficientes unitarios de consumo de energía eléctrica en servicios son muy estables y prácticamente no experimentan variaciones.

## **4 RESULTADOS OBTENIDOS**

### **4.1 Coeficientes Unitarios de Consumo de Energía por Area**

Los resultados globales obtenidos para las diferentes áreas del proceso de obtención del cobre, en cuanto a consumos unitarios de energía, se muestran en las siguientes tablas.

**Tabla N° 1**  
**COEFICIENTES UNITARIOS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLES POR AREAS**

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
<b>Mina Rajo</b> (MJ / TMF en mineral)	4.757,0	4.379,1	4.128,8	4.213,8	3.821,1	3.925,7	4.269,7	4.540,7	4.399,8	4.411,6	3.805,3	4.035,5
<b>Mina Subterránea</b> (MJ / TMF en mineral)	587,1	524,7	424,8	481,9	549,9	753,3	947,0	1.069,7	1.129,0	1.000,6	1.299,2	1.537,2
<b>Concentradora</b> (MJ / TMF en concentrado)	341,9	259,4	291,2	230,5	217,6	191,6	200,4	200,4	204,4	182,6	215,8	185,4
<b>Fundición</b> (MJ / TMF en ánodos)	9.900,8	9.165,9	8.556,6	7.909,8	6.894,6	7.156,9	6.305,8	5.519,0	5.328,5	4.926,6	4.924,7	4.822,7
<b>Refinería</b> (MJ / TMF en cátodos ER)	1.283,2	1.257,9	1.090,9	1.243,8	1.260,2	1.267,9	947,7	1.042,9	1.050,1	1.114,7	1.764,7	1.604,6
<b>LX / SX / EW</b> (MJ / TMF en cátodos EO)	3.139,9	2.998,1	2.469,2	2.406,7	3.662,1	3.612,1	2.360,3	2.401,9	2.694,5	2.756,5	2.912,2	2.976,7
<b>Servicios</b> (MJ / TMF total producido)	349,1	270,9	264,6	364,9	273,5	294,1	357,7	377,0	510,8	321,4	297,1	278,7

**Tabla N° 2**  
**COEFICIENTES UNITARIOS DE CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA POR AREAS**

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
<b>Mina Rajo</b> (MJ / TMF en mineral)	750,0	710,3	581,2	585,8	530,0	446,7	436,6	471,9	532,2	578,1	589,7	564,5
<b>Mina Subterránea</b> (MJ / TMF en mineral)	1.023,5	973,7	895,4	938,3	1.152,2	1.195,2	1.248,3	1.337,3	1.394,5	1.257,9	1.535,1	1.678,7
<b>Concentradora</b> (MJ / TMF en concentrado)	5.564,1	5.023,9	5.067,3	5.452,3	5.780,2	6.110,2	6.183,7	6.961,5	7.207,9	7.009,4	7.293,5	7.397,6
<b>Fundición</b> (MJ / TMF en ánodos)	2.706,4	2.631,3	2.817,4	3.036,3	3.227,7	3.303,6	3.494,1	3.694,0	3.792,0	3.836,2	3.771,7	3.778,7
<b>Refinería</b> (MJ / TMF en cátodos ER)	1.210,7	1.215,8	1.219,9	1.223,0	1.252,5	1.263,3	1.245,4	1.243,4	1.238,1	1.276,8	1.269,9	1.233,4
<b>LX / SX / EW</b> (MJ / TMF en cátodos EO)	10.849,1	9.904,7	9.520,2	9.650,1	9.844,1	10.101,0	9.621,7	9.976,7	10.255,6	10.428,6	10.033,2	10.089,3
<b>Servicios</b> (MJ / TMF total producido)	459,5	466,0	432,1	488,4	475,3	444,3	474,0	502,2	451,9	468,4	541,0	464,7

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

## 4.2 Consumos Totales y Unitarios de Energía

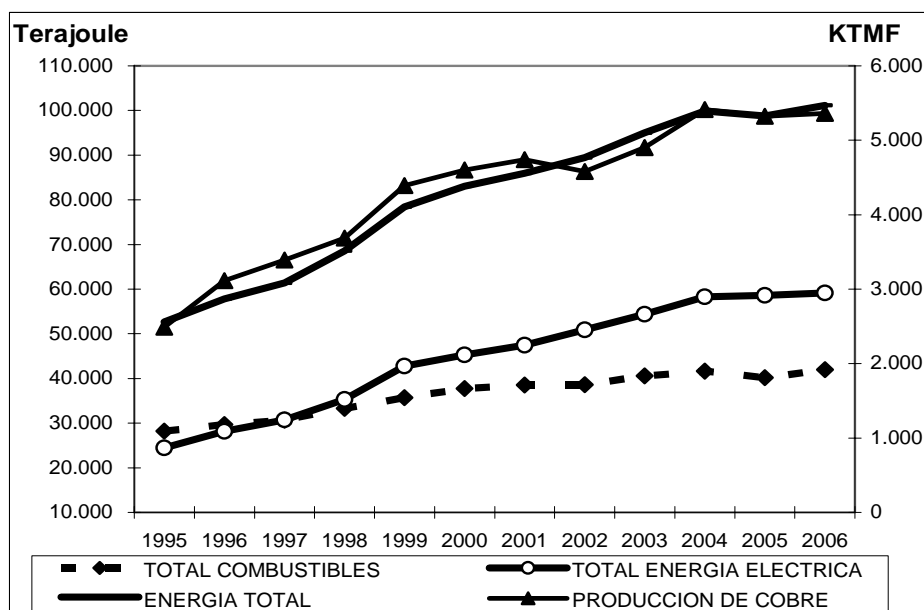
En base a estos coeficientes unitarios globales de consumo de combustibles y energía eléctrica determinados para cada área del proceso de obtención del cobre y las producciones intermedias estimadas en cada área, según los antecedentes disponibles en COCHILCO, se realizó una estimación de los consumos de energía para el total del sector minero del cobre, incluyendo la producción de subproductos, tales como molibdeno y metales preciosos. Además, se calculó un Coeficiente Unitario Global promedio para la minería del cobre de Chile.

**Tabla N° 3**  
**CONSUMOS ESTIMADOS DE ENERGIA DE LA MINERIA DEL COBRE**  
**1995 – 2006**

AÑO	Combustibles (Terajoule)	E. Eléctrica (Terajoule)	TOTAL (Terajoule)	Producción Cobre (KTMF)
1995	28.221	24.445	52.666	2.488,6
1996	29.701	28.145	57.845	3.115,8
1997	30.645	30.732	61.378	3.392,0
1998	33.291	35.298	68.589	3.686,9
1999	35.721	42.739	78.460	4.391,2
2000	37.732	45.303	83.035	4.602,0
2001	38.552	47.437	85.989	4.739,0
2002	38.584	50.883	89.466	4.580,6
2003	40.591	54.389	94.981	4.904,2
2004	41.631	58.250	99.881	5.412,5
2005	40.164	58.612	98.777	5.320,5
2006	41.998	59.120	101.117	5.360,8

Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre

**Gráfico N° 8**



Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre

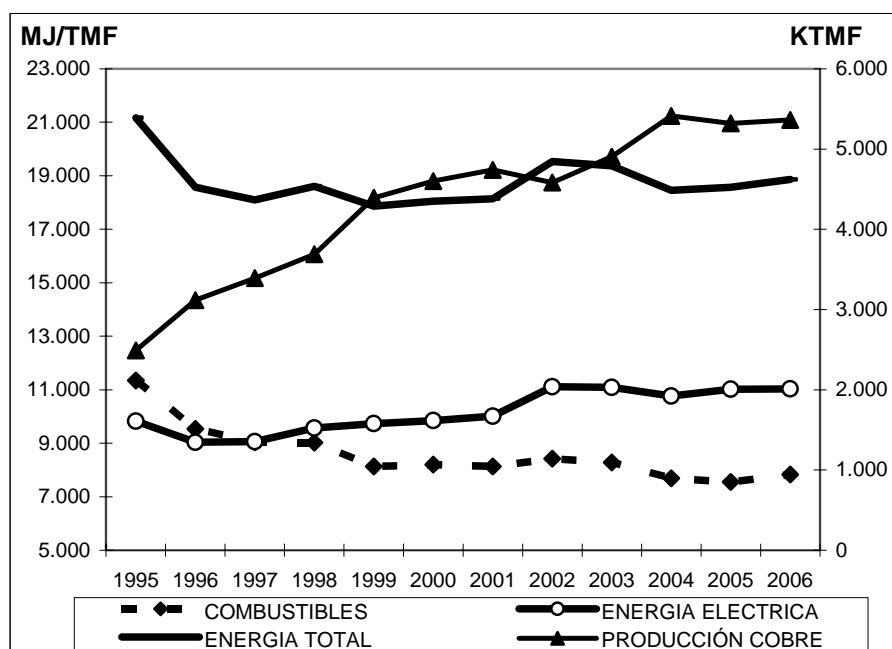
Como se puede observar en el gráfico anterior, el consumo de energía total del sector minería del cobre en Chile creció entre los años 1995 y 2006 en un 92%. Cabe destacar que, en el mismo período, la producción de cobre fino del país se incrementó en un 115,4 %. El consumo de energía como combustibles aumentó en la década en un 48,8%, mientras que el consumo de energía eléctrica se incrementó en un 141,8%.

**Tabla N° 4**  
**CONSUMOS UNITARIOS DE ENERGIA DE LA MINERIA DEL COBRE**  
**1995 – 2006**

AÑO	Combustibles (Megajoule/TMF)	E. Eléctrica (Megajoule/TMF)	TOTAL (Megajoule/TMF)	Producción Cobre (KTMF)
1995	11.340,0	9.822,9	21.162,9	2.488,6
1996	9.532,3	9.032,9	18.565,2	3.115,8
1997	9.034,5	9.060,3	18.094,8	3.392,0
1998	9.029,5	9.573,8	18.603,3	3.686,9
1999	8.134,8	9.732,9	17.867,7	4.391,2
2000	8.198,9	9.844,2	18.043,1	4.602,0
2001	8.135,0	10.010,0	18.145,0	4.739,0
2002	8.423,2	11.108,2	19.531,4	4.580,6
2003	8.276,9	11.090,4	19.367,3	4.904,2
2004	7.691,5	10.762,1	18.453,6	5.412,6
2005	7.549,0	11.016,2	18.565,2	5.320,5
2006	7.834,2	11.028,2	18.862,4	5.360,8

Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre

**Gráfico N° 9**



Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre

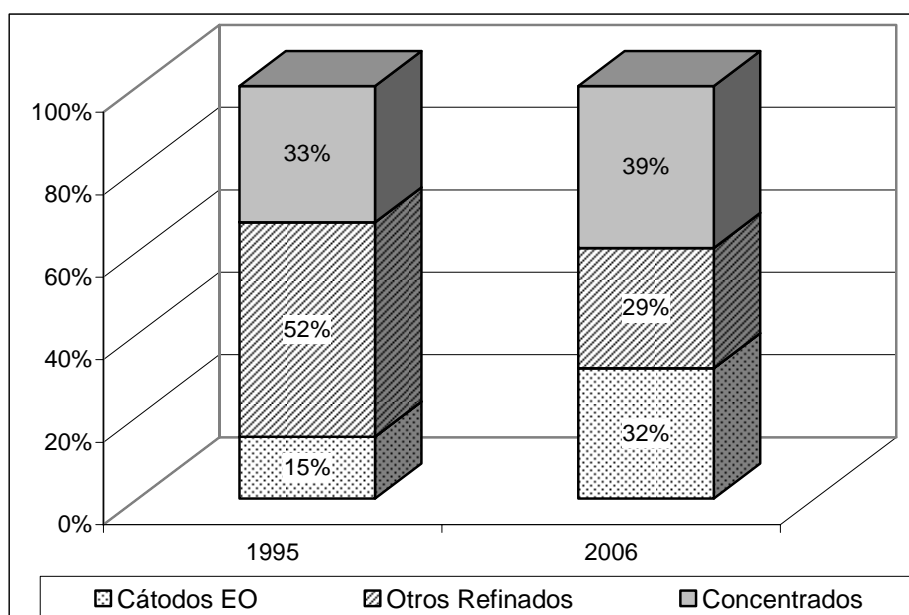
Los coeficientes unitarios globales de consumo de combustibles muestran una tendencia decreciente sistemática, reduciéndose en el período en un 30,9%. En el caso de la energía eléctrica, el comportamiento es en el sentido opuesto, aumentando en el período en un 12,3%.

La suma de los comportamientos individuales de los coeficientes unitarios de consumo de combustibles y energía eléctrica resulta en una curva relativamente estable, cuyo valor promedio es de 18.772 MJ/TMF.

Los resultados anteriores se explican básicamente por cambios en la cartera de producción de cobre y cambios tecnológicos. Entre los años 1995 y 2006 la producción de cátodos EO aumentó en un 354%, mientras que la producción de cobre proveniente de minerales sulfurados lo hizo sólo en un 73,4%, incrementándose en un 156% la cantidad de concentrados comercializados como tal.

Entre los principales cambios tecnológicos está la detención de los hornos reverbero, la instalación de sistemas de captación y manejo de gases, las plantas de ácido sulfúrico, las plantas de oxígeno, el secado mecánico de concentrados, y la tendencia creciente a utilizar equipamientos de gran tamaño. Adicionalmente, en el período se inicia la puesta en marcha de proyectos que utilizan la lixiviación para el tratamiento de sulfuros secundarios.

**Gráfico N° 10**  
**COMPOSICION CARTERA DE PRODUCTOS COMERCIALES**

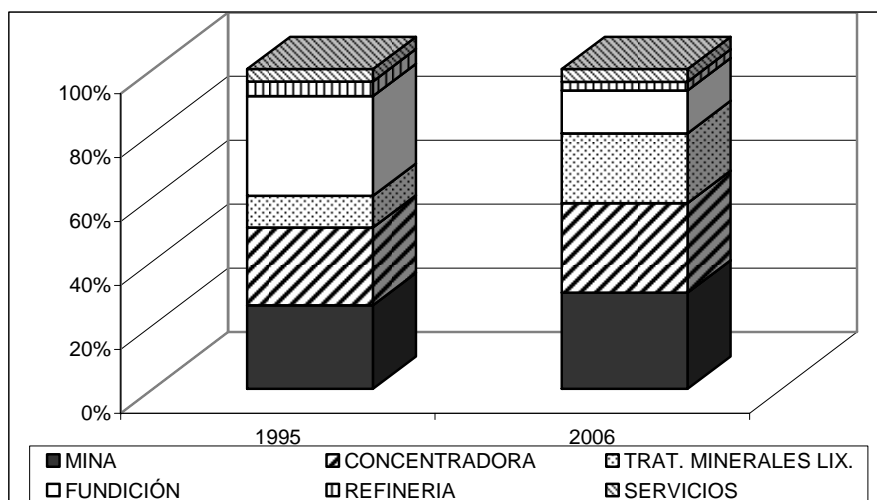


Fuente: Comisión Chilena del Cobre

#### 4.3 Consumo de Energía por Areas de Producción

Como resultado del cambio en la cartera de productos finales señalado más arriba y de los cambios tecnológicos, algunos de los cuales han sido inducidos por medidas ambientales, se han producido cambios en los consumos relativos de energía de cada una de las áreas del proceso de producción del cobre.

**Gráfico N° 11  
CONSUMO TOTAL DE ENERGIA POR AREA**



**Fuente:** Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre

Las cuatro áreas del proceso de producción del cobre en Chile que consumen más del 93% del total de la energía consumida por el sector son: la explotación minera, la concentración de minerales sulfurados de cobre, el tratamiento de minerales lixiviables y la fundición de concentrados, incluidas las plantas de ácido sulfúrico.

El hecho más relevante es que entre el año 1995 y 2006 el área de fundición ha disminuido su participación relativa en el consumo total de energía del sector desde un 31,2% a un 13,4%, mientras que el tratamiento de minerales lixiviables aumentó de un 9,9% a un 21,9%.

El área de refinería electrolítica, que tiene una baja participación en el consumo total de energía de la minería del cobre, disminuye de un 4,6% en 1995 a un 2,7% en el 2006, producto de la reducción de la participación de los cátodos ER en la canasta de productos comercializables.

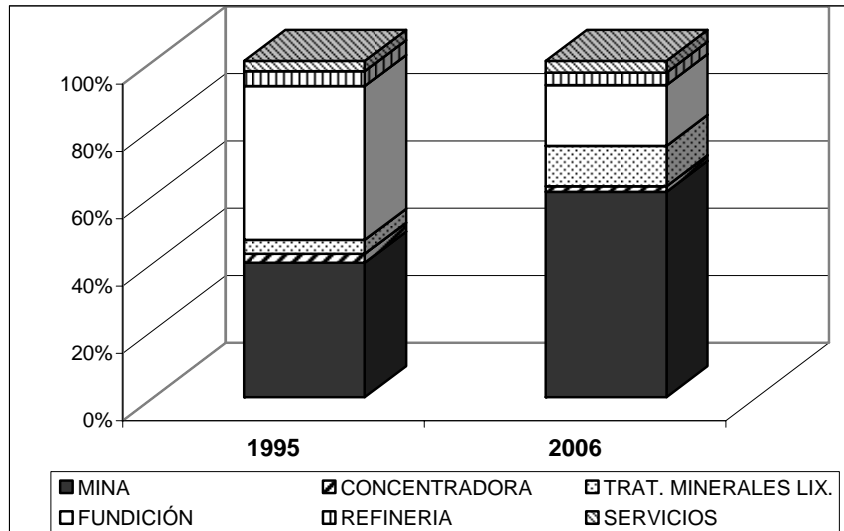
El área de servicios mantiene una participación relativamente estable en torno al 4% durante todo el período.

#### **4.3.1 Consumo de Combustibles por Área de Producción**

En el año 1995 el área de fundición de concentrados consumía el 45,7% del total de los combustibles consumidos por la minería del cobre, sin embargo, su participación fue disminuyendo a través de los años debido a los cambios tecnológicos que experimentaron las fundiciones, y en el año 2006 consumió sólo el 18,1% del total de combustibles.

Por su parte, la explotación minera, que inicialmente consumía alrededor del 40% de los combustibles, fue incrementando su participación hasta alcanzar el 61,1% en el año 2006. 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 en camiones.

**Gráfico N° 12**  
**CONSUMO DE COMBUSTIBLES POR AREAS**

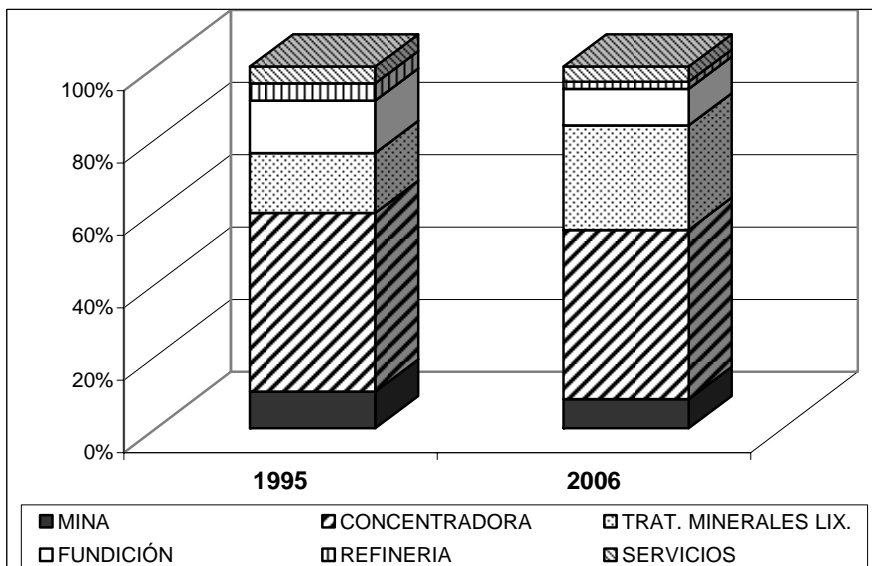


**Fuente:** Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre

El tratamiento de minerales lixiviables también aumenta su participación en el consumo de combustibles de la minería del cobre de un 4,1% a un 12%.

#### 4.3.2 Consumo de Energía Eléctrica por Áreas de Producción

**Gráfico N° 13**  
**CONSUMO DE ENERGÍA ELECTRICA POR AREAS**



**Fuente:** Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre

Al analizar en el período 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 49,4% en 1995 a un 46,7% en el año 2006.

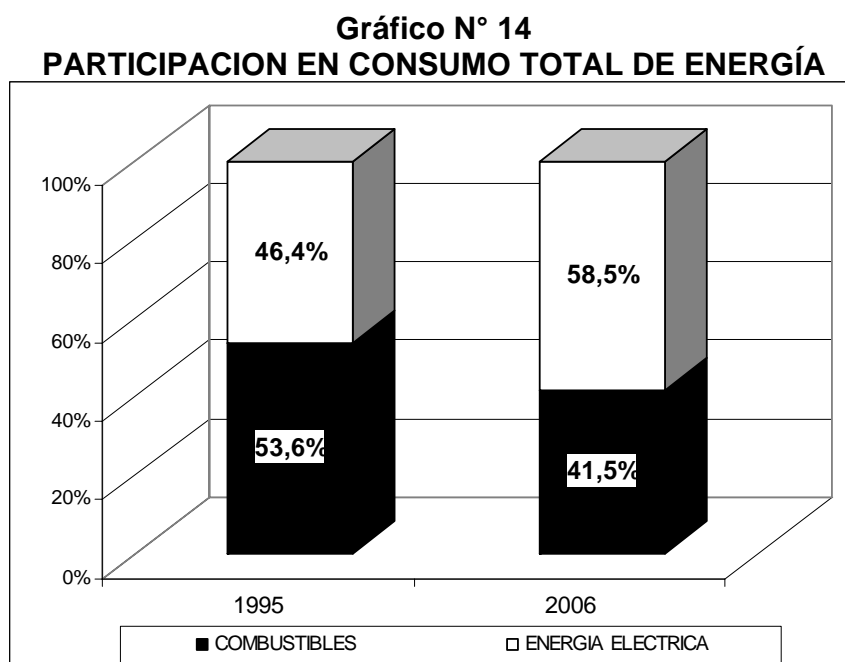
Otro hecho relevante es el importante aumento de participación en el consumo del área de tratamiento de minerales lixiviables, de un 16,5% en 1995 a un 28,9% en el año 2006. Esto se debe al fuerte incremento en la producción de cobre a partir de este tipo de minerales, y a que las distintas etapas del procesamiento son fundamentalmente consumidoras de energía eléctrica (bombeo de soluciones en la etapa de lixiviación y extracción por solvente, y la electrodeposición).

La fundición de concentrados, no obstante la instalación de sistemas de captación y manejo de gases, plantas de oxígeno y plantas de ácido, que son consumidores de energía eléctrica, disminuye su participación desde un 14,4% a un 10,1%.

La refinera electrolítica, aunque también es fundamentalmente consumidora de energía eléctrica, disminuye su participación de un 4,8% a un 2,0%.

### 4.3.3 Consumo Final de Productos Energéticos

Los patrones de consumo de energía de la minería del cobre también cambiaron fuertemente en el período de 12 años. En 1995 un 53,6% del total de la energía consumida por el sector correspondía a combustibles, mientras que en el año 2006 la energía eléctrica daba cuenta de un 58,5% del consumo total.



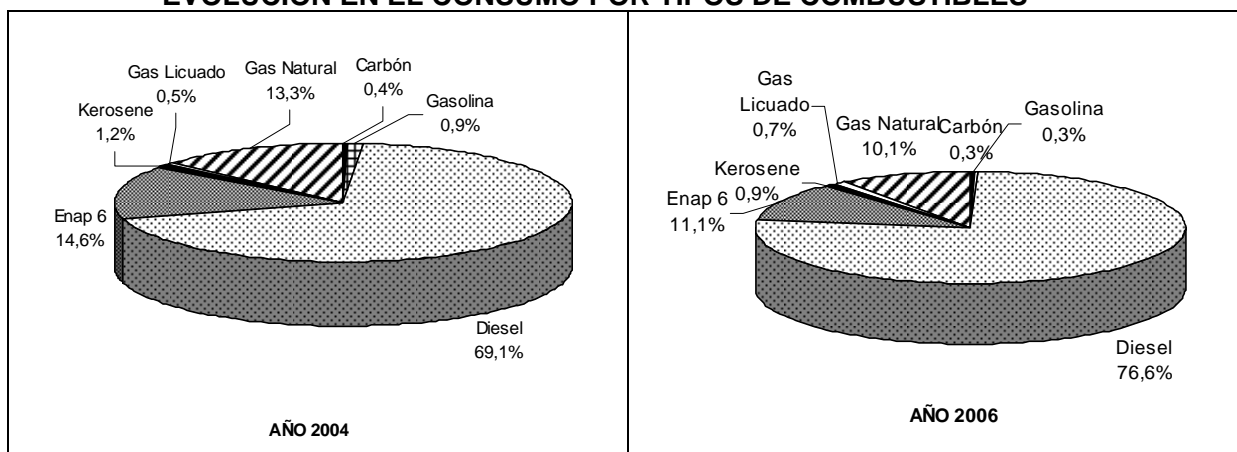
**Fuente:** Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre

Al analizar el consumo final de productos energéticos en el país (esto es en la forma apta para su utilización final, lo que significa que la energía eléctrica incluye hidro y termoelectricidad), del total de la energía consumida en el año 2006 un 18,8% correspondió a energía eléctrica y un 81,2% a una variada gama de combustibles. En cambio, el consumo de la minería del cobre es significativamente más intensivo en el uso

de la energía eléctrica que el promedio nacional, con un 58,5% del consumo en energía eléctrica y un 41,5% en combustibles en el año 2006.

La participación en el consumo de los distintos combustibles utilizados por la minería del cobre es la siguiente:

**Gráfico N° 15**  
**EVOLUCION EN EL CONSUMO POR TIPOS DE COMBUSTIBLES**



**FUENTE:** Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre

Como se puede observar en los gráficos anteriores, producto de la crisis del gas natural, este combustible reduce su participación en el consumo del sector minería del cobre de un 13,3% en el 2004 a un 10,1% en el 2006, siendo reemplazado por el petróleo Diesel, el que aumenta su participación en el consumo de combustibles del sector de un 69,1% a un 76,6%.

Un análisis interesante es 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 de los últimos 5 años, y un volumen promedio agregado de producción de 916.000 TM de cátodos EO, se obtiene un coeficiente unitario de 20.393 Megajoule/TMF para dicho tipo de cátodos. En el caso de los cátodos ER, el volumen de producción promedio agregado fue de 1.116.000 TM, y el coeficiente unitario resultante es 25.154 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.

#### 4.4 Reflexiones Finales

Es importante destacar que mientras la producción de cobre fino del país aumentó en un 115,4% entre los años 1995 y 2006, el consumo de energía total del sector minería del cobre creció en un 92%. El consumo de energía como combustibles aumentó en el período de 12 años en un 48,8%, mientras que el consumo de energía eléctrica se incrementó en un 141,8%.

Las cuatro áreas del proceso de producción del cobre en Chile que consumen alrededor del 93% del total de la energía consumida por el sector son: la explotación minera (30%), la concentración de minerales sulfurados de cobre (28%), el tratamiento de minerales lixiviables (22%) y la fundición de concentrados (13,4%), incluidas las plantas de ácido sulfúrico.

El área de fundición de concentrados consumía en el año 1995 el 45,7% del total de los combustibles consumidos por la minería del cobre, sin embargo, su participación fue disminuyendo a través de los años debido a los cambios tecnológicos que experimentaron las fundiciones y en el año 2006 consumió sólo el 18,1% del total de combustibles. Por su parte, la explotación minera, que inicialmente consumía alrededor del 40% de los combustibles, fue incrementando su participación hasta alcanzar el 61% en el año 2006.

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 49,4% en 1995 a un 46,7% en el año 2006. Otro hecho relevante es el importante aumento de participación en el consumo del área de tratamiento de minerales lixiviables, de un 16,5% en 1995 a un 28,9% en el 2006.

Los coeficientes unitarios de consumo de combustibles muestran una tendencia decreciente sistemática, reduciéndose en el período en un 30,9%. En el caso de la energía eléctrica, el comportamiento es en el sentido opuesto, aumentando en el período en un 12,3%. Los coeficientes unitarios agregados de consumo de combustibles y energía eléctrica son bastante estables en el período, resultando un valor promedio es de 18.772 MJ/TMF.

Los patrones de consumo de energía de la minería del cobre cambiaron fuertemente en el período de 12 años. En 1995 un 53,6% del total de la energía consumida por el sector correspondía a combustibles, mientras que en el año 2006 la energía eléctrica daba cuenta de un 58,5% del consumo total.

La participación promedio de la minería del cobre en el consumo total final de energía del país en el período de 12 años (1995-2006) fue de un 9,7%, mientras que la participación promedio del sector en el PIB, a precios corrientes de cada año, fue de 8,02%<sup>12</sup> en el mismo período. Por tipo de energía, las empresas del sector consumieron en el año 2006 un 31,2% del total de la energía eléctrica consumida por el país y sólo un 5,1% del total de combustibles.

---

<sup>12</sup> Cálculo de la Dirección de Estudios de Cochilco con información del Banco Central de Chile.

## ANEXO I

### FAENAS MINERAS INCLUIDAS EN EL ESTUDIO

- CODELCO Chile
  - División Codelco Norte
    - Chuquicamata
    - 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 Contactual Minera El Abra
- 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
  - Planta Cabildo

**Este trabajo fue elaborado por:**

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

**Octubre 2007**