

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA INDUSTRIA
MINERA DEL COBRE, NORMATIVA Y
APLICACIONES.**

MEMORIA

Autor: Rodrigo Pallamar Casanova
Director: Dr. Rodrigo Ramirez Pisco
Convocatòria: 2011-2012



**Màster Interuniversitari UB-UPC
d'Enginyeria en Energia**



Màster Interuniversitari UB-UPC d'Enginyeria en Energia

Sol·licitud d'acceptació de presentació del Projecte Final de Màster i sol·licitud de defensa pública.

Alumne: Rodrigo Pallamar Casanova

DNI: Y2027874-R

Títol: EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA INDUSTRIA MINERA DEL
COBRE, NORMATIVA Y APLICACIONES.

Director: Dr. Rodrigo Ramirez Pisco

Acceptació de la presentació del projecte:

Confirmo l'acceptació de la presentació del Projecte Final de Màster.

Per a que consti,

RODRIGO RAMIREZ-PISCO

Cognoms, nom (director del Projecte)

Sol·licito:

La defensa pública del meu Projecte Final de Màster.

Per a que consti,

Cognoms, nom (Alumne)

Rodrigo Pallamar Casanova

0. RESUMEN

Actualmente la minería es de vital importancia para el desarrollo económico de países como Chile, siendo una actividad de intenso consumo de electricidad. Ante la problemática energética actual, es necesario tomar medidas que vayan en la dirección de mejorar la eficiencia energética, por lo que el uso de la normativa existente es fundamental. En el trabajo se entrega la información de consumos de un yacimiento minero de cobre chileno, donde se identifica que el proceso de electro-obtención concentra los mayores gastos energéticos, por lo que se plantean estrategias orientadas a mejorar la eficiencia y disminuir los costes de dicho proceso.

1. ÍNDICE

0. RESUMEN.....	2
1. ÍNDICE	3
2. OBJETIVO.....	5
3. INTRODUCCIÓN.....	6
4. PROCESOS DE PRODUCCIÓN DEL COBRE COMERCIAL	7
4.1. PROCESAMIENTO MECANICO	8
4.1.1. Extracción.....	8
4.1.1.1. Extracción a rajo abierto.....	9
4.1.1.2. Extracción subterránea	10
4.1.2. Fragmentación.....	11
4.1.3. Flotación.....	13
4.2. PIROMETALURGIA	13
4.2.1. Fundición en horno de fusión	14
4.2.2. Paso a convertidores	15
4.2.3. Afino y moldeo de ánodos.....	15
4.2.4. Electro-refinación.....	16
4.3. HIDROMETALURGIA O SX-EW.....	17
4.3.1. Lixiviación o disolución	17
4.3.2. Extracción por solvente (SX).....	18
4.3.3. Electrólisis o Electro-obtención (EW)	20
5. SITUACIÓN DE LA MINERÍA DEL COBRE EN CHILE.....	21
5.1. PROCESOS Y OBTENCIÓN DE PRODUCTOS COMERCIALES DE COBRE.....	23
5.1.1. Procesos hasta la obtención de cátodo electro-refinado (ER).....	24
5.1.2. Proceso hasta la obtención de cátodo electro-obtenido (SxEw).....	24
5.2. SITUACIÓN DE LA DEMANDA DE COBRE	24
5.3. DEMANDA ENERGÉTICA DE LA MINERÍA DEL COBRE	26
5.4. PROYECCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO.....	29
5.4.1. Consumo eléctrico proyectado por tipo de operación mineras	30
5.5. CONSUMO DE ENERGÍA COMO COMBUSTIBLES Y MATRIZ ENERGÉTICA NACIONAL	32
5.6. EMISIONES GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI) DE LA MINERIA DEL COBRE.....	33
5.7. COEFICIENTES UNITARIOS POR PROCESO	36
6. ESTUDIO DE LA NORMATIVA Y APLICACIÓN EN EL SECTOR MINERO.....	38
6.1. NORMA EN- 16001:2010	39
6.1.1. Beneficios del uso de la norma EN 16001	41
6.2. NORMA ISO 50001	42
6.2.1. Política Energética norma ISO 50001	46
6.2.2. Planificación Energética.....	47

6.3.	DIFERENCIAS ENTRE LA NORMA EN 16001 E ISO 50001	49
6.4.	COMPARACION ENTRE LA NORMA ISO 50001 E ISO 14001	51
7.	CARACTERIZACIÓN ELÉCTRICA EJEMPLO DE UNA MINA DE COBRE	54
8.	ALTERNATIVAS DE MEJORAMIENTO PROCESO DE ELECTRO-OBTENCIÓN	58
8.1.	DISEÑO DE CELDAS ELECTROLÍTICAS (EW)	59
8.1.1.	Características de las conexiones eléctricas	59
8.1.2.	Configuración de circuitos y rectificadores.....	60
8.2.	EFICIENCIA DE CORRIENTE.....	60
8.3.	MEJORAMIENTO DE EFICIENCIA A TRAVÉS DE LAS BUENAS CONDICIONES DE USO DE LAS INSTALACIONES	61
8.4.	EFFECTOS DEL DISEÑO Y MATERIALES DE CELDAS ELECTROLÍTICAS.....	62
8.5.	EFFECTOS DEL DISEÑO DEL PROCESO	63
8.6.	EFFECTOS DE LA MATERIALIDAD DE LOS ELEMENTOS DEL PROCESO	63
8.7.	EFFECTOS DE LA EFICIENCIA EN EL COSTO DE PRODUCCIÓN.....	63
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
10.	REFERENCIAS.....	68
	ANEXO I:.....	70

2. OBJETIVO

Realizar un estudio que permita determinar metodologías que puedan ser aplicables en el sector minero del cobre en Chile, en búsqueda de mejorar su eficiencia energética y sustentabilidad.

Objetivos Secundarios:

- Conocer los principales parámetros de la minería del cobre en Chile y sus consumos.
- Estudiar a fondo los procesos mineros característicos desde el punto de vista de su eficiencia energética.
- Estudiar la normativa actual relacionada con la eficiencia y gestión energética.
- Proponer modificaciones y recomendaciones que lleven a la mejor utilización de la energía y/o a su mejor pago.

3. INTRODUCCIÓN

La energía se está posicionando como un elemento clave en toda actividad. En la minería, se ha transformado en un insumo estratégico y de vital importancia para los procesos industriales y actividades auxiliares, siendo responsable de los mayores costos de las empresas.

La minería del cobre es uno de los sectores económicos con mayor demanda de energía eléctrica en Chile, por lo que una producción responsable, así como su uso de manera eficiente, es hoy por hoy una de las mayores preocupaciones de las organizaciones, debido a las proyecciones de un aumento progresivo en el consumo de energía eléctrica para los próximos años.

En atención a la importancia con que se está viendo el tema energético, es que se realizó este trabajo. En el capítulo 3 se explica en forma general los diferentes procesos de producción de cobre, con sus etapas intermedias y los distintos productos comerciales, considerando los elementos más representativos que permiten conocer qué variables influyen en el consumo eléctrico.

En el capítulo 4 se presenta un estado del arte de la energía eléctrica en Chile, y la importancia que tiene la industria minera en el consumo total. Además se muestra un detalle de consumo por proceso y una proyección de éste en la próxima década.

En el capítulo 5 se presenta la normativa existente, en especial la norma ISO 50001 y la relación con otros sistemas ya existentes, con la importancia que ella pueda tener a través de un sistema de gestión en los procesos industriales, mejorando la eficiencia de los procesos.

En el capítulo 6 se toma como ejemplo una mina de cobre donde se identifican los diferentes consumos eléctricos, mostrando qué tan importante es el proceso de electro-obtención en esta minera.

Finalmente se identifican en el capítulo 7 algunos aspectos que permiten disminuir el consumo eléctrico del proceso de electro-obtención, considerando elementos de materialidad y uso y diseño de las celdas, en función de mejorar la eficiencia eléctrica que, sumada a la normativa, permitirán bajar el consumo.

4. PROCESOS DE PRODUCCIÓN DEL COBRE COMERCIAL

El proceso completo de la producción del cobre es una actividad de intenso consumo de energía, siendo este mineral el que demanda el mayor consumo energético del país. Ante esto, la proyección de la demanda eléctrica en la minería será una variable fundamental en la planificación de una posible expansión de la generación y del sistema de transmisión, por lo que en la actualidad se encuentran en estudio nuevas formas de satisfacer la demanda.

Durante el proceso de la producción de cobre de alta pureza (cerca del 99.9999%), se registran varias etapas que requieren de un consumo eléctrico importante. Desde su extracción del yacimiento minero hasta el cátodo final, se identifican distintas etapas que se muestran en el diagrama de la figura 1, donde es posible observar algunos de los equipos involucrados en cada proceso, siendo el consumo de energía de cada mina dependiente del producto final obtenido.

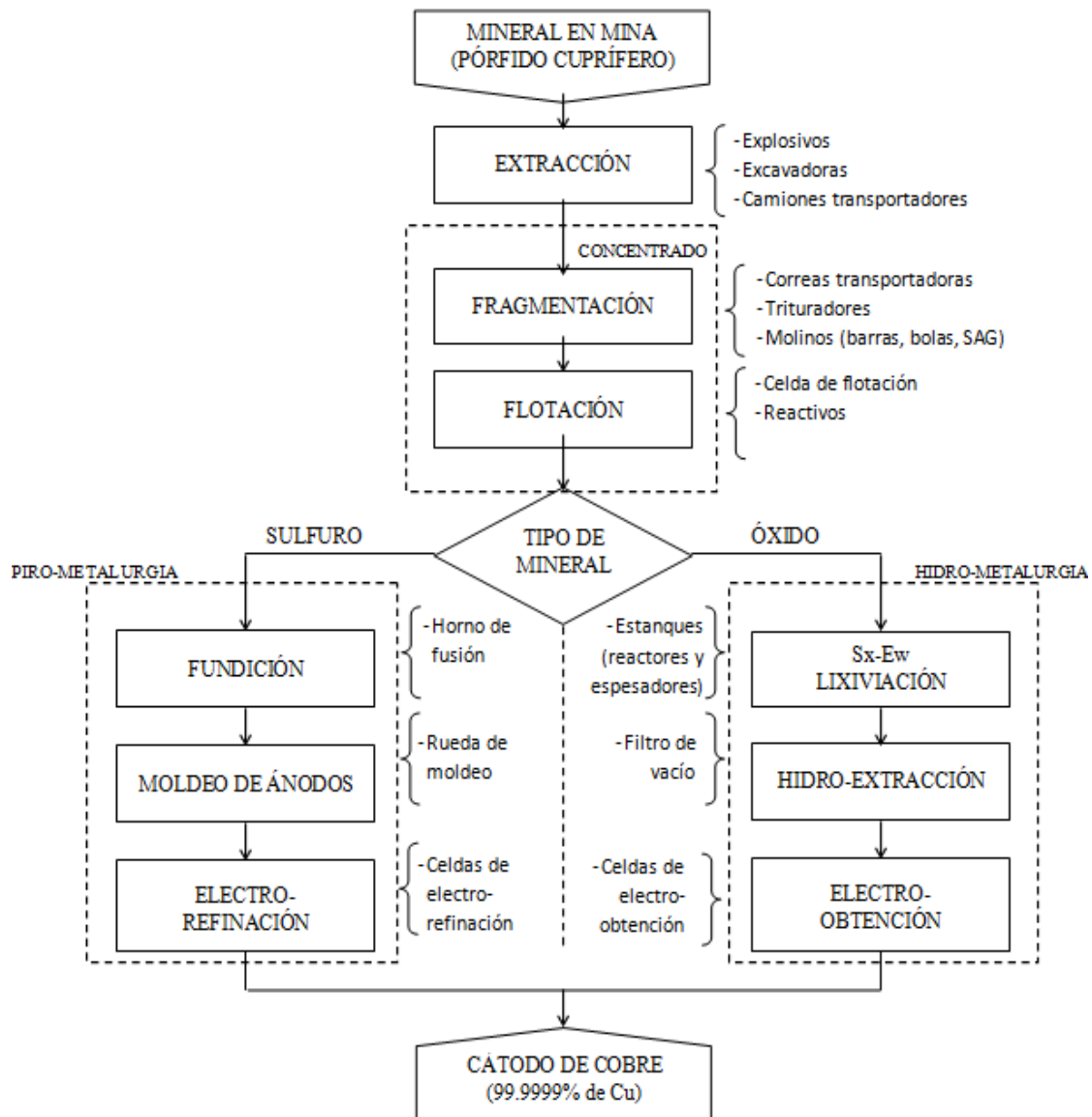


Figura 1: Etapa de la producción de cobre de alta pureza.

A continuación se irán describiendo los diferentes procesos de elaboración del cobre.

4.1.PROCESAMIENTO MECANICO

El mineral que se encuentra en la naturaleza debe ser extraído, lo cual se puede realizar a través de minas subterráneas o a rajo abierto. Una vez realizada la extracción del material, éste se fragmenta para luego pasar a la etapa de procesamiento metalúrgico. Las etapas de procesamiento mecánico se detallan a continuación:

4.1.1. Extracción

Es importante que en la operación de este proceso intervengan en forma coordinada varios equipos de trabajo, cuyas acciones apunten a lograr una alta eficiencia y seguridad en la faena. Entre las disciplinas que intervienen se encuentran: geología, planificación, operaciones, mantención, administración y asesores de seguridad, medio ambiente y calidad.

Se deben realizar estudios de ingeniería que determinen la relación óptima entre la capacidad de extracción y beneficio de mineral, siendo expresada en miles de toneladas de cobre fino a producir en un año. Es necesario definir la mejor secuencia para extraer el mineral y se compatibilizan las características de la operación con los resultados económicos esperados para un largo período.

Los yacimientos mineros pueden extraer el material superficialmente, denominados de extracción a rajo abierto, o en forma subterránea. La forma de extraer el material y el método a utilizar depende principalmente del estudio económico y del acceso físico a la zona donde se encuentra la mayor concentración de cobre.

En principio, una explotación subterránea es más costosa que una a rajo abierto. Sin embargo, la inversión inicial dependerá del material estéril que deberá ser removido antes de llegar a la zona mineralizada.

La porción mineralizada con cobre que se encuentra en el yacimiento, en conjunto con otros elementos desde el macizo rocoso de la mina, es extraída para luego enviarla a la planta, donde será sometida al proceso de obtención del cobre y de otros minerales. Para que el proceso se lleve a cabo, la roca debe fragmentarse, de manera que pueda ser removida de su posición original, siendo transportada y cargada para su proceso o depósito fuera de la mina como material suelto a una granulometría manejable.

En general la extracción del material se realiza siguiendo las siguientes fases:

- Perforación.
- Tronadura.
- Carguío.
- Transporte.

El producto principal de este proceso es la entrega de mineral para ser procesado en la planta.

4.1.1.1. Extracción a rajo abierto

Los yacimientos a rajo abierto se utilizan generalmente cuando presentan una forma regular y se encuentran ubicados en la superficie o cerca de ésta, para que el material estéril que lo cubre pueda ser retirado a un coste menor, siendo absorbido por la explotación de la porción mineralizada. En esta extracción se utilizan equipos y maquinarias de grandes dimensiones, ya que cuentan con un mayor espacio. Entre los inconvenientes se puede mencionar que generalmente estas minas se encuentran limitadas por el clima, puesto que habitualmente son minas ubicadas en la alta cordillera. En figura 2 se muestra un ejemplo de una mina a rajo abierto.



Figura 2: Foto de mina a rajo abierto. Chuquicamata.

En esta extracción el rajo se va construyendo a través de avances sucesivos, lateralmente y en profundidad. Mientras se comienza a profundizar en la mina, se irá ensanchando, siempre manteniendo la estabilidad de sus paredes. De esta manera se genera un inmenso anfiteatro escalonado, que cuenta con caminos inclinados para el tránsito de los equipos, siendo la estabilidad de los taludes de la mina un elemento crítico para la seguridad de la operación.

En esta extracción podemos distinguir las siguientes fases:

Perforación: Se hacen perforaciones que deben mantener distancias regulares entre sí para introducir los explosivos que permitan fragmentar la roca. En esta etapa se ocupan grandes equipos eléctricos de perforación rotatoria.

Tronadura: Luego de la perforación se introduce explosivo, generalmente con detonante de encendido eléctrico. La roca mineralizada fragmentada obtenida de tamaño menor a 1 metro de diámetro, puede ser cargada y transportada por los equipos mineros y así alimentar al chancador primario, en donde se realiza el proceso de reducción de tamaño de la roca para que pueda llegar a la planta de tratamiento.

Carguío: A través de gigantescas palas eléctricas o cargadores frontales, el material es cargado en camiones de gran tonelaje, por medio de un proceso continuo donde las palas cuentan con capacidades cercanas a las 100 toneladas.

Transporte: Una vez cargado, el material mineralizado y el material estéril se transporta a través de camiones de gran tonelaje (cerca de 300 toneladas). El mineral con ley es transportado al chancador primario. La ley de una mina de cobre se define como el porcentaje de cobre que encierra una determinada muestra, por ejemplo si se habla de una ley del 1% significa que en cada 100 kilogramos de roca mineralizada hay 1 kilogramo de cobre puro.

4.1.1.2. Extracción subterránea

Esta extracción se realiza cuando el yacimiento presenta una cubierta de material estéril de gran espesor, por lo que su extracción desde la superficie resulta poco rentable, lo que generalmente pasa cuando el cobre se encuentra dentro de un cerro.

En este tipo de extracción se construyen labores subterráneas en la roca desde la superficie para acceder a las zonas mineralizadas. Estas se ubican en diferentes niveles permitiendo fragmentar, cargar y transportar el mineral desde el interior de la mina hasta la planta, la que se encuentra situada en la superficie.

Mediante explosivos que se insertan en las perforaciones de la roca, se van generando túneles y piques subterráneos, según sea la forma que se quiera dar a la labor subterránea. Una vez que se haya realizado la tronadura, se comienza a extraer el material fragmentado y se estabilizan las paredes y el techo del túnel.



Figura 3: Foto de mina de mina subterránea. Chuquicamata.

En una mina subterránea existen diferentes áreas establecidas para lograr la extracción de mineral. El área de producción, considera los niveles de transporte, producción, hundimiento y ventilación, piques de traspaso y carguío de mineral. En el área de servicios e infraestructura, se encuentran los talleres de mantención, piques de transporte de personal, accesos principales, redes de agua y electricidad, drenajes, redes de incendios, oficinas, comedores, baños, policlínicos, bodegas, etc.

En la mina subterránea se extrae el mineral desde abajo hacia arriba, a diferencia de la mina a rajo abierto, maximizando el uso de la gravedad para producir la fragmentación y el desplazamiento del mineral en dirección a los puntos de carguío. Otra diferencia que existe, es que en la mina subterránea no se extrae generalmente roca estéril, ya que la explotación se concentra preferentemente en las zonas de mineral, minimizando los altos costes que implica la construcción de túneles.

Entre los métodos de extracción subterránea, el más utilizado es el hundimiento por bloques, el cual consiste en provocar el desprendimiento de una porción del macizo

rocoso del resto de la masa que lo rodea, por medio de explosivos que van socavando la base de una columna de roca mineralizada.

4.1.2. Fragmentación

Luego de obtener los trozos de material de menos de un metro de diámetro del proceso de extracción, se traslada a un nuevo proceso que tiene como función fragmentar el material reduciéndolo en pequeñas partículas, para que se pueda realizar el proceso metalúrgico. El objetivo del proceso es permitir la liberación y concentración de las partículas de cobre que se encuentran en forma de sulfuros en las rocas mineralizadas, de manera que pueda continuar a otras etapas del proceso productivo. Dentro de las operaciones de fragmentación que existen en la minería se encuentra el chancado, el cual se realiza por fragmentación con chancadoras o trituradoras, y la molienda, que es una fragmentación por molinos. El nivel de pulverización que se obtenga va a depender del tipo de mineral de cobre. Por lo general, este proceso se realiza en grandes instalaciones que se encuentran en la superficie, lo que se denomina planta, ubicada lo más cerca posible de la mina.

Como todos los procesos de conminución, la trituración requiere de un elevado consumo energético, por lo que este proceso será importante en el impacto económico a considerar en el desarrollo de cualquier proyecto minero. En una molienda húmeda existe un gasto energético mayor que la trituración seca, por lo que los costos asociados serán mayores. Es por esto que el tamaño final de las partículas estará limitado por la operatividad en seco.

El mineral que proviene de la mina presenta una granulometría variada, que va desde partículas mayores de 1 metro de diámetro hasta fragmentos de menos de 1 mm, por lo que el proceso siguiente de Chancado será el encargado de reducir el tamaño de los fragmentos mayores con la finalidad de obtener una medida uniforme.

En el Chancado se realiza la disminución de diámetros por etapas para alcanzar el tamaño deseado. Por lo general se utiliza la combinación de tres equipos en línea que van reduciendo el tamaño de los fragmentos, dependiendo de la dureza del mineral. Estas etapas se denominan como primarias, secundarias, y terciarias.

En la etapa primaria, se reduce el tamaño de los fragmentos hasta un máximo de 8 pulgadas por medio de un chancador primario. En la etapa secundaria, el material es reducido hasta las 3 pulgadas. En la etapa terciaria, el material es reducido hasta llegar a los 1,27 mm ($\frac{1}{2}$ pulgada).

El principio de funcionamiento de los chancadores consiste en triturar la roca mediante movimientos vibratorios, para lo cual son alimentados por la parte superior y descargan el mineral chancado por su parte inferior a través de una abertura graduada, de acuerdo al diámetro requerido. El manejo del mineral en la planta es realizado mediante correas transportadoras, desde la alimentación proveniente de la mina hasta la entrega del mineral chancado a la etapa siguiente. Estos equipos están contruidos de una aleación especial de acero de alta resistencia y son equipos eléctricos de grandes dimensiones.

Otra etapa que se encuentra en la fragmentación es la Molienda, que permite reducir el tamaño de las partículas hasta obtener una granulometría máxima de 0,18 mm, con lo cual se logrará la liberación de la mayor parte de los minerales de cobre en forma de partículas individuales. Además en esta etapa, al material se le adhiere agua para

formar un fluido lechoso y los reactivos necesarios que permitirán realizar el proceso siguiente de flotación.

En este proceso se utilizan grandes equipos giratorios o molinos de forma cilíndrica, entre los cuales podemos encontrar la molienda convencional o la molienda SAG.

En la molienda convencional existen dos etapas: los molinos de barras y los molinos de bolas, en ambos molinos el mineral se mezcla con agua para lograr una molienda homogénea y eficiente, siendo la pulpa obtenida llevada a la etapa siguiente.

Los molinos de barras contienen en su interior barras de acero de 3.5 pulgadas de diámetro que serán las encargadas de realizar la molienda. En este proceso el mineral se va moliendo por la acción del movimiento de las barras que están libres y que van cayendo sobre el mineral.

En los molinos de bolas, el equipo posee en su interior bolas de acero de 3.5 pulgadas de diámetro como elementos de molienda, los cuales ocupan cerca del 35% de su volumen interno. En este proceso la molienda se realiza por caída libre de las bolas sobre el mineral.

En la molienda SAG se utilizan molinos Semi Autógenos, siendo una innovación reciente en algunas plantas, ya que permite recibir el mineral desde la trituradora primaria directamente al molino SAG. Este es un proceso más eficiente, donde la mayor parte del material va directamente a la flotación, siendo sólo una pequeña proporción la que no cumple con la granulometría por lo que es enviada a un molino de bolas.

En el interior de los molinos SAG se encuentran bolas de acero de 5 pulgadas de diámetro, lo que permite que el mineral sea reducido por la acción del mismo material mineralizado presente en partículas de variados tamaños. Es por esto que recibe el nombre de molienda semi autógena. Además ocupa la acción de las bolas de acero que son lanzadas en caída libre cuando el molino gira, permitiendo un efecto conjunto de chancado y molienda más efectivo, lo que genera una disminución del consumo de energía, ya que al utilizar este equipo no se requieren las etapas de chancado secundario ni terciario.

En figura 4 se muestra un esquema de los procesos de molienda convencional y un proceso SAG.

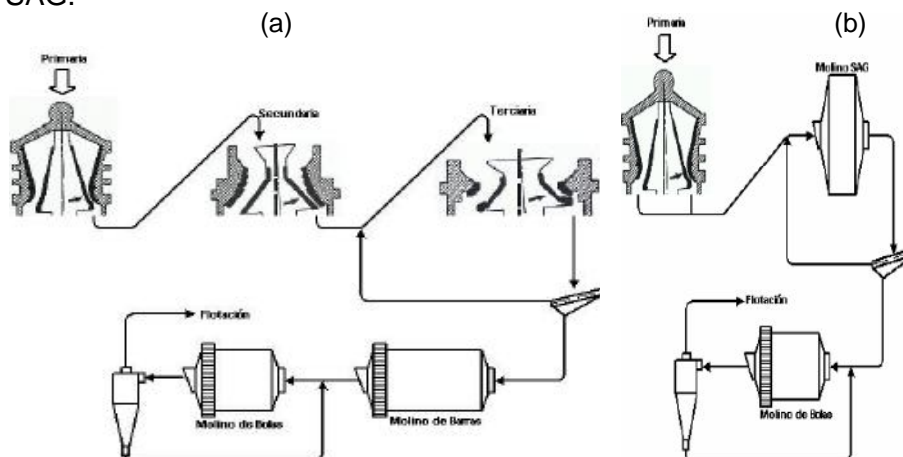


Figura 4: Esquemas de etapas de fragmentación. (a) Convencional (b) SAG

4.1.3. Flotación

El proceso de flotación tiene un componente físico-químico, que permite la separación de los minerales sulfurados de cobre, molibdeno y otros elementos, del resto de los minerales que son parte de la roca original.

El material proveniente de la molienda que contiene los diferentes reactivos para la flotación, se va introduciendo en unos receptáculos como piscinas, los que son llamados celdas de flotación. Desde el fondo de las celdas, se hace burbujear aire y se mantiene la mezcla en constante agitación para que el proceso sea intensivo.

El burbujeo permite arrastrar minerales sulfurados hacia la superficie de los estanques, en donde a través de rebases en el borde de las celdas el producto cae a canaletas que las conducen hacia estanques especiales, debido a que el cobre que es más denso tiende a depositarse en el fondo de estos estanques, por lo que puede ser extraído como concentrado de cobre, también llamado pulpa que es enviado a otra etapa del proceso.

Como el mineral extraído de cobre tiene una baja ley, se debe realizar el proceso de flotación para concentrarlo. Este proceso se irá realizando en varios ciclos, con lo que a medida que aumente el número de ciclos el producto final será más concentrado, pasando de un 1%, en el origen de la roca, hasta llegar con un concentrado cercano al 45% de cobre total. Es posible realizar un proceso especial de flotación para recuperar el molibdeno. Además el material puede contener azufre y hierro como componentes principales, oro y plata como sub-productos y plomo, arsénico y mercurio como impurezas.

Existe la posibilidad de realizar la comercialización directa de concentrado, con una ley de cobre de entre el 20% y 45%. Sin embargo, existen procesos que irán dándole un valor agregado al producto con una ley mucho mayor, por lo que el proceso del cobre puede tomar dos caminos metalúrgicos dependiendo del tipo de mineral:

- Mineral sulfuroso: Este proceso consiste en la pirometalurgia, siendo su producto final los cátodos por electro-refinación (cátodos ER).
- Mineral oxidado: Este proceso se denomina como hidrometalurgia, siendo su producto final los cátodos por electro-deposición (cátodos Sx-Ew).

4.2. PIROMETALURGIA

El objetivo principal de este proceso es pasar el material proveniente de la etapa de concentrado y someterlo a procesos de pirometalurgia, por medio de hornos a grandes temperaturas transformado el material en cobre metálico, separándose los otros minerales como fierro, sílice, azufre, etc.

Debido a que se puede trabajar con concentrados de diferentes procedencias, en el proceso existe una primera etapa de recepción y muestreo, donde se clasifica de acuerdo con la concentración de cobre, hierro, azufre, sílice y el nivel de humedad, para lo cual el concentrado proveniente de la planta se almacena en canchas, desde donde se obtienen muestras para su clasificación. Una vez identificados, el material se almacena en silos para su posterior despacho a los hornos de fundición de acuerdo a las mezclas que se determinen.

A través de correas transportadoras se extrae el concentrado desde las zonas de almacenamiento hacia el domo de mezcla, el cual es geoméricamente una semiesfera metálica cerrada que se encuentra ubicada cercana al área de secado.

El concentrado húmedo que se encuentra en el domo de mezcla es posteriormente almacenado en tolvas para luego ser ingresado a las líneas de secado de cada equipo de fusión. Éstos cuentan con secadores calefaccionados que, por medio de vapor de agua, van reduciendo el nivel de humedad a medida que va avanzado el material en un tambor metálico. En su interior generalmente circula vapor a temperatura de 180°C en un serpentín, permitiendo la transferencia de calor.

En este proceso existe un sistema de recuperación de partículas de suspensión a través de un filtro de mangas, que permite reingresar el material a las tolvas de almacenamiento. Además existe una etapa de eliminación parcial de azufre como SO₂ mediante un proceso llamado tostación, que consiste en la oxidación parcial de los sulfuros del concentrado gracias a las reacciones sólido-gaseosas a temperaturas de 500 a 800 °C.

Se requiere de un nivel de humedad, que permitirá que el concentrado sea descargado por gravedad desde los secadores, para luego sea transportado en forma neumática hasta las tolvas intermedias, donde se almacenan junto con los polvos recuperados de diferentes etapas del proceso de fusión. Cerca de las tolvas intermedias existe una tolva de almacenamiento de cuarzo fino, siendo este material requerido como fundente en la formación de escoria. El concentrado seco dosificado con el cuarzo se envía hasta los hornos de fusión.

El proceso pirometalúrgico, para lograr aumentar el nivel de pureza del cobre, llegando a un 99,5% de ley, necesita de etapas alternadas de procesos endotérmicas y exotérmicas, donde las más relevantes por su tamaño, son las que corresponde a los procesos de fusión, conversión y refinación, siendo la última las más importante por lo determinante que resultan en el proceso general.

En la fusión se concentrará el metal que se requiere recuperar, a través de una separación de fases de alta temperatura, con una sulfurada rica en el metal y otra oxidada o pobre en la misma.

La conversión tiene como objetivo eliminar el azufre y el hierro que se encuentran presentes en la fase sulfurada, por medio de oxidaciones del baño fundido, con el objetivo de lograr un cobre final relativamente puro.

4.2.1. Fundición en horno de fusión

En la fusión se logra el cambio de estado, permitiendo que el concentrado pase de estado sólido a un estado líquido, logrando que el cobre se separe de los otros elementos que componen el material, ya que cuentan con diferentes densidades. Los más livianos quedarán en la parte superior del fundido, y el cobre, por su mayor densidad, se depositará en la parte baja, vaciándolos por vías distintas.

La primera etapa industrial de la fundición que recibe el concentrado de cobre es el horno de fusión, donde se recupera el cobre, eliminando el azufre y el hierro mediante oxidación en estado fundido, a una temperatura que se encuentra cercana a los 1200°C. Una vez en el horno, el azufre, a través de la oxidación, se convierte en gas

SO₂. En cambio, el cobre y el hierro, en conjunto con el sílice, procedente de la arena que se introduce en el horno, se encuentran en estado líquido. El cobre se extrae del horno en un producto que se denomina mata de cobre, con una ley cercana al 62%. La mezcla de hierro y sílice en forma de silicato se encuentran depositadas en la parte superior del horno y se extrae en forma de escoria con una composición del 0.8% de cobre, 30% de sílice y 45% de hierro.

En general, en los procesos de fundición, la fusión puede realizarse de dos maneras con dos tipos de hornos. Una opción es realizarla con un horno de reverbero para la fusión tradicional, siendo una segunda opción la utilización del convertidor modificado Teniente (CMT) donde se realizan los procesos de fusión y la conversión en una sola operación. Actualmente el uso de los convertidores modificados Teniente es el más utilizado en las minas de las divisiones de Codelco.

4.2.2. Paso a convertidores

En el proceso de conversión se tratan los productos que se han generado en la fusión, con la finalidad de obtener cobre de alta pureza. En este proceso se utilizan hornos convertidores convencionales.

En los convertidores, a la mata de cobre producido anteriormente, se le incrementa la riqueza en cobre del producto, para lo cual se somete al material a una gran oxidación adicional en un proceso discontinuo, el cual se define como proceso batch. En este proceso se consigue un producto intermedio denominado blíster de cobre con una ley que puede llegar cerca del 99%, siendo en algunos casos un producto comercial. Adicionalmente se obtienen gases ricos en SO₂ los cuales se adicionan a los gases anteriores del horno y escorias con un contenido aproximado del 6% de cobre.

Un ejemplo de convertidores es el denominado Peirce-Smith, en honor a sus creadores, el cual consiste en un reactor cilíndrico de aproximadamente 4,5 m de diámetro por 11 m de largo. En este equipo se procesan en forma separada el eje proveniente del horno de reverbero y el metal blanco proveniente del convertidor Teniente.

En las impurezas resultantes del proceso, en general gran parte del arsénico, antimonio, plomo y zinc se volatiliza en forma de óxidos, en cambio la plata y el oro siguen permaneciendo en el cobre blíster.

En el proceso de convertidores, se requiere de cal fina como insumo para el proceso. Además se necesita de un aporte importante de oxígeno técnico, el cual consta de aproximadamente 95% de O₂ y aire de distribución, generándose un enriquecimiento del aire de cerca del 70% de oxígeno promedio.

4.2.3. Afino y moldeo de ánodos

Debido a que el cobre blíster que se obtiene en la etapa anterior aún se encuentra con impurezas, y con materiales que poseen importante valor comercial como son el oro plata, hierro, arsénico, bismuto y antimonio, se realiza una nueva etapa de purificación del cobre, que se define como refinado en hornos anódicos.

Al cobre blíster obtenido se le incrementa su pureza en los hornos iniciando la etapa de reducción del nivel de oxígeno presente en el baño fundido. En algunos casos se realiza la inyección de gas natural fraccionado con vapor de aire, obteniéndose un producto con una ley del 99.6%. Al producto obtenido se le hace pasar posteriormente por una rueda de moldeo de ánodos produciéndose la solidificación del ánodo fundido por contacto con el aire ambiente, obteniendo un ánodo con una forma geométrica semejante a una camiseta de mangas cortas extendidas, por lo que al producto final se le denomina T-shirt, el cual posee ventajas en su manejo posterior.

Los ánodos solidificados son depositados en estanques longitudinales de enfriamiento con agua, a través de equipos especialmente diseñados. Una vez que el ánodo ya se encuentra enfriado, son sacados por un montacargas para ser depositados en un área dedicada a su almacenaje.

Adicionalmente los gases de SO_2 que son producidos en el horno, se suman a los que se generan en los convertidores, donde se oxidan, obteniéndose ácido sulfúrico en una planta de doble absorción. Las escorias que entrega el proceso son tratadas en un horno eléctrico, recuperando el cobre que posean. Posteriormente son enfriadas y granuladas para utilizarlas como material estéril.

En el horno de refinación se trabaja secuencialmente en forma cíclica (batch) y donde se pueden identificar las etapas de llenado, oxidación, escoriado, reducción y vaciado. Una vez que se realiza la carga del horno, se procede a iniciar la etapa de oxidación, que genera la renovación del sulfuro contenido en el blíster. A este producto se le inyecta el baño fundido de aire enriquecido con oxígeno. En forma adicional se remueven las impurezas contenidas en el cobre blíster, para lo cual se inyectan pequeñas cantidades de cal a través de toberas, lo que permite la formación de una escoria que se elimina por sangrado, siendo posteriormente recirculada.

En algunas fundiciones al cobre blíster se le somete a un proceso diferente de refinación en un horno basculante. Este proceso consiste en introducir troncos de eucaliptos, lo que permite que con la ignición de éstos se capte el oxígeno que contiene el cobre blíster como impureza, siendo transformado en anhídrido carbónico (CO_2), posibilitando su liberación a la atmósfera. El producto de este proceso se denomina cobre RAF, refinado a fuego, que permite incrementar la pureza del cobre llegando hasta un 99,7%.

4.2.4. Electro-refinación

Mediante la electro-refinación se transforman los ánodos producidos en el proceso de fundición a cátodos de cobre electrolítico de alta pureza. El proceso tiene como objetivo la disolución electroquímica de los ánodos impuros, que provocan daños en las propiedades eléctricas y mecánicas del cobre, permitiendo que el metal se deposite en forma selectiva, logrando una máxima pureza en los cátodos de cobre. Además se podrán recuperar valiosos subproductos metálicos.

El proceso consiste en disponer en celdas electrolíticas a los ánodos obtenidos de la fundición, que actúan como electrodo positivo, separados por una placa inerte que actúa como electrodo negativo (cátodo), siendo colocadas en forma alternada hasta completar 30 ánodos y 31 cátodos en cada celda. Estos electrodos se encuentran sumergidos en una disolución de sulfato de cobre denominada electrolito, donde al aplicar una corriente eléctrica de bajo voltaje en se van disolviendo en forma selectiva el cobre de los ánodos dentro de la solución, produciéndose cationes de cobre y

electrones. Los electrones son conducidos hacia el cátodo a través del circuito y suministro de energía externo. En cambio, los cationes en la solución comienzan a emigrar por procesos de difusión y convección hacia el cátodo. Posteriormente los electrones y los iones se van recombinando en la superficie del cátodo para producir el cobre metálico que se deposita sobre el cátodo. El producto final posee una pureza del 99.9999%, y se denomina cátodos ER.

El proceso en general tiene una duración continua de 20 días, en el día 10, se extraen los cátodos y se reemplazan por otros. Se examinan cuidadosamente para asegurar la calidad, descartándose todos aquellos que tengan algún defecto. Los ánodos permanecen otros 10 días más hasta ser reemplazados por otros. En el día 20 son nuevamente extraídos los cátodos y se renuevan los ánodos completando el proceso.

Los componentes que no fueron disueltos en el ánodo, se van depositando en el fondo de las celdas electrolíticas. Este compuesto que se va formando se denomina como barro anódico. Es bombeado y almacenado para una posterior extracción de su valioso contenido metálico, que puede incluir plata, oro, selenio, paladio, platino.

4.3. HIDROMETALURGIA O SX-EW

El proceso de hidrometalurgia es constituido por las etapas de Lixiviación, Extracción por Solventes y Electro-obtención de cobre. Este proceso en el último tiempo ha ido tomando una gran importancia debido a que con esta tecnología se permite explotar yacimientos que hace un tiempo atrás se consideraban económicamente marginales. Debido a esto, se ha producido una reactivación de la industria minera del cobre en el país, por lo que existen una gran cantidad de proyectos futuros a realizar.

A continuación se irán describiendo las diferentes etapas del proceso de hidrometalurgia.

4.3.1. Lixiviación o disolución

La etapa de lixiviación tiene como objetivo obtener el cobre de los minerales oxidados que son sensibles al ataque de soluciones ácidas. Esto se produce gracias a la aplicación de una disolución acuosa de ácido sulfúrico y agua obteniéndose una solución de sulfato de cobre con baja ley. El material es generalmente obtenido a través de las minas a rajo abierto

Para realizar el proceso de lixiviación se requiere disponer de una gran superficie de apoyo de la pila donde se instala previamente un sistema de impermeabilización, en donde se monta un sistema de drenaje a través de tuberías ranuradas que permiten acumular las soluciones que se infiltran en el material.

Para la etapa se requiere llevar el material resultante del chancado, a través de correas transportadoras, hacia el lugar donde se irán formando las pilas. En el trayecto al material se le irá introduciendo una primera irrigación, con una solución de agua y ácido sulfúrico. Esto se define como proceso de curado y tiene como objetivo ir iniciando en el camino el proceso de sulfatación del cobre contenido en los minerales oxidados. Al término del recorrido el material es descargado mediante un gran equipo esparcidor, que lo va distribuyendo en forma ordenada con la finalidad de formar un

terraplén continuo de unos 6 a 8 metros de altura, el cual se define como pila de lixiviación.

En la parte superior de la pila se instala un sistema de riego por goteo y aspersores con la finalidad de cubrir toda el área. A través de este sistema, se comienza a introducir lentamente una solución ácida de agua con ácido sulfúrico sobre la superficie de las pilas. La solución actúa rápidamente infiltrándose en la pila llegando hasta su base. El cobre contenido en los minerales oxidados se disuelve, formando una solución de sulfato de cobre, la cual es absorbida por el sistema de drenaje y transportada a un sector de acumulación, fuera sector de las pilas, a través de canaletas impermeabilizadas.

El proceso de lixiviación generalmente se realiza por 45 a 60 días, donde debiera extraerse mayormente la cantidad contenida de cobre lixiviable. El material resultante que no contiene cobre, es arrastrado mediante correas transportadoras a botaderos. En algunos casos se realiza un nuevo proceso de lixiviación para extraer el resto de cobre.

En el proceso se obtienen soluciones de sulfato de cobre, que son transportados a estanques en donde se eliminan las partículas sólidas que pudieran haber sido arrastradas. Las soluciones de sulfato de cobre que han sido filtradas son conducidas a la planta de extracción por solvente.

4.3.2. Extracción por solvente (SX)

La etapa de extracción por solventes es uno de los procesos más efectivos y económicos que permiten concentrar, separar y purificar los metales valiosos que se encuentran en las soluciones enriquecidas provenientes de procesos de lixiviación. A la solución que proviene de la etapa anterior, se le libera de impurezas a través de la separación selectiva de metales, que luego se recuperan mediante el proceso de electro-obtención. Lo anterior permite concentrar su contenido de cobre, mediante una extracción iónica, para lo cual se utiliza un reactivo extractante orgánico, en un circuito cerrado y a contracorriente que permite extraer el cobre, obteniéndose un electrolito con alto contenido de cobre y limpio de todos los elementos indeseables.

El proceso consiste en una operación de transferencia de masas, en un sistema de dos fases líquidas, que permite extraer el cobre de la solución. Para esto se mezcla con una solución de dos solventes inmiscibles, uno de los cuales es generalmente acuoso y el otro un solvente orgánico como el kerosene, benceno, cloroformo, etc. En la solución, la resina absorbe los iones de cobre en forma selectiva, debido a que ciertos reactivos químicos orgánicos, poseen un alto grado de afinidad selectiva con determinados iones metálicos, formando compuestos organometálicos y a su vez, no cuentan con una afinidad con iones contaminantes tales como iones de calcio, hierro, magnesio, etc. En la reacción se obtiene el compuesto resina-cobre, en conjunto con una solución empobrecida en cobre, denominada refino.

El compuesto obtenido de resina-cobre es tratado con una solución electrolito rica en ácido en forma independiente, originándose una descarga del cobre desde la resina hacia la solución electrolítica, lo que permite aumentar la concentración del cobre en esta solución. El producto obtenido se transporta hasta la planta de electro-obtención.

El refino es una solución estéril respecto de iones metálicos y tiene un peso específico mayor al de la fase orgánica. Generalmente se puede reutilizar en el proceso de

lixiviación, pudiendo llegar a recuperar el cobre existente en las soluciones que se obtienen del proceso.

Entre el equipamiento con que cuentan generalmente en una planta de SX podemos encontrar lo siguiente:

- Mezclador, el cual se encuentra relativamente profundo y tiene como finalidad recibir por bombeo las fases acuosa y orgánica, realizando la mezcla y emulsión. Este mezclador de acuerdo con una configuración y velocidad rotacional definida, cuenta con un impulsor que evita el arrastre de la fase orgánica en la fase acuosa.
- Sedimentador, es un equipo de gran área y con poca profundidad. Este equipo permitirá separar las dos fases, para lo cual consta de un sistema de doble compuerta que posee por todo su ancho. En algunos casos se realiza un aumento de la temperatura en la emulsión, cercano de 25°C, con lo que permite mejorar la rapidez de la reacción, generándose una mejor separación de fases.
- Manguera distribuidora, que cubre el tramo que se encuentra entre el mezclador y el sedimentador. Su función principal es asegurar un flujo laminar.
- Mezcladores tipo perfil bajo, estos equipos son formados por un cajón mezclador múltiple y un decantador que se encuentra en el mismo nivel que el mezclador. En el mezclador se ingresa la solución acuosa en conjunto con el reactivo de extracción, por medio de un agitador que bombea y mueve la mezcla mediante una turbina.

En figura 5 se muestra un ejemplo de una distribución de una planta de extracción por solvente.

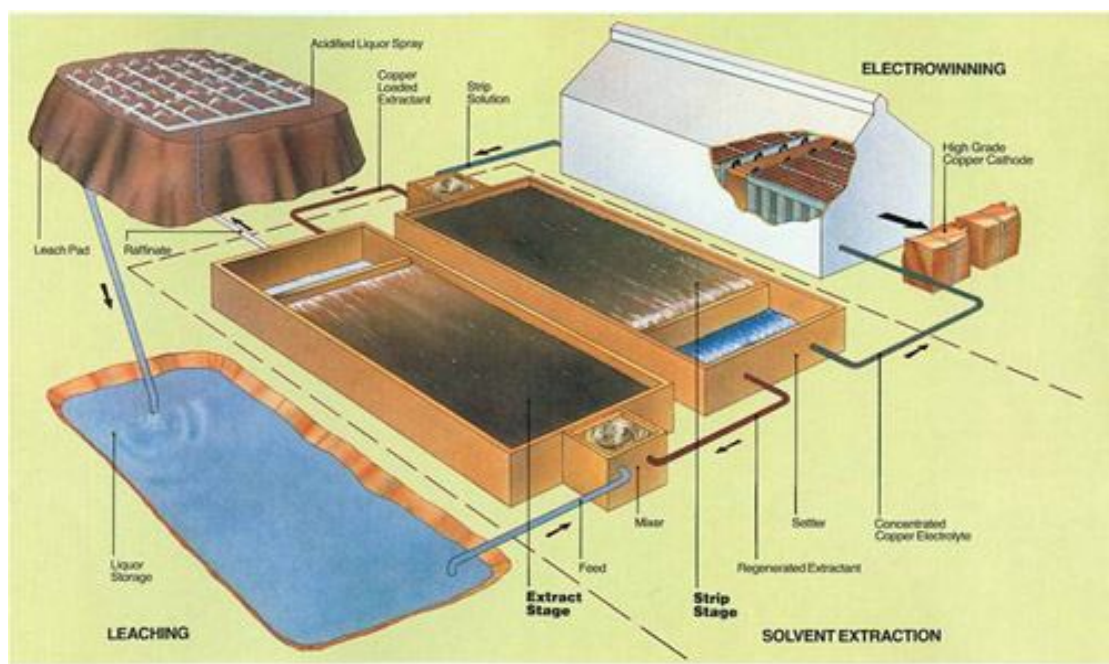


Figura 5: Ejemplo de planta de extracción por solventes. Fuente: Radomiro Tomic.

Adicionalmente, en la actualidad se están realizando bastantes avances en la investigación de la bio-lixiviación, la cual consiste en la utilización de bacterias que capturen el cobre existente en la disolución en forma directa y con menor gasto energético.

4.3.3. Electrólisis o Electro-obtención (EW)

En esta etapa se desarrolla un proceso electrometalúrgico mediante el cual se recupera el cobre disuelto en una solución concentrada de cobre. El proceso de electro-obtención permite recuperar el cobre de una solución electrolito concentrado produciendo cátodos de alta pureza de cobre, con una ley del 99,99%, los cuales tienen un importante valor comercial.

En esta etapa, se envía la disolución final producida en la etapa anterior, que cuenta con un alto contenido de cobre y limpia de impurezas, a unas celdas de electrólisis donde se introduce energía eléctrica, lo que genera que los iones de cobre presentes en la solución se depositen en los cátodos, siendo un proceso diferente al electro-refino. Los cátodos resultantes que se obtienen por electro-deposición o electro-obtención se definen como cátodos Sx-Ew.

En la etapa de electro-obtención la solución electrolítica que se encuentra en forma de sulfato de cobre es llevada a unas celdas, que son estanques rectangulares, en cuyo interior cuentan con placas metálicas de 1 m² aproximadamente, que corresponden a un ánodo y un cátodo, los cuales están depositadas en forma alternadas y sumergidas en una solución.

El ánodo es una placa de plomo, aunque en algunos casos se ocupa acero inoxidable, que cumple la función de polo positivo, siendo donde se introduce la corriente eléctrica. El cátodo es una placa de acero inoxidable y que corresponde al polo negativo donde sale la corriente. Estos electrodos se encuentran conectados conformando un circuito por el que circula una corriente eléctrica continua con una muy baja intensidad.

Al introducir una corriente eléctrica al cobre en solución, que cuenta con un catión de carga positiva, es atraído por el cátodo con carga negativa, lo que origina una migración del cobre comenzando a adherirse partícula por partícula en su superficie en forma metálica.

Las cosechas de cátodos se realizan durante seis a siete días, tiempo en que gracias al proceso de electro-obtención se ha depositado el cobre con una pureza del 99,99% en ambas caras del cátodo, con un espesor aproximado de 3 a 4 cm y con un peso total de 70 a 80 kg por cátodo. En cada celda se depositan unos 60 cátodos, los cuales al cosecharlos son lavados enérgicamente con agua caliente removiendo posibles impurezas de su superficie. Posteriormente son transportados a una máquina despegadora, en donde se desprenden las hojas de ambos lados en forma mecánica, permitiendo reutilizar el cátodo limpio permanente, e integrándolo nuevamente al ciclo del EW. El material despegado del cátodo es embalado para su despacho y transportado en camiones o en trenes hasta los puertos de embarque para su exportación.

5. SITUACIÓN DE LA MINERÍA DEL COBRE EN CHILE

La minería del cobre en Chile se ha ido constituyendo en una actividad ancestral, desarrollada en gran parte del territorio nacional, aunque se concentra predominantemente en la zona norte del país, lo que ha ido convirtiendo a Chile como un reconocido país minero. Esta importancia también se puede relacionar con el desarrollo económico del país, generando cerca del 15 % del Producto Interno Bruto, tal como lo señala un estudio del año 2009 que se muestra en figura 6.

En el país se cuenta con una interesante cartera de proyectos de inversión en minería (cobre y oro), los que no se han visto significativamente afectados por la crisis económica, aún cuando se han producido postergaciones y re-evaluaciones de proyectos, que permiten dar una tranquilidad al sector económico.

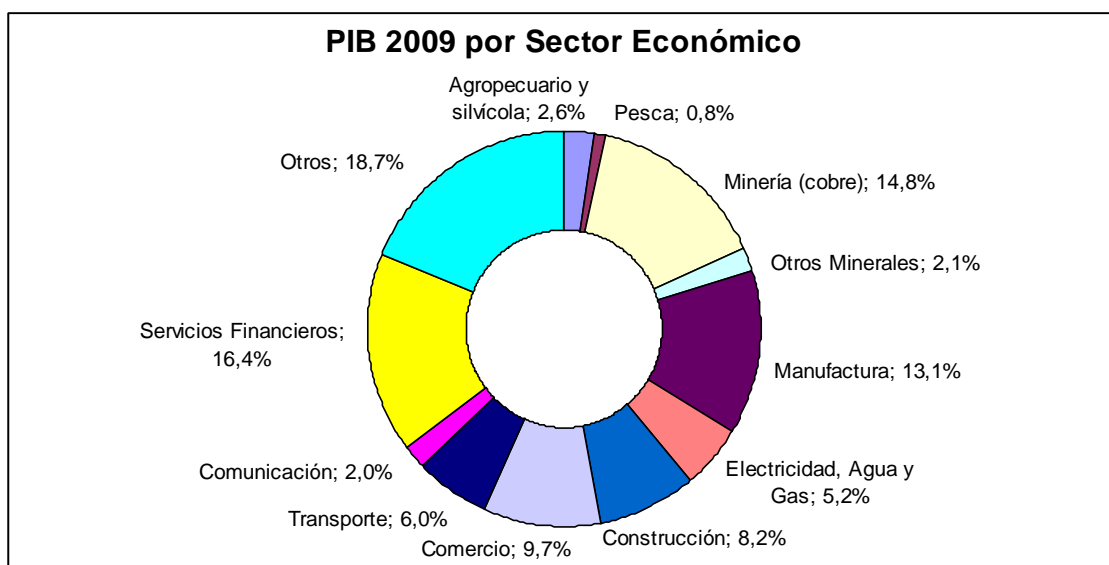


Figura 6: Participación por sectores en el PIB de Chile. **Fuente INE.**

La importancia alcanzada y el progreso consignado por la minería chilena se basa en diferentes factores entre los cuales podemos encontrar: calidad de sus recursos; magnitud de sus reservas y su ubicación; existe un marco legal favorable, estable y seguro; cuenta con atractivas oportunidades para la inversión extranjera y gran capacidad de gestión minera; recursos humanos idóneos para la operación y servicios, sumados a una infraestructura de energía y vías de comunicación terrestres y marítimas

En la actualidad, la situación económica-social de Chile se caracteriza por haber alcanzado un crecimiento económico sostenido, el que se ha visto atenuado por la desfavorable situación económica internacional. Este principal motor de desarrollo ha sido el comercio exterior, un significativo ingreso de inversión extranjera en diversas actividades productivas y un bajo nivel de inflación.

En el último tiempo Chile se alza como país líder en producción y reservas de cobre, tal como se muestra en figura 7 y figura 8. La gran riqueza geológica y condiciones de entorno cultural e institucional favorables a la inversión, consolidan una industria con un determinante aporte a la economía nacional, lo que se complementa con el potencial interesante en otros metales (oro, molibdeno, plata) y minerales industriales (yodo, litio), según se muestra en tabla 1.

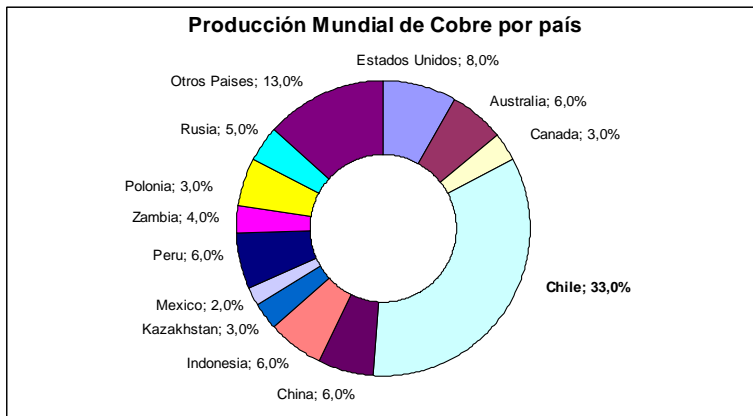


Figura 7: Producción Mundial de Cobre por país. Fuente **US Geological Survey, Consejo Minero**

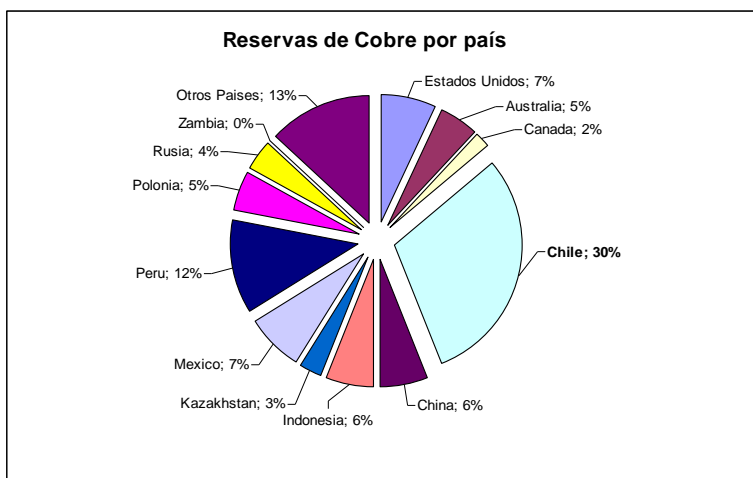


Figura 8: Reservas de Cobre por país. Fuente **US Geological Survey, Consejo Minero**

	Producción (2008)	Posición Mundial en Producción	Participación en la Producción Mundial	Participación en las Reservas Mundiales
Minería Metálica				
Cobre(TM)	5.330.300	1°	34,2%	29,1%
Molibdeno (TM)	33.686	3°	15,3%	12,8%
Renio (TM)	27,6	1°	48,4%	52%
Plata(TM)	1.396	5°	7,1%	N.D.
Oro (TM)	38,9	15°	1,8%	4,3%
Minerales Industriales				
Nitratos Naturales (TM)	1.157.582	1°	100%	100%
Carbonato de Litio (TM)	52.519	1°	53%	27%
Yodo (TM)	15.503	1°	61,6%	60%

Tabla 1: Participación de Chile en la minería del mundo, Fuente: **WBMS, USGS**.

5.1. PROCESOS Y OBTENCIÓN DE PRODUCTOS COMERCIALES DE COBRE

Tal como se ha mostrado en capítulos anteriores existen diferentes tecnologías en los procesos que se asocian a productos comerciales del cobre y sus derivados. Estos productos intermedios podrán ser comerciables directamente según disponga la minera como negocio, o en su defecto pueden seguir la cadena de producción para la obtención de cátodos con un mayor valor comercial, implicando una mayor inversión. Los diferentes productos comerciales y sus procesos se muestran en figura 9.

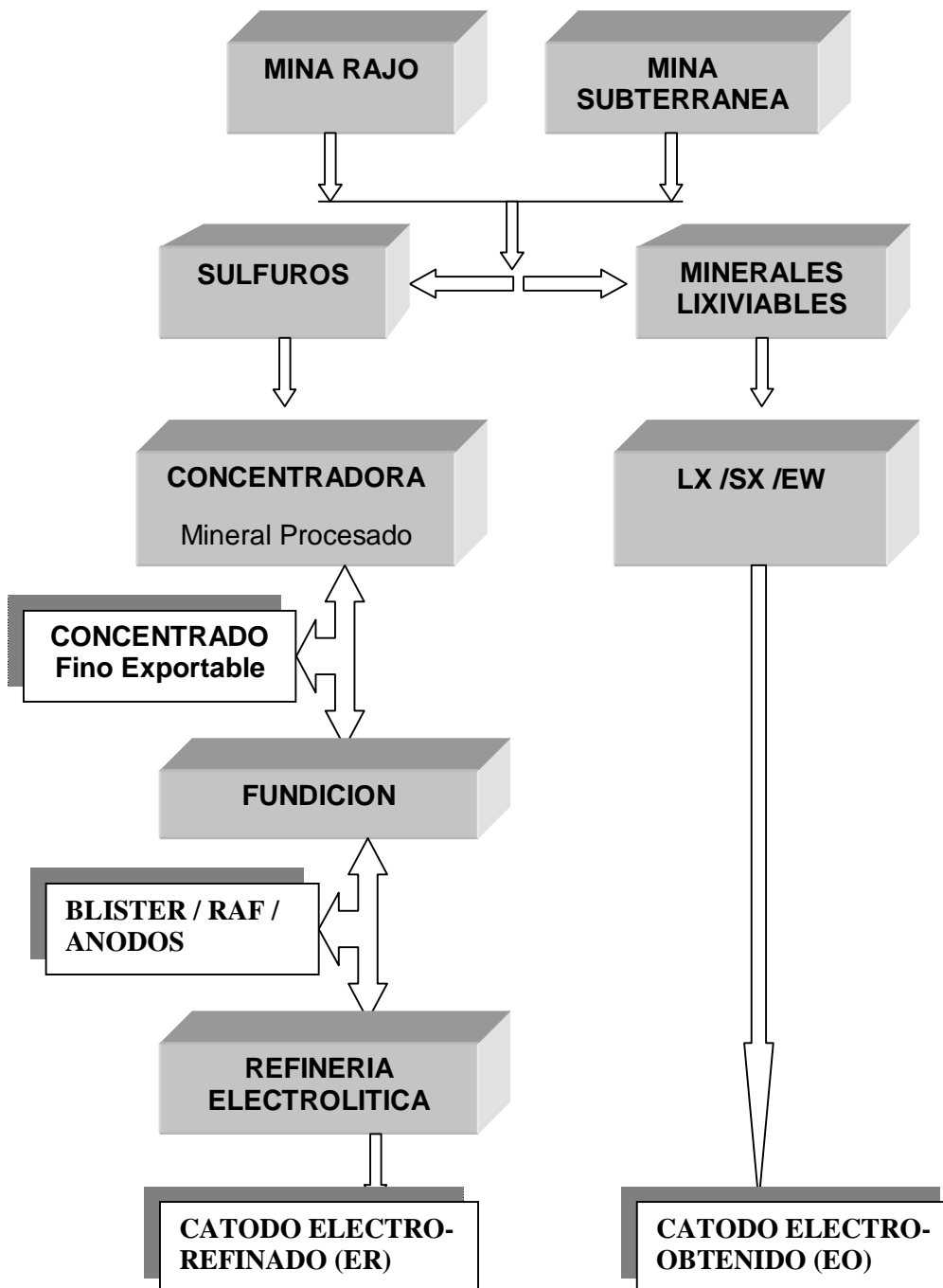


Figura 9. Procesos y productos comerciales del cobre.

5.1.1. Procesos hasta la obtención de cátodo electro-refinado (ER)

El proceso comienza con la extracción de mineral sulfurado que será el encargado de alimentar la fase de concentración. Esta extracción puede ser obtenida de minas a rajo abierto o subterráneas. En esta etapa el contenido de cobre en el mineral oscila entre 0,5% y 2% de su peso.

El material sulfurado obtenido se hace pasar por el proceso de concentración, obteniéndose un producto comercial llamado "concentrado de cobre". Es posible recuperar entre un 80% y 90% del cobre contenido en el mineral en este proceso. El contenido de cobre en el concentrado comercial generalmente oscila entre 25% y 35% de su peso.

Una vez que se obtiene el concentrado se hace pasar el material por una fundición de concentrado, obteniéndose un producto de cobre llamado blíster o ánodo de 99,5% de concentración. El grado de recuperación en las fundiciones pueden llegar generalmente cerca de un a 97%.

El material con un gran grado de concentración de cobre, se hace pasar por un proceso de electro-refinación de los ánodos, obteniéndose un cátodo electrorefinado (ER) con un 99,99% de cobre. En este proceso permite recuperar el 99% del cobre que se encuentra contenido en el ánodo.

5.1.2. Proceso hasta la obtención de cátodo electro-obtenido (SxEw)

El proceso comienza con la extracción de mineral lixiviable que alimentará la fase hidrometalúrgica. Esta extracción puede ser obtenida de minas a rajo abierto o subterráneas.

El mineral lixiviable se hace pasar por un tratamiento hidrometalúrgico del mineral, a través de un proceso continuo que comprende diferentes etapas: lixiviación, extracción por solvente (Sx) y electro-obtención (Ew), con la finalidad de obtener un cátodo electro-obtenido (SxEw) con un grado de concertación de 99,99% de cobre. Se obtienen recuperaciones de cobre contenido en el mineral cercana al 75%, siendo en las operaciones "run off mine" la recuperación aún más baja.

5.2. SITUACIÓN DE LA DEMANDA DE COBRE

El precio del cobre ha ido en aumento en los últimos años, al finalizar el año 2010, el precio del cobre en la Bolsa de Metales de Londres alcanzó un promedio de US\$3,42 la libra, precio que fue superior en 46% respecto al promedio del año 2009. En el 2011 el precio estuvo cercano al US\$4.01 la libra posicionándose como el mayor valor anual nominal de la historia, durante lo que va del 2012 se tiene un promedio levemente inferior cercano a los US\$3.79 la libra.

El buen comportamiento mostrado por el precio del metal se puede explicar por la correlación directa con la depreciación del dólar en los mercados internacionales. Pero más allá de los efectos financieros, el aumento se puede atribuir a que la oferta no ha sido capaz de seguir el vigoroso ritmo de la demanda.

Otra explicación de este aumento de precios se debe a las renovadas señales de estabilidad en el consumo por parte de algunas economías europeas, así como también, la resiliencia con que China ha enfrentado las medidas adoptadas por su Gobierno para enfriar la economía, que fue propiciada principalmente por los estímulos fiscales, lo que se refleja en una inesperada fortaleza de la demanda aparente por cobre.

Las perspectivas de las economías emergentes de Asia, donde destacan no sólo China, sino que además países como Corea, India y Singapur sugieren una expansión continuada y sostenible. La exportación de cobre de Chile está predominada principalmente por el mercado Asiático, de ahí la importancia de la estabilidad de países como China. En figura 10 se muestra la distribución de la exportación de cobre de Chile al mundo.

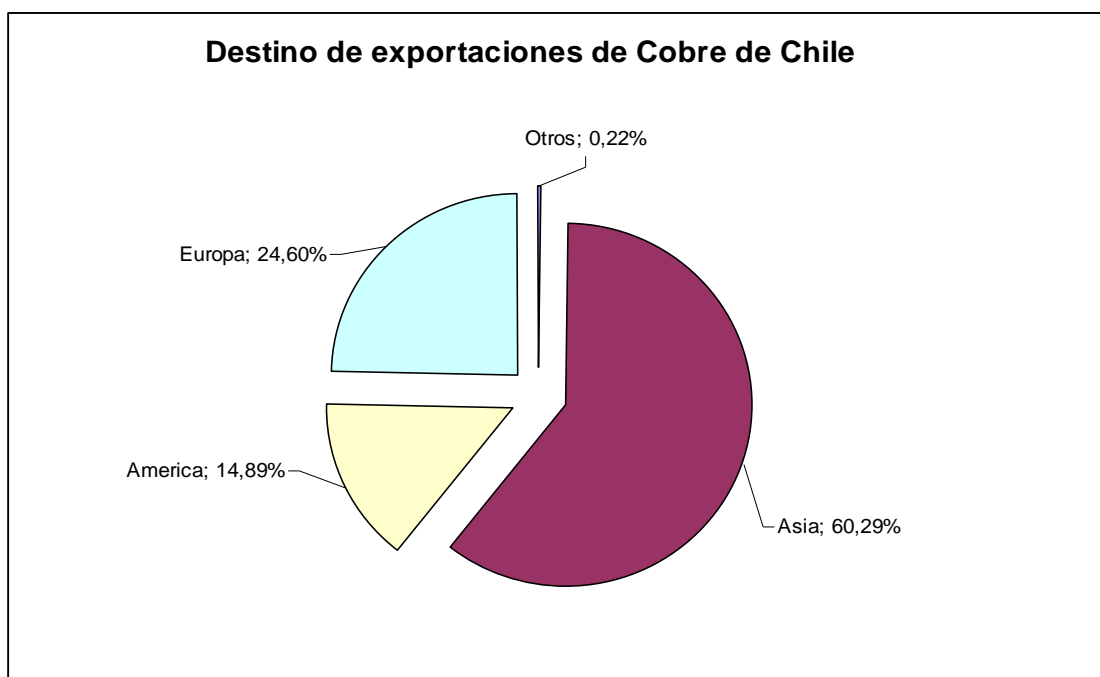


Figura 10: Destino de exportaciones de Cobre de Chile . **Fuente US Geological Survey, Consejo Minero**

Históricamente los precios del cobre siempre están relacionados con los contextos internacionales, durante los años sesenta, el contexto estaba marcado por la voluntad de los gobiernos de los países en desarrollo de controlar sus respectivas economías y más particularmente sus recursos naturales. Esto se reflejó en una ola de nacionalizaciones de las grandes empresas mineras en varios países del mundo, en paralelo a unas tasas de crecimiento altas y sostenidas desde la segunda guerra mundial. Todo esto implicó un período una alta demanda por cobre, la cual se disparó en 1961 debido a la guerra de Vietnam, coincidiendo además con importantes huelgas en los principales países productores, contribuyendo a la reducción de inventarios a partir de 1963. De esta manera, la congruencia de los distintos factores de la economía mundial marcó una tendencia en los precios, los que tuvieron un comportamiento alcista durante gran parte de esa década, en la figura 11 se muestra la curva histórica de los precios del cobre.

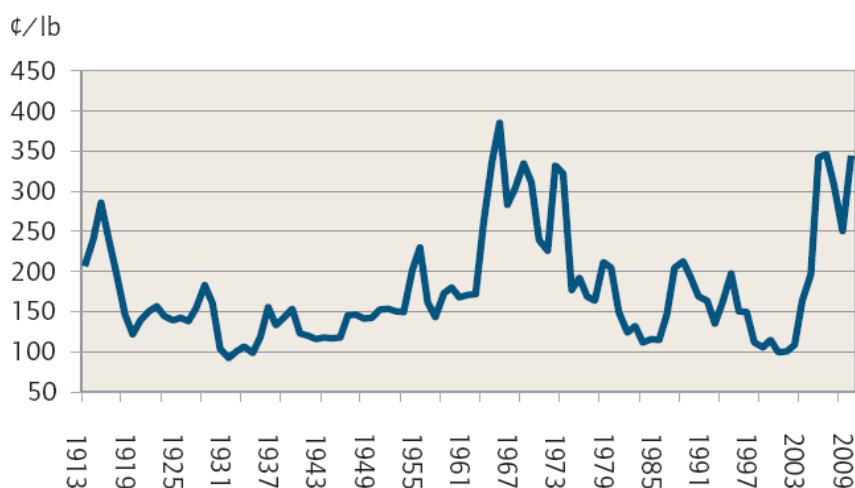


Figura 11: Gráfico: Evolución Precio Real del Cobre. Período 1913-2010. **Fuente: Cochilco.**

La demanda de cobre refinado alcanzó 19,18 millones de TM en 2010 (+5,9%); esta alza se habría producido por la recuperación en el consumo de los principales países consumidores de cobre y la consolidación de los países emergentes. A pesar de que China sólo sube un 4,7%, esto se traduce en un aumento de casi el 40% del consumo total, con 7,5 millones de toneladas.

En cuanto a la oferta de refinados, durante el año 2010 se estima que ésta habría exhibido un incremento de 3,1% respecto al año anterior. Parte de este crecimiento se explicaría por el aumento en la producción de cobre secundario.

En tanto, la producción chilena de mina para el año 2010, habría totalizado 5,4 millones de TM, lo que equivale a un aumento de 0,4% respecto a 2009. Para el año 2012, se espera que ésta alcance cerca de 5,84 millones de Toneladas métricas de cobre fino (TMF) ¹.

Con respecto al cobre no refinado, durante el año 2010 la producción de cobre fundido primario habría alcanzado a 12.494 miles de TMF, lo que representa una caída de 1,5% con respecto al año anterior. Esta caída tiene su explicación en la escasez de concentrados que se ha visto en el mercado, los problemas asociados al manejo del ácido sulfúrico y otras dificultades de carácter operativo.

En el caso de los concentrados, durante el año 2009 la producción tuvo un crecimiento marginal, que sin embargo habría servido para revertir la baja experimentada en 2008. Para el 2010 la producción se habría ubicado levemente por sobre lo esperado, con un crecimiento de 1,3%, para llegar a 12.827 miles de TMF¹.

5.3. DEMANDA ENERGÉTICA DE LA MINERÍA DEL COBRE

La minería del cobre es uno de los sectores económicos con mayor demanda de energía eléctrica en Chile, transformándose en uno de sus insumos estratégicos. Este consumo intenso de energía, tanto de combustibles como eléctrica, tuvo una evolución en el período 1995 – 2010 que fue en aumento, relacionándola con la producción de cobre comercial.

¹ "Mercados e Insumos Estratégicos para la minería en Chile" COCHILCO, Comisión Chilena del Cobre, 2010.

En los registros históricos de consumo eléctrico que se tienen desde el año 1995, la minería del cobre fue incrementando su consumo directo de energía global (electricidad y combustibles), a una tasa del 6,2% anual, alcanzando el año 2010 un consumo de 129,6 Tera Joules. En cambio la producción de cobre sólo creció al 5,3% en el mismo período, debido a su modesto crecimiento desde el año 2006 en adelante.

La gran demanda de electricidad genera el 81,9% de las ventas de electricidad en el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING), y el 19,1% en el Sistema Interconectado Central (SIC), lo que equivale al 34,9% de las ventas globales en ambos sistemas, tal como se muestra en la tabla 2. Los proyectos situados en la zona norte de Chile correspondientes a la I y II Región se abastecen del SING y los situados en las restantes regiones se abastecen del SIC.

Sistema	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
SING (GWh)										
Consumo Minera Cu	7.589	7.933	8.822	9.431	9.604	9.883	10.700	10.870	11.646	11.298
Ventas SING	8.991	9.482	10.480	11.240	11.560	12.029	12.674	13.219	13.656	13.792
Participacion Min Cu (%)	84,4%	83,7%	84,2%	83,9%	83,1%	82,2%	84,4%	82,2%	85,3%	81,9%
SIC (GWh)										
Consumo Minera Cu	4.703	5.381	5.592	6.240	6.311	6.540	7.080	6.920	7.109	7.854
Ventas SIC	29.144	30.335	32.076	34.602	35.929	38.231	39.964	39.580	39.401	41.061
Participacion Min Cu (%)	16,1%	17,7%	17,7%	18,0%	17,6%	17,1%	17,7%	17,5%	18,0%	19,1%
PAIS (GWh)										
Consumo Minera Cu	12.292	13.314	12.514	15.671	15.915	16.423	17.780	17.790	18.755	19.152
Ventas PAÍS	38.135	39.817	42.556	45.843	47.489	50.261	52.638	52.799	53.057	54.853
Participacion Min Cu (%)	32,2%	33,4%	34,1%	34,2%	33,5%	32,7%	33,8%	33,7%	35,3%	34,9%

Tabla 2: Participación de la minería del cobre en el consumo eléctrico nacional. **Fuente: COCHILCO (Consumo minería Cu) y CNE (Energía vendida en cada sistema, excluyendo Aysén y Magallanes)**

En gráfico12 se muestra la evolución histórica en el consumo de electricidad por parte de la minería del cobre desde 1975 hasta el año 2010. En este caso la producción anual de cobre corresponde al total de productos comerciales (Concentrados, Blíster, RAF, Cátodos ER y Cátodos SxEW), expresado en cobre fino contenido.

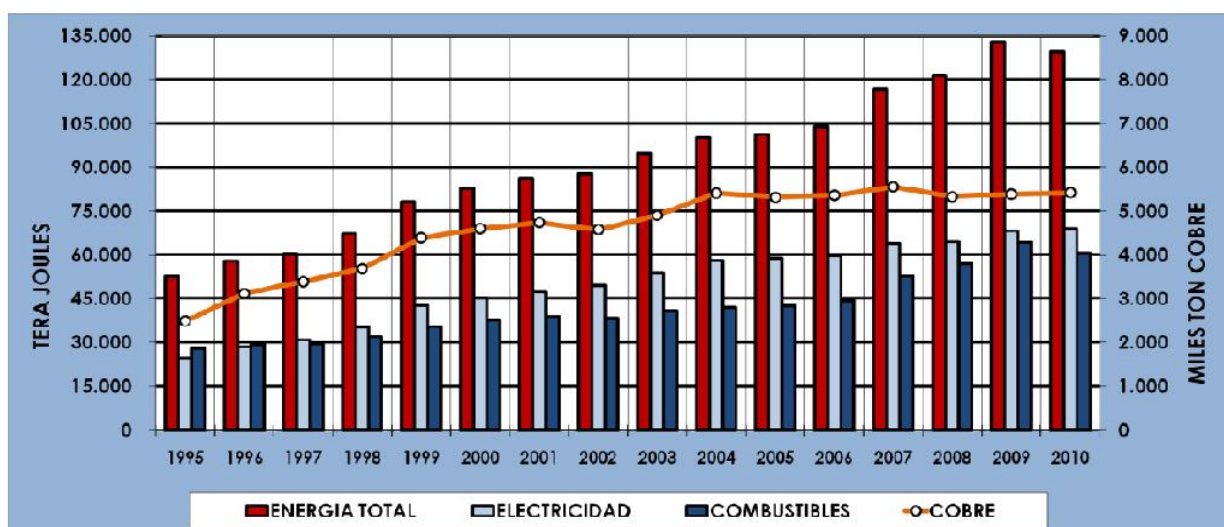


Figura 12: Consumos de energía de la minería del cobre 1995-2010, **Fuente: INE, en base a Informe "Consumos de Energía de la minería del Cobre de 2001-2010"**

Según muestra el gráfico el consumo global de energía hasta el año 2005 creció a tasas menores que la producción de cobre, lo que se revertió desde el año 2006 generándose un aumento significativo en el consumo energético, particularmente en el uso de combustibles, debido a un cambio estructural de la minería donde el consumo eléctrico fue aumentando su participación debido a un mayor empleo en diversas aplicaciones, por razones económicas, medioambientales y tecnológicas. En el año 2010 se reportó un consumo energético menor que el año 2009, teniendo una producción de cobre similar en los dos años, debido a las medidas de eficiencia energética que está realizando la industria minera.

Entre de las causas que explican el cambio de tendencia en los años recientes se debe al estancamiento en el nivel global de producción de cobre, en el deterioro de los factores minero metalúrgicos en la mayoría de los yacimientos en explotación y la situación en el abastecimiento eléctrico afectado por la menor disponibilidad de Gas Natural, lo que llevó a reutilizar más combustibles en las operaciones mineras.

Otro elemento que se debe considerar al evaluar el aumento que ha experimentado la intensidad de uso de energía en esta década en la minería, se explica por una diversidad de factores entre los cuales podemos encontrar: el envejecimiento de las minas provocando baja de la calidad del cobre debido a la disminución de su ley (ver figura 13); un aumento de la dureza de los minerales; aumento de las distancias de acarreo y cambios en la cartera de productos comerciales y tecnológicos. Debido a estos factores que condicionan el yacimiento minero, se pronostica que en los próximos años el sector de la minería del cobre va a seguir experimentando un aumento en la intensidad de uso de energía.

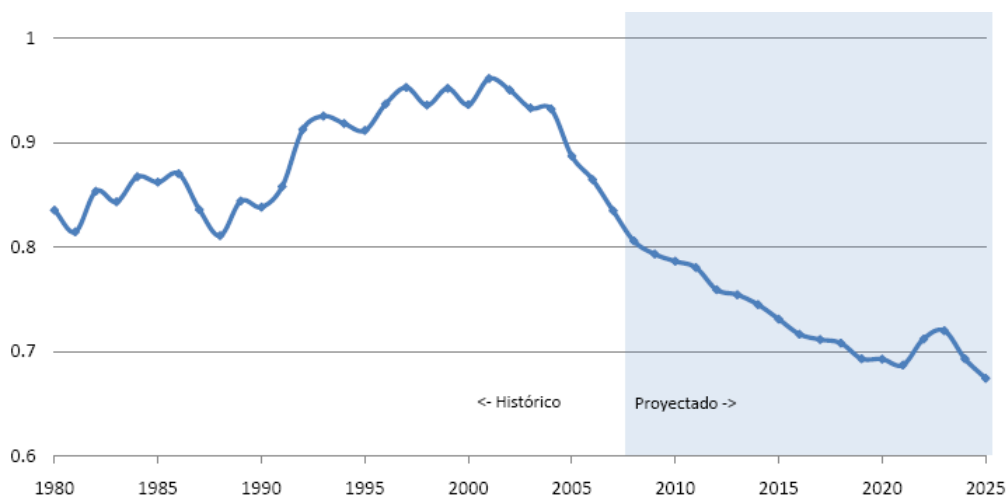


Figura 13: Leyes de cobre. **Fuente US Geological Survey, Consejo Minero 2009**

Uno de los factores que permitieron atenuar la subida de los consumos energéticos en el último tiempo, fueron los cambios tecnológicos en las fundiciones impulsados por normativas de carácter ambiental, generándose principalmente una disminución del uso de combustibles.

En Figura 14 se muestra la variación de la cartera de productos comerciales de cobre hacia productos más refinados, produciendo un crecimiento en la producción de cátodos SX, lo que fue generando una subida de los consumos energéticos.

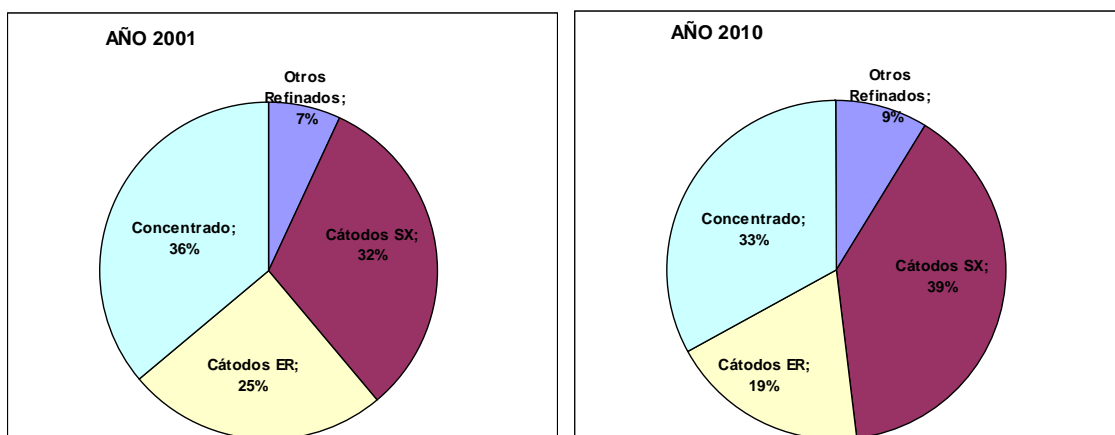


Figura N° 14 Cartera de Productos Comerciales de Cobre. **Fuente Codelco.**

5.4. PROYECCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO.

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

Debido a esto, la industria minera realizó estimaciones del consumo energético hasta el año 2020, basándose en los perfiles de producción base estimadas para las operaciones vigentes y por los perfiles de producción que aportarían los proyectos mineros que probablemente se materializarían en el período.

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

Con esta estimación de la producción de cobre, se cree que hacia el año 2020 la minería del cobre demandará del orden de 34,36 TWh, lo que significa un aumento del 79,4% comparado con el consumo del año 2010, con una tasa de crecimiento equivalente a un 6,0% anual en el período 2010-2020, tal como se muestra en figura 15.

La información que actualmente se disponible para el período 2021-2025, tiende a indicar que aunque no se considere los aportes de proyectos desconocidos, la producción potencial esperada se sitúa por sobre la producción actual en un millón de toneladas. Este crecimiento se basa en el aumento de la producción de concentrados mientras que la participación de cátodos SX-EW disminuiría en forma importante, debido a la menor disponibilidad de recursos lixiviables.

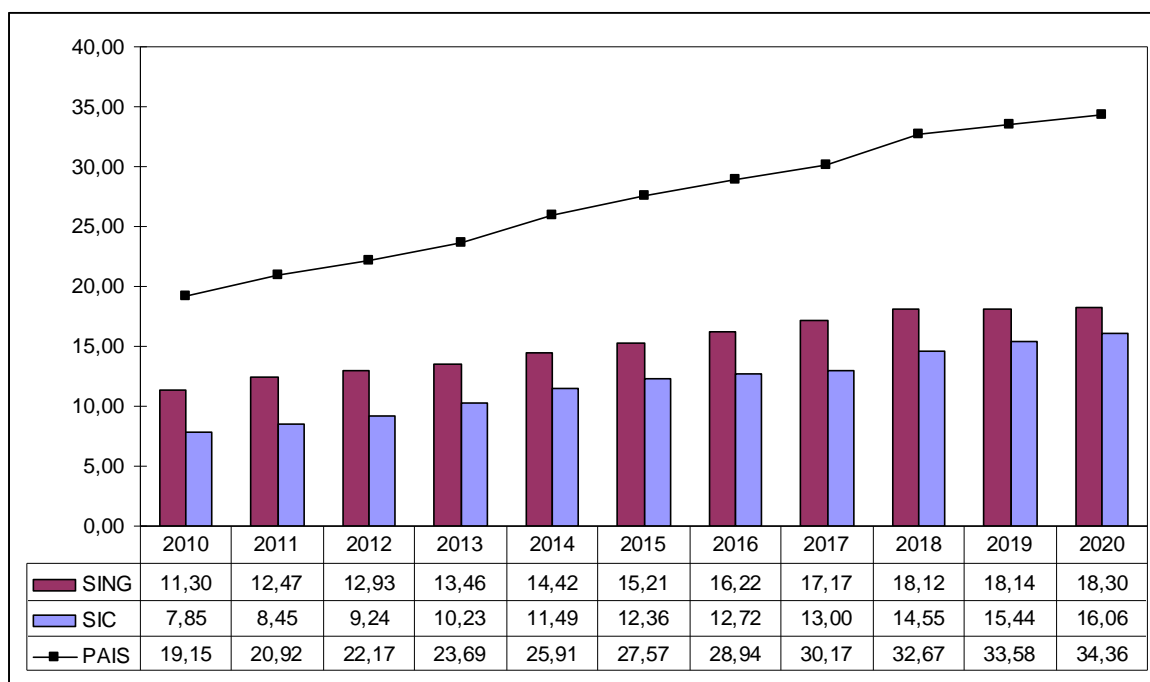


Figura 15: Proyección al año 2020 del consumo eléctrico en la minería del cobre (Tera Watts-hora), **Fuente Cochilco.**

Viendo el gráfico se puede distinguir que la mayor demanda proyectada la concentra el SING. En este sistema, el año 2010 se obtuvo un consumo de 11.298 GWh, que representó un 59% del consumo eléctrico total de la minería del cobre. Para el año 2020 se espera que se incremente hasta cerca de los 18.301 GWh el consumo eléctrico, con una tasa de crecimiento anual de cerca del 4,9% en el período, lo que implica que su participación disminuirá con respecto al consumo nacional representando cerca de un 53,3%.

En el SIC se proyecta una tasa de crecimiento del 7,4 %, pasando de 7.854 GWh del año 2010, equivalentes a un 41% del consumo eléctrico de la minería del cobre, a cerca de 16.063 GWh en el año 2020, lo que implicaría subir su participación al 46,7% del consumo minero del sector cuprífero esperado para el año 2020.

Entre las explicaciones de este crecimiento del consumo de la demanda en el corto plazo se debe al crecimiento de las operaciones actuales de la minería del cobre. En el caso de la proyección al mediano plazo se reflejará la demanda de los nuevos proyectos que irán entrando en operación durante el período en estudio, ya que las actuales operaciones irán presentando una apreciable declinación. La estimación para el año 2020, considera la puesta en marcha de los nuevos proyectos que explicarían la participación de la minera en el 31,2% de la demanda en el SING y el 33,7% del SIC.

5.4.1. Consumo eléctrico proyectado por tipo de operación mineras

Las proyecciones de los consumos eléctricos en la minería del cobre por tipo de operación se realizan en base al consumo base que interfieren en la producción de concentrados de cobre y cátodos SxEw y las operaciones de fundición y refinera electrolítica, y además comprende a las nuevas operaciones mineras que entrarían en marcha en el período en estudio.

En los estudios del consumo eléctrico por parte de la minería del cobre no está considerada la energía eléctrica que se requiere para el tratamiento de agua del mar y su impulsión a las faenas mineras que la empleen, el cual ira siendo un factor cada vez más importante en términos de consumo.

Para el caso del sistema interconectado SING, tal como se muestra en la tabla 3 se proyecta una fuerte demanda de energía eléctrica en el corto plazo, en el año 2013 se estima el consumo en torno a las 13 mil 400 GWh, un incremento de más de 1.600 GWh comparado con el consumo en el SING el año 2010, este aumento se debe principalmente al empuje que generan las actuales operaciones.

En el periodo comprendido entre los años 2014-2018 se generará una alta demanda debido a que emergen con gran dinamismo los nuevos proyectos que se están planificando poner en marcha, en conjunto con las operaciones actuales que se mantienen estables, lo que llevará a situar la demanda en un nuevo nivel en torno a las 18 mil GWh.

En la última etapa de la década nos encontraremos con una declinación de las actuales operaciones mostrando una disminución de la demanda eléctrica, particularmente por la disminución de las operaciones de Lixiviación (Cátodos SxEw), compensada con los mayores requerimientos de los proyectos.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
TOTAL SING (GWH)	11.298	12.471	12.935	13.457	14.415	15.208	16.219	17.171	18.115	18.138	18.301
Concentrados Base	4.328	4.933	5.205	5.738	6.022	6.481	6.607	6.738	7.078	6.516	6.353
Cátodos SX-EW Base	6.117	6.511	6.596	6.521	6.454	6.133	5.827	5.828	5.430	5.256	5.041
Fund / Ref Base	853	1.027	1.033	1.039	1.045	1.158	1.164	1.170	1.177	1.183	1.190
SUB TOTAL BASE	11.298	12.471	12.834	13.298	13.521	13.772	13.598	13.736	13.685	12.955	12.584
Concentrados Proyectos	-	-	75	114	617	887	1.928	2.785	3.794	4.487	4.922
Cátodos SX-EW Proyectos	-	-	26	45	277	549	693	650	637	696	796
SUB TOTAL PROYECTOS	-	-	101	159	894	1.436	2.621	3.435	4.431	5.183	5.718
Crecimiento Anual	-	1.173	464	522	958	793	1.011	952	944	23	163
Crecimiento Acumulado	-	1.173	1.637	2.159	3.117	3.910	4.921	5.873	6.817	6.840	7.003

Tabla 3: Proyección de consumos de energía eléctrica en el SING por tipo de operaciones. **Fuente Cochilco.**

En la proyección de consumo eléctrico para el SIC, tal como se muestra en tabla 4 a corto plazo tendrá un importante y sostenido crecimiento del consumo eléctrico minero, donde tenemos que en el año 2013 los nuevos requerimientos de las operaciones actuales explicarían un aumento de 2.300 GWh sobre el consumo del año 2010.

Hacia fines del año 2020 comenzarán a verse reflejados los requerimientos de los nuevos proyectos que impulsarán el consumo global en el SIC en torno a las 16 mil GWh.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
TOTAL SING (GWH)	7.854	8.453	9.244	10.226	11.491	12.362	12.722	13.001	14.550	15.437	16.063
Concentrados Base	5.991	6.381	7.184	8.059	8.770	8.895	8.450	7.972	8.805	8.978	8.820
Cátodos SX-EW Base	798	904	931	953	914	863	752	540	558	572	564
Fund / Ref Base	1.065	1.168	1.130	1.191	1.162	1.220	1.229	1.238	1.248	1.257	1.267
SUB TOTAL BASE	7.854	8.453	9.245	10.203	10.846	10.978	10.431	9.750	10.611	10.807	10.651
Concentrados Proyectos	-	-	-	-	569	1.224	2.097	3.014	3.633	4.324	5.046
Cátodos SX-EW Proyectos	-	-	-	24	75	160	194	237	307	306	366
SUB TOTAL PROYECTOS	-	-	-	24	644	1.384	2.291	3.251	3.940	4.630	5.412
Crecimiento Anual	-	599	791	982	1.265	871	360	279	1.549	887	626
Crecimiento Acumulado	-	599	1.390	2.372	3.637	4.508	4.868	5.147	6.696	7.583	8.209

Tabla 4: Proyección de consumos de energía eléctrica en el SIC por tipo de operaciones. **Fuente Cochilco.**

Este mayor incremento en el SIC proviene de la zona norte, más precisamente de la región de Atacama, lo que incrementará significativamente el consumo en el área Norte del SIC.

5.5. CONSUMO DE ENERGÍA COMO COMBUSTIBLES Y MATRIZ ENERGÉTICA NACIONAL

La participación promedio de la minería del cobre en el consumo total final de energía del país en año 2010 fue de un 9%. Por tipo de energía, las empresas del sector consumieron en el año 2010 un 35% del total de la energía eléctrica consumida por el país y sólo un 7% del total de combustibles.

A raíz de la crisis de abastecimiento de gas natural en el año 2003, producida por el corte de suministro de Argentina, se produjo un drástico cambio en la matriz para la generación eléctrica. En figura 16 se muestra la capacidad instalada y la generación de la matriz energética del año 2010 en Chile.

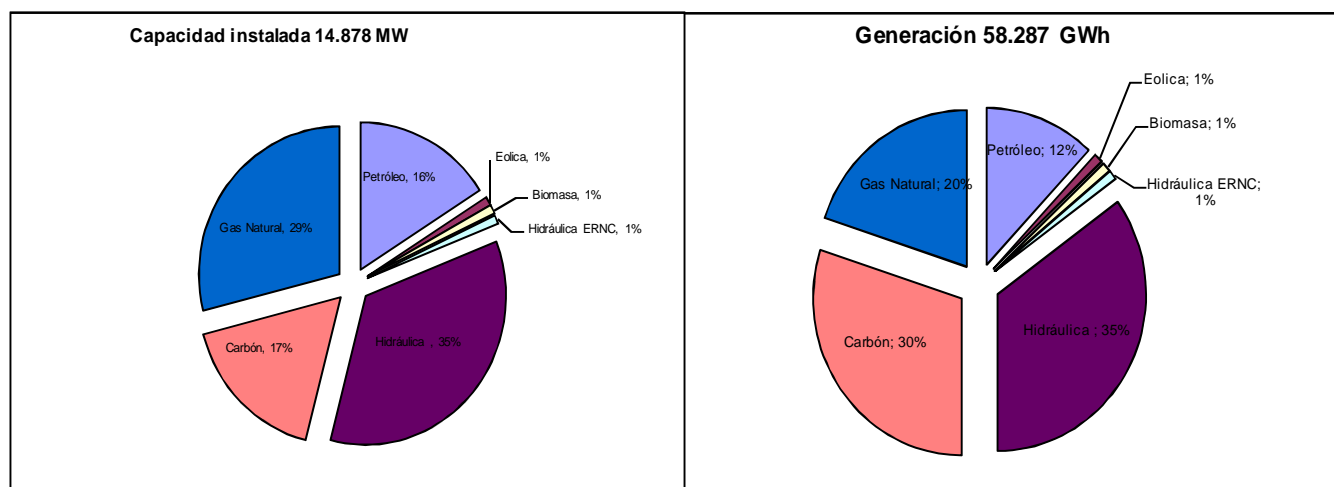


Figura N° 16: Matriz energética de Chile. **Fuente Corporación Chilena de Energía Nuclear.**

En la minería del cobre se ha producido un incremento en los últimos años de los consumos de combustibles y electricidad, tanto en valores totales como por los consumos unitarios de tonelada de cobre fino producido. Entre las causas de este aumento se encuentran el área de extracción minera y el tratamiento de minerales lixiviables. Los consumos unitarios totales de energía del área mina se han incrementado a una tasa anual de 5% en los últimos 10 años debido a las bajas en las leyes de los minerales producto del envejecimiento de las minas.

La explotación minera en el año 2001 llegó a consumir el 57% de los combustibles utilizados por la minería, lo que fue incrementándose hasta llegar a alcanzar un 71% en el año 2010.

En figura 17 se muestra la comparación de combustibles consumidos directamente en los procesos de la minería del cobre. Se puede ver que en el año 2010 los principales combustibles utilizados son el petróleo Diesel (78,7%), Enap 6 (14,3%) y Gas Natural (5,3%), sumados a un aporte marginal de otros tipos de combustibles como son el carbón, kerosene, butano, gas licuado y gasolinas.

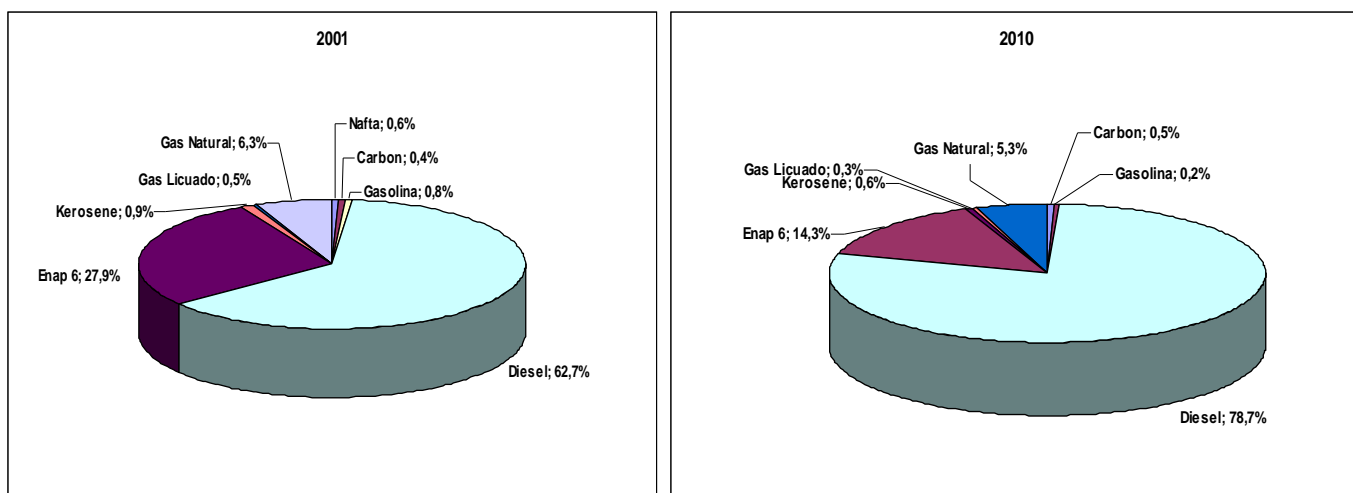


Figura N° 17: Combustibles Consumidos por la Minería del Cobre. **Fuente Instituto Nacional de Estadística**

5.6. EMISIONES GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI) DE LA MINERIA DEL COBRE

Los efectos de los GEI estudiados por la minería del cobre se concentran en las emisiones de CO₂, CH₄, y N₂O puesto que éstos son los más relevantes, y se han calculado solamente las emisiones directas de GEI que corresponden a aquellas generadas por la combustión de combustibles fósiles (petróleo, nafta, carbón, gas natural) en las faenas mineras o el usado en transporte por los vehículos de dichas operaciones.

En Figura 18 se muestra las emisiones directas de gases de efecto invernadero, medidas en términos de CO₂ equivalente, que ha generado la industria de la minera del cobre donde se muestra el incremento producido entre los años 2001-2010, producto de la utilización directa de combustibles en sus faenas. El aumento observado de emisiones GEI directas pasa de los 2,91 TM CO₂ producidos el año

2001 a los 4,33 millones de TM CO₂ equivalente en el año 2010, lo que representa un incremento cercano al 50%.

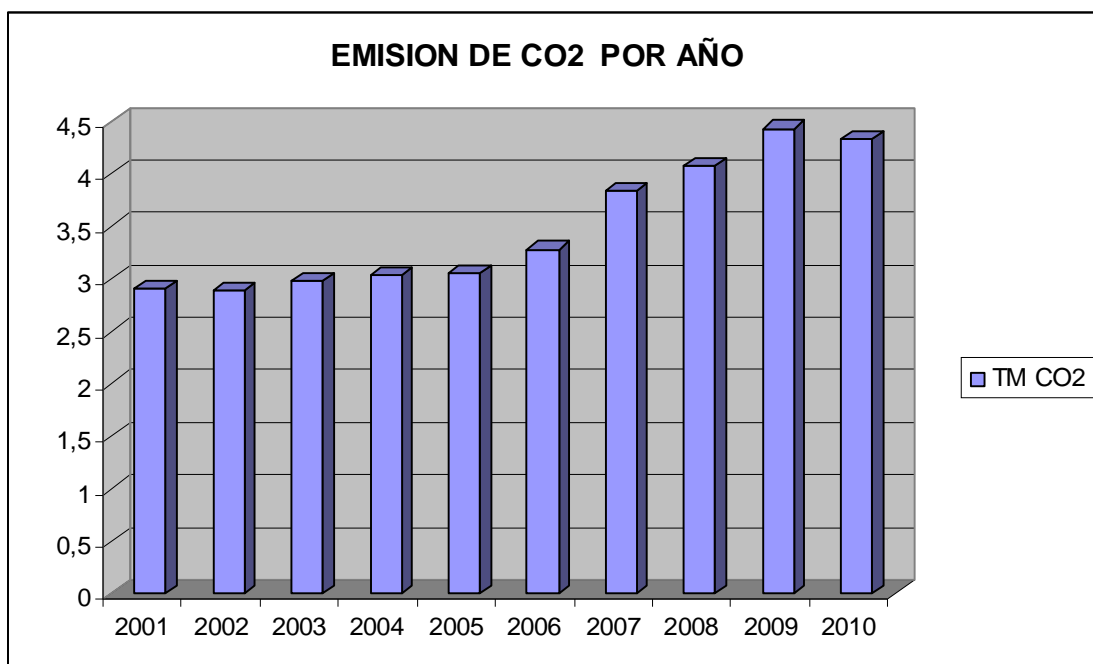


Figura 18: Evolución de las Emisiones Directas Totales de GEI de la Minería del Cobre en millones de TM CO₂. **Fuente: Corporación Chilena del Cobre.**

En mismo periodo de años existió un aumento de la energía consumida como combustibles por parte de la minería del cobre cercano al 56%, por lo que se explica la directa relación con el incremento en las emisiones de GEI respectivas debido al aumento del uso de combustibles. En el caso del año 2010 se revertió la tendencia a la alza de emisiones de GEI, esto se produce principalmente debido al endurecimiento de las normativas medioambientales.

En Figura 19 se desglosan los resultados de las emisiones de GEI por área de producción. En el gráfico se puede observar la evolución de las emisiones GEI directas totales por área del proceso, donde la principal área generadora de emisiones es la mina rajo (que es el área con uso más intensivo de combustibles) seguida de lejos por la fundición, el tratamiento de minerales lixiviables y los servicios.

A su vez, las áreas que cuentan con menores emisiones directas de GEI son la mina subterránea y la concentradora. En el proceso de extracción, la mina subterránea presenta menores emisiones de GEI que la mina rajo, esta diferencia se produce ya que en la mina subterránea se extrae directamente mineral, y lo hace con un método de explotación que se basa en el uso de la fuerza de gravedad. En cambio en la minería de rajo, se deben movilizar grandes cantidades de lastre o material estéril para poder acceder al mineral con ayuda de maquinaria pesada consumidora principalmente de combustibles.

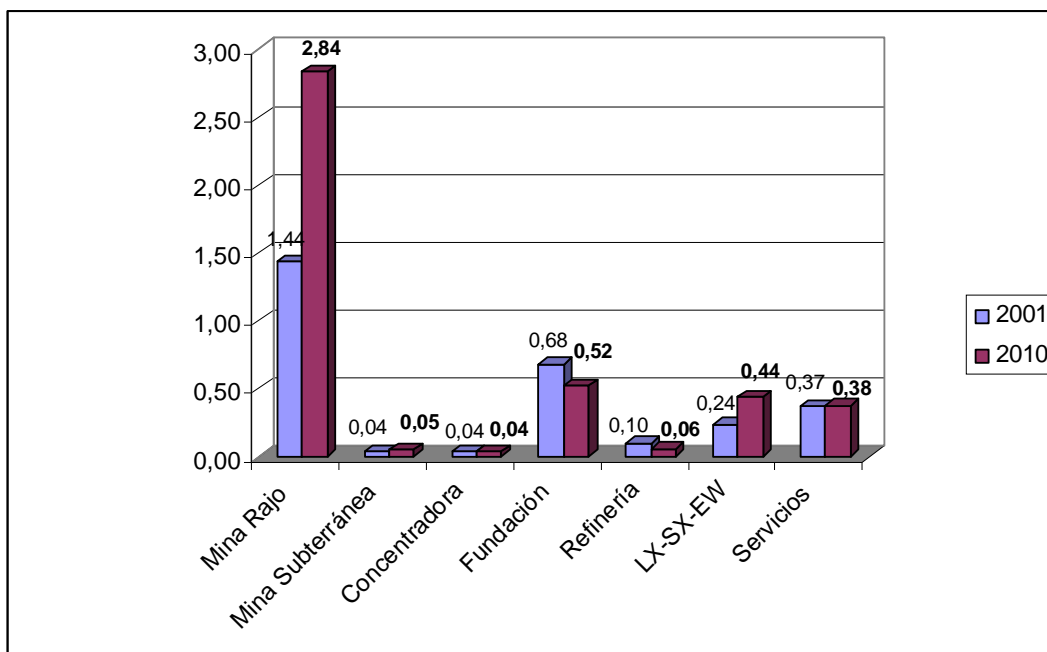


Figura 19 Comparación Emisiones Directas Totales de GEI por Área de Producción en Millones de TM CO₂. Fuente: Cochilco

Los bajos niveles de emisiones directas de GEI de la concentradora comparados con los otros procesos, se debe a que el consumo de energía en esta área ocupa mayoritariamente la energía eléctrica (98%) en los procesos de molienda del material, por lo que su contaminación se realiza en forma indirecta.

En general, tal como se puede ver en figura 19 las emisiones totales por área de producción los GEI aumentan en el período 2001-2010, salvo en los procesos de fundición y refinería. En el caso de fundición la baja de emisiones en estos procesos se debe a cambios tecnológicos en el área de fusión de concentrados impulsados por el endurecimiento de la normativa ambiental que obligó a introducir cambios tecnológicos de los hornos, lo que implicó una reducción en el uso directo de combustibles y su reducción de emisiones. Para el caso de la área refinería el motivo principal de esta disminución es la detención del horno de fusión de la refinería de Chuquicamata lo que provocó una disminución de los consumos de combustibles.

En las minas de rajo abierto se produce un aumento de las emisiones directas de los GEI debido a un incremento en el consumo de combustible. Este aumento se explica ya que las nuevas minas que han entrado en operación en la última década son de rajo abierto y por un envejecimiento de las minas existentes, lo que genera una baja en las leyes de los minerales, mayor dureza de los minerales y un aumento de las distancias de acarreo, lo que implica un mayor uso de combustible y por tanto mayores emisiones directas de GEI.

En los de tratamientos de los minerales lixiviables por la vía hidrometalúrgica, que comprenden los procesos de lixiviación, extracción por solventes y electro-obtención, han incrementado sus emisiones directas de GEI en la última década en un 82%, pasando de los 0,24 del año 2001 a los 0,44 millones de TM CO₂ en el año 2010. Este aumento se debe a que existió un incremento en el consumo de combustibles en esta área de producción debido principalmente a un importante crecimiento en la producción de cobre a partir de minerales lixiviables en el período.

En el caso de las áreas mina subterránea, concentradora y servicios prácticamente se mantienen las emisiones directas de GEI en la última década.

5.7. COEFICIENTES UNITARIOS POR PROCESO

Con la información recopilada de las empresas de la gran minería que contemplan cerca del 97% de la producción total del cobre en Chile, existen coeficientes unitarios de consumo eléctrico por unidad de cobre producido en cada área de proceso, permitiendo determinar los coeficientes de energía consumida por cada tonelada de material tratado en la respectiva etapa.

A continuación se muestran los coeficientes entregados del consumo de combustibles por áreas por tonelada de cobre fino (TMF) en el periodo 2001 al 2010.

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Mina Rajo (MJ/TMF en mineral)	4.307,9	4.595,0	4.446,4	4.442,4	4.196,4	4.465,0	5.119,6	5.634,4	6.764,3	6.217,7
Mina Subterránea (MJ/TMF en mineral)	947,0	1.069,7	1.129,0	1.006,0	1.333,1	1.563,9	1.808,5	1.297,6	1.530,1	1.092,5
Mina (1) (MJ/TMF en mineral)	3.808,4	4.076,9	3.964,4	3.932,9	3.799,9	4.084,6	4.702,9	5.186,4	6.155,9	5.705,9
Concentradora (MJ/TMF en concentrado)	200,4	188,8	203,4	176,2	215,8	185,4	188,6	233,4	238,6	206,4
Fundición (MJ/TMF en ánodos)	6.063,7	5.275,1	5.087,8	4.699,8	4.965,3	4.827,9	4.964,9	5.170,3	4.531,4	4.679,5
Refinería (MJ/TMF en cátodos ER)	1.284,2	1.378,4	1.401,7	1.475,2	1.751,7	1.603,7	1.504,0	1.195,1	1.097,3	869,1
LX/SX/EW (MJ/TMF en cátodos SX-EW)	2.278,9	2.329,4	2.620,6	2.669,1	2.905,5	2.893,8	3.094,6	3.080,1	3.003,1	3.185,1
Servicios (MJ/TMF total producido)	357,7	377,0	510,8	318,6	278,3	280,0	266,1	256,7	366,9	367,8

Tabla 5: Coeficientes Unitarios de Consumo de Combustibles por Áreas (por tonelada de fino en el producto de cada etapa). **Fuente: Cochilco.**

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

En el área de servicios se entiende a las labores de apoyo de aquellos consumos eléctricos en las faenas que no son asignables a un área productiva.

Los coeficientes unitarios de consumo eléctrico por unidad de TMF en cada proceso se indican en la siguiente tabla 6.

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Mina Rajo (MJ/TMF en mineral)	445,0	485,5	544,2	585,6	639,7	614,3	619,9	654,8	731,5	627,1
Mina Subterránea (MJ/TMF en mineral)	1.248,3	1.337,3	1.394,5	1.257,9	1.558,5	1.693,5	1.692,3	2.099,4	1.971,5	2.012,9
Mina (1) (MJ/TMF en mineral)	570,4	618,3	673,5	689,1	770,0	758,5	757,3	808,2	878,1	772,4
Concentradora (MJ/TMF en concentrado)	6.111,8	6.881,7	7.135,3	6.942,7	7.240,9	7.424,6	7.862,7	8.208,5	9.055,5	8.945,6
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	3.692,1	3.531,9	3.741,0
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	1.285,1	1.254,8	1.311,2
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	10.702,3	10.295,8	10.633,8
Servicios (MJ/TMF total producido)	524,8	556,0	500,3	515,9	576,1	502,5	443,2	558,0	615,4	679,7

Tabla 6: Coeficientes Unitarios de Consumo Eléctrico por Áreas (por tonelada de fino en el producto de cada etapa). **Fuente: Cochilco.**

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

Revisando los antecedentes de la participación en el consumo total de energía de cada una de las áreas en el año 2010 definidas del proceso de producción, se puede ver que mientras la explotación minera gasta un 88% de su consumo total como combustibles, en el área de concentración el consumo de energía eléctrica es de un 98% del total.

En el área de fundición, a contar de los primeros años de la década del 90 se experimentaron profundos cambios tecnológicos impulsados por medidas ambientales, lo que implicó una disminución en su consumo unitario de energía. Debido a esto, el área de fundición entre 1995 y 2010 disminuyó su participación relativa en el consumo total de energía del sector desde un 31,5% a un 10%, siendo que la producción del área tuvo un incremento en promedio en el mismo período de un 21%. Es posible ir bajando aun más los consumos unitarios de energía del área fundición, pero se requiere nuevos cambios tecnológicos.

La explotación minera fue incrementando su participación de consumo de energía como combustibles en la última década, esto se debe principalmente a que las nuevas minas que han entrado en operación en el período son de rajo abierto, por lo que a medida que avanza la explotación de este tipo de minas, se van produciendo mayores distancias y pendientes de acarreo de mineral, por lo que además van aumentando los materiales estériles, produciéndose un aumento de consumo de combustibles. En el período 2001-2010, los consumos de energía como combustibles en la mina se incrementaron en 67% mientras que la energía eléctrica también aumentó en 74%, principalmente debido al uso de correas transportadoras.

En el consumo eléctrico de la minería destacan los procesos de concentración de minerales sulfurados y el área de tratamiento de minerales lixiviables, que cuentan con un importante incremento en la última década. Este incremento se produce por un aumento en la producción de cobre a partir de este tipo de minerales en las últimas décadas.

El bombeo de soluciones en la etapa de lixiviación y extracción por solvente, y la electro-depositación, constituyen etapas del procesamiento hidrometalúrgico que son

consumidoras de una importante cantidad de electricidad, siendo su participación en el gasto eléctrico total de la minería de un 38% en el año 2010.

En Figura 20 se muestra la evolución de coeficientes unitarios de consumo de energía por áreas de procesos. En el gráfico podemos ver que los coeficientes unitarios de consumo de combustibles y energía eléctrica aumentan en todas las áreas, principalmente en los procesos de mina y concentradora.

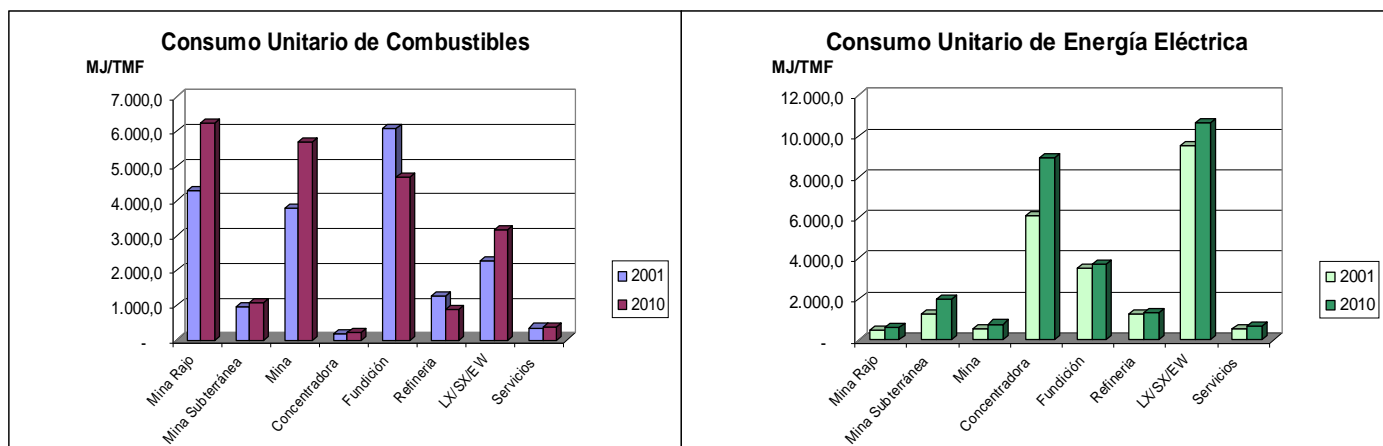


Figura 20. Consumos Unitarios de Energía por Área de Producción **Fuente: Corporación Chilena del Cobre.**

6. ESTUDIO DE LA NORMATIVA Y APLICACIÓN EN EL SECTOR MINERO

Debido a la importancia de los consumos energéticos en la minería explicados anteriormente, es necesario que en la industria se realice una efectiva gestión de la energía siendo un tema crucial para el éxito de cualquier proyecto futuro, considerando las dificultades actuales de contar con diferentes fuentes energéticas. Es por esto que un Sistema de Gestión de la Energía permitiría un uso eficiente, ahorrando costes en conjunto con una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, dándole una ventaja competitiva a los diferentes proyectos.

El incremento de la eficiencia energética requiere la identificación de las áreas donde la ésta es empleada, donde se desperdicia y donde cualquier medida de ahorro tendrá el mayor efecto. En este contexto, existen diferentes normativas que entregan distintas herramientas que permiten mejorar la eficiencia energética. La norma más actual es la norma internacional ISO 50001, que fue aprobada en septiembre de 2011 siendo la sucesora de la europea EN 16001 (julio de 2009). Esta norma fue desarrollada por el comité de la ISO / PC 242 de gestión de la Energía, la cual se llevó a cabo con la participación de los miembros de la ISO de cuarenta y dos países, con otros 10 en calidad de observadores.

La norma 50001 cuenta con un sistema de gestión desarrollado en forma independiente y compatible con otros sistemas de gestión ya existentes, como son los que se encuentran en la norma ISO 9001, ISO 14001, OSHAS 18001 y otros, pudiendo integrarse partes y metodologías comunes. Un esquema de la formación de la norma ISO 50001 se muestra en figura 21.

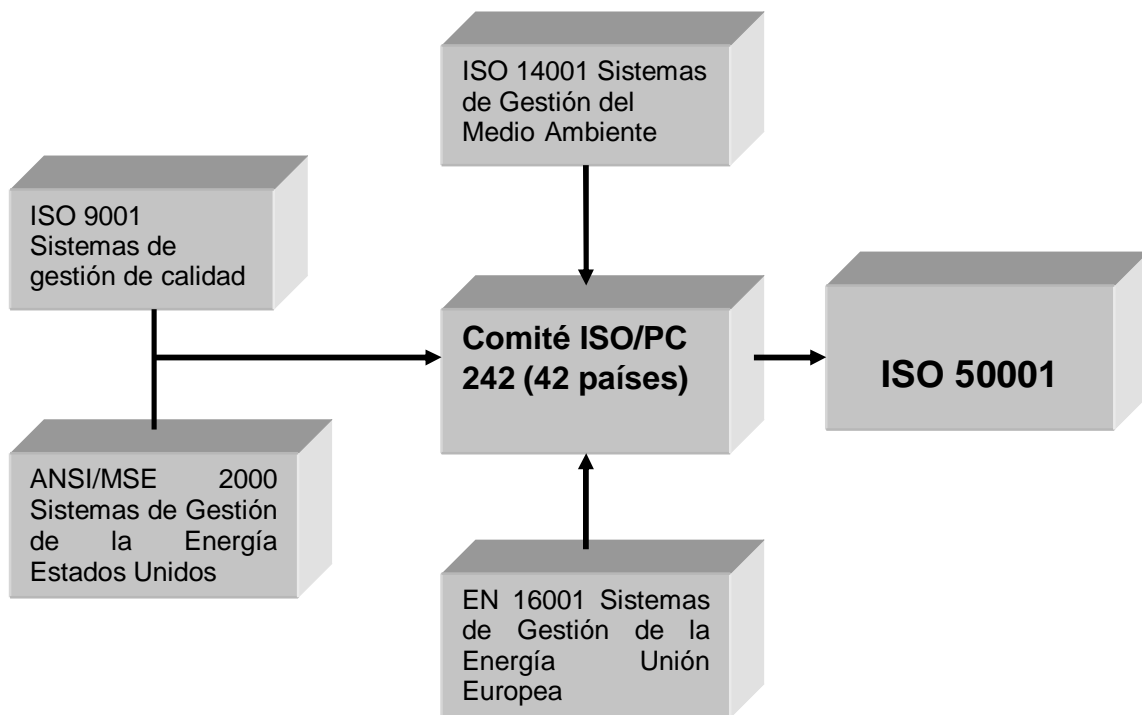


Figura 21: Elaboración de la norma ISO 50001.

La anterior norma EN 16001 entre otras cosas, permite representar las mejores prácticas en la gestión de la energía en edificios, por encima de cualquier norma o iniciativa nacional. Además, esta norma detalla los requerimientos necesarios para un Sistema de Gestión de la Energía, logrando que la organización pueda desarrollar e implantar una política, identificando áreas significativas de consumo energético y así poder localizar las reducciones pertinentes.

La norma ISO 50001 se enfoca más en establecer un marco para las plantas industriales, instalaciones comerciales u organizaciones que permitan gestionar toda la energía, logrando una amplia aplicabilidad en sectores económicos, pudiendo llegar a influir en gran manera en el consumo energético del mundo. Esta norma posee elementos comunes que se pueden encontrar en todas las normas ISO de administración de sistemas, por lo que logra un alto nivel de compatibilidad con la norma ISO 9001 (gestión de calidad) e ISO 14001 (gestión medioambiental).

La componente técnica y tecnológica de la norma ISO 50001 tiene un peso mucho mayor que en cualquiera de las otras normas, debiendo estar dirigida por responsables con amplios conocimientos en el sector.

6.1. NORMA EN- 16001:2010

Esta norma establece un marco internacional para la gestión de los aspectos relacionados con la energía, en los que incluye su uso y adquisición para todo tipo de instalaciones y edificios. Establece los sistemas y procesos necesarios para mejorar la eficiencia energética en sus operaciones, proporcionando las estrategias, técnicas y

de gestión con las que puedan incrementar su eficiencia energética. Así logra una reducción de costos y mejora su desempeño medioambiental, permitiendo una disminución de las emisiones de carbono en sus propias instalaciones.

La norma entrega las herramientas para que una organización pueda crear un auténtico Sistema de Gestión de la Energía. Este sistema debe partir del análisis de los distintos procesos, permitiendo mejorar energéticamente de forma individual, lo que sumado a otras mejoras generales, se puedan conseguir los objetivos planteados por la dirección de la organización.

En la norma se especifican los requisitos que debe cumplir un sistema de gestión de la energía, el cual requiere principalmente:

- El desarrollo de una política energética clara.
- La identificación clara del consumo de energía, considerando los datos históricos, los actuales y en el futuro en una organización.
- El desarrollo de un plan de medición de la energía. El análisis del consumo de energía actual versus el previsto, permitiendo a las empresas implantar planes para ayudar a mejorar la eficiencia.

Al igual que las normas de gestión, la norma EN 16001 se enfoca en la conocida metodología que consiste en las etapas de Planear-Ejecutar-Verificar-Actuar.

- **Planear:** Se debe identificar los aspectos energéticos, en conjunto con las obligaciones legales de energía y estableciendo objetivos y metas.
- **Ejecutar:** Se debe realizar la asignación de recursos y responsabilidades, permitiendo aumentar la conciencia en la organización, proporcionando la formación adecuada, con una comunicación en forma interna y externa, estableciendo la documentación y aplicar los controles operacionales adecuados.
- **Verificar:** Se debe establecer la medición y seguimiento del programa de gestión de la energía, evaluando el cumplimiento de las obligaciones legales. Se debe identificar y gestionar las no conformidades y el control de los documentos. Es necesario llevar a cabo las auditorías internas del sistema de gestión de la energía.
- **Actuar:** La alta dirección debe realizar la revisión de los cambios potenciales del sistema de gestión de la energía.

En un sistema diseñado de acuerdo a lo establecido por la norma EN 16001 no necesariamente establece exactamente cómo se ejecutan las operaciones, sino que entrega las herramientas para proporcionar un marco que permita la gestión eficaz de la energía.

Esta norma no entrega las soluciones técnicas a los procesos donde se produce mayor consumo de energía, pero sí proporciona un esquema y habilita un enfoque sistemático para un mejoramiento continuo de la eficiencia y uso sostenible de la energía en una organización, definiendo un proceso de cambios necesarios para desarrollar las consideraciones de eficiencia energética en la ejecución de las decisiones cotidianas.

6.1.1. Beneficios del uso de la norma EN 16001

Con el estándar EN 16001 es posible identificar las áreas donde es más crítico el uso de la energía, el cual se logra a través de un desarrollo y una correcta implementación de un sistema de gestión energética (EnMS), estableciendo objetivos, metas y planes de acción. La norma permite trabajar en forma independiente del tamaño de la organización, y se obtendrá el nivel de precisión y complejidad de los EnMS para cada organización en forma individual, permitiendo ser usado en forma independiente o integrarse con cualquier otro sistema de gestión, teniendo una estructura similar a la del estándar de gestión medioambiental ISO 14001.

Al contar con una certificación de sistema de gestión de energía en base a la norma EN 16001, se podrá optar más fácilmente al estándar ISO 50001.

Entre las ventajas más importantes de correcto uso del estándar EN 16001 podemos encontrar:

- **Disminución de emisiones de Gases Efecto Invernadero:** A través de la implementación de esta norma se podrá conocer los objetivos obligatorios actuales o futuros sobre los requisitos de la legislación acerca de la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), satisfaciendo las expectativas y obligaciones de los accionistas en la actualidad y en el futuro.
- **Seguro suministro de energía:** Permitirá comprender su exposición a posibles riesgos energéticos, identificando las áreas con mayor peligro de la organización logrando un suministro de energía con mayor confiabilidad.
- **Mejorar los resultados empresariales:** Se podrá incrementar la productividad mediante la identificación de soluciones técnicas precisas y el cambio de los comportamientos que afecten a la reducción del consumo energético.
- **Política energética y objetivos claros:** Se podrá promocionar una política de gestión energética integrando el pensamiento de eficiencia energética de la organización.
- **Reducción de costes a largo plazo:** La correcta implementación permitirá reducir los costes de energía a través de un enfoque estructurado para la identificación, medición y gestión del consumo energético.
- **Motivación de la innovación:** Permitirá desarrollar e impulsar nuevas oportunidades para los productos y servicios en la economía que cuenten con un bajo consumo de carbono del futuro.
- **Involucramiento de la alta dirección:** Constará de un claro involucramiento de la alta dirección, posicionando la gestión energética como un elemento clave para la empresa.
- **Integración de los sistemas de gestión:** Permitirá alinear el sistema de Gestión Energética con los diferentes sistemas de gestión existentes incrementando los beneficios.
- **Flexibilidad y fácil adaptación:** Permitirá su aplicación a cualquier organización, tanto para grandes o pequeñas y en cualquier rubro de la industria.

6.2. NORMA ISO 50001

La norma ISO 50001 fue desarrollada en el año 2008 por la Organización Internacional de Normalización, ISO en inglés, y publicada el segundo semestre del 2011, se prevé que tenga una importante participación en el consumo mundial de energía en el futuro. Este estándar establece un esquema internacional que permitirá ayudar a gestionar el suministro, uso y consumo de energía por parte de organizaciones industriales, comerciales o institucionales, donde es posible incluir la medición, documentación, prácticas de diseño y aprovisionamiento para equipos que consuman energía, sistemas y procesos. En base a que la energía y su consumo se torna cada vez más crítico en las organizaciones, todo indica que la ISO 50001 tendrá un impacto importante sobre el comercio internacional, siendo su adopción impulsada principalmente por los países de EE.UU., Canadá, la UE ampliada, Japón, Corea, China, Brasil e India. Se cree que el comportamiento de enfoques de esta norma basados en el uso de energía, puede llevar a una reducción de hasta un 50% en el uso de la energía, sin que estas medidas puedan comprometer la producción.

La energía es un elemento fundamental en las operaciones de una organización y puede representar costos importantes dentro del balance total, independientemente de las actividades que desarrollen. Es por esto que las mejoras en la eficiencia energética pueden generar aumentos en la rentabilidad de la organización. Además de lo económico, el mal uso de la energía puede generar costos ambientales y sociales. Las organizaciones como consumidores de energía no pueden influir directamente en los precios de la energía, pero sí pueden tener influencia directa en cómo gestionar su consumo energético y su eficiencia. La mejora del rendimiento mediante la norma ISO 50001 puede generar beneficios directos en una organización a través de la maximización de la utilización de sus fuentes de energéticos y los activos relacionados.

La norma ISO 50001 se basa en el sistema de gestión PHVA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar), tal como se muestra en figura 22, que consiste en: **Planificar**, se establecen los objetivos y procesos necesarios para obtener resultados de acuerdo a las oportunidades para realizar mejoras al desempeño energético de la compañía y sus políticas, **Hacer**, se implementa el proceso, **Verificar**, se monitorea y mide los procesos y productos en base a las políticas, objetivos y características clave de las operaciones reportando los resultados, **Actuar**, se toman las acciones para una mejora continua del desempeño energético. Este modelo posee características similares a otros sistemas de gestión, los cuales pueden estar ya implementados y aplicados en las organizaciones de todo el mundo, tales como son las ISO 9001 e ISO 14001. El principio “medir para identificar, e identificar para mejorar”, implantado en un Sistema de Gestión Energética de acuerdo a la norma ISO 50001 permite a las administraciones públicas y empresas privadas que cualquier inversión en esta línea tenga un retorno económico a corto plazo, lo que no sucede necesariamente con otros sistemas de gestión medio ambientales.



Figura 22: Sistema de gestión ISO 50001, **fuentes SGS**

La norma contiene los requisitos para los sistemas de gestión de energía (ENMS), pudiendo ayudar a diferentes organizaciones, grandes y pequeñas, en la gestión. Aunque es particularmente relevante si se opera en una industria de uso intensivo de la energía o frente a las emisiones de gases de efecto invernadero o por regulaciones. Los requisitos especificados en la norma, permitirán a una organización establecer, implementar, mantener y mejorar un ENMS, habilitando a la organización a tomar un enfoque sistemático para lograr un mejoramiento continuo de su rendimiento energético. Es importante que la ISO 50001 se aplique a todos los aspectos que afectan el consumo de energía, los cuales deben ser monitoreados y modificados por una organización.

Es necesario que la organización desarrolle e implemente una política energética, donde se establezcan objetivos, metas, y planes de acción, que tengan en cuenta los requisitos legales y la información relacionada con los usos significativos de energía. Un ENMS permitirá a una organización alcanzar sus compromisos de política, tomando las medidas necesarias para mejorar su rendimiento energético, permitiendo demostrar la conformidad del sistema a los requerimientos. Es importante que la aplicación de la norma ISO 50001 pueda ser adaptada a la organización en forma particular, incluyendo la complejidad y las diferentes variables del sistema, en conjunto con las necesidades de documentación y con la cantidad de recursos que dispone cada organización.

El buen uso de esta norma permitirá a las organizaciones establecer sistemas y procesos necesarios para mejorar continuamente su rendimiento energético, cuyo objetivo sea fomentar principalmente, las reducciones en el consumo de energía, las emisiones de gases de efecto invernadero y otros impactos ambientales relacionados, por medio de una gestión sistemática de la energía.

Es importante destacar que al igual como se comportan otras normas de administración del sistema, la implementación exitosa de ésta, dependerá del compromiso de todos los niveles y funciones de la organización, en conjunto con un compromiso real y decidido desde la alta dirección, tal como se muestra en el esquema de roles de figura 23. La correcta implementación de esta norma, demostrará

que la organización tiene sistemas activos de gestión de energía sostenible, que ha completado un análisis de base de uso energético y que se ha comprometido a mejorar continuamente su gestión energética.

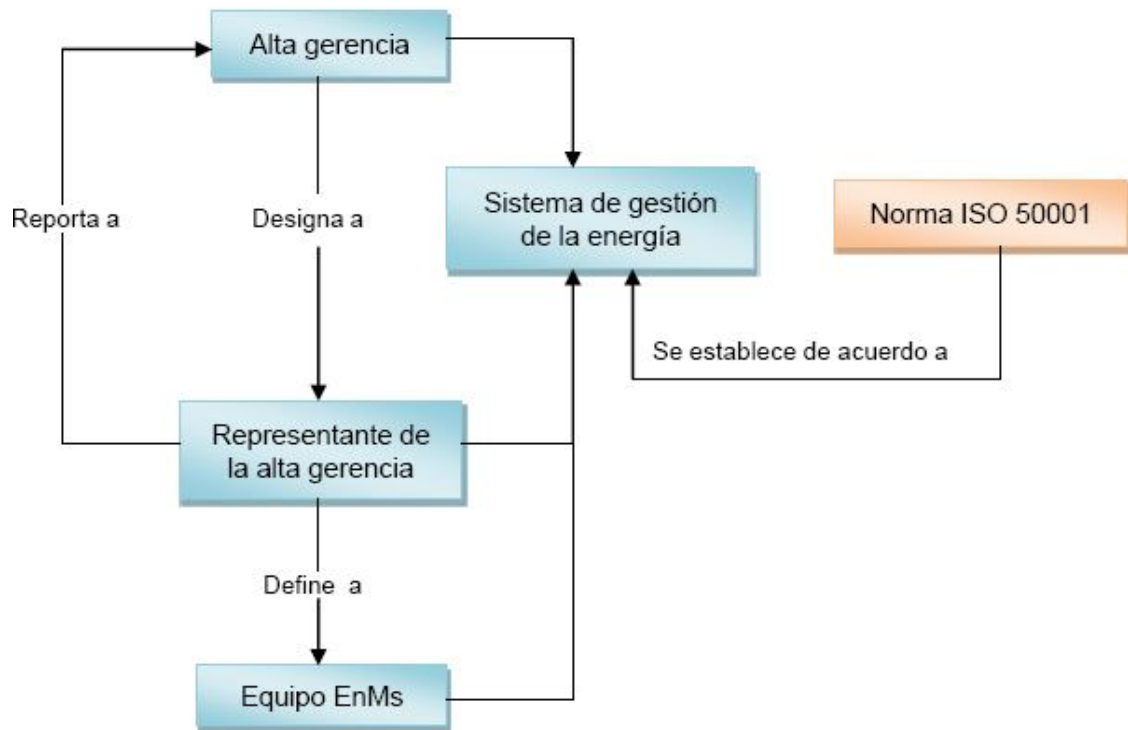


Figura 23: Esquema de roles. Fuente: Aspectos tecnológicos en la implementación de sistemas de gestión de energía. Dra. Ing. Ingeborg Mahla

El uso de la norma ISO 50001, implica que las organizaciones deben contar con mediciones y registros de sus consumos energéticos en sus principales procesos, estableciendo indicadores energéticos, por lo que se deben tener contempladas metas de cumplimiento. Además tienen que incorporar buenas prácticas en los procesos de compra y diseño de nuevas instalaciones, por lo que es necesario considerar alternativas de tecnologías más eficientes, las que serán evaluadas no sólo por el coste inicial, sino que por lo relacionado con el consumo de energía durante su vida útil.

Debido a que existen elementos comunes entre sistemas de gestión, el poseer una certificación en base a EN 16001 permitirá una rápida adopción del estándar ISO 50001.

Existen diferentes beneficios que se encuentran relacionados en forma directa e indirecta con la implantación de la norma ISO 50001, los cuales poseen diferentes aristas, como pueden ser los aspectos económicos, medio ambientales, operativos y de imagen. Entre las ventajas de utilizar esta norma podemos encontrar lo siguiente:

- Permite crear un marco para la integración de la eficiencia energética en las prácticas de gestión de la organización.
- Puede mejorar la eficiencia energética de los procesos y sub procesos de la organización en forma sistemática, tomando conciencia y control de la cantidad de energía consumida en cada proceso y las medidas de

ahorro energético para los procesos consumidores de energía en la organización.

- Establece, implementa, mantiene y mejora un sistema de gestión energética en forma dinámica, logrando promover la eficiencia energética en toda la cadena de suministro.
- Permite demostrar a otras organizaciones un buen uso de sus sistemas, mediante la certificación de su sistema de gestión energética por una organización externa, logrando un reconocimiento e imagen de cara al exterior, en los que se cuentan: clientes, proveedores, accionistas, opinión pública, a la hora de tener un compromiso con un consumo energético sostenible.
- Al tener implementada la norma se conseguirán mejoras comerciales, debido a un aumento de la competitividad, y una apertura de nuevos mercados, pudiendo tener una prioridad en licitaciones.
- Se reducen los costes en el corto, medio y largo plazo, a través de una optimización del uso de recursos, y una disminución de la intensidad energética, mejora la relación: consumo energético/PIB.
- Se realiza una prevención de costes, por lo que se genera una herramienta idónea para facilitar el cometido del Gestor Energético, con la implantación de actuaciones provenientes de auditorías energéticas.
- Se logra obtener un mejor uso de los activos que consumen energía, controlando las desviaciones correspondientes.
- Permite tener una evaluación comparativa de medición, documentación y presentación de informes, lo que logra obtener mejoras en la intensidad energética y los efectos directos en la reducción de gases de efecto invernadero (GEI).
- Se genera una transparencia y una fluida comunicación sobre la gestión de los recursos energéticos.
- Se logra evaluar y priorizar la aplicación de nuevas tecnologías a utilizar en la eficiencia energética, aumentando la competitividad de la organización gracias a las nuevas tecnologías que se implementan en los productos y servicios. Además permite fomentar el uso de energías renovables.
- En los países en vía de desarrollo, la norma constituirá una fuente importante de know-how tecnológico para las organizaciones, a través de una definición de las características que se esperan de los productos y servicios para ser exitosos en los mercados de exportaciones, implicando una correcta toma de decisiones.

6.2.1. Política Energética norma ISO 50001

La política energética es un elemento importante a la hora de realizar la implementación de la norma ISO 50001, ya que permitirá determinar los límites del sistema de gestión de la energía, considerando la naturaleza y el impacto del uso de la energía por la organización.

Se deberán establecer compromisos que vayan en la dirección de una mejora continua del rendimiento energético, asegurando que se encuentre disponible la información y todas las fuentes que sean necesarias, que logren los objetivos y metas, considerando cumplir siempre con los aspectos legales.

La política tendrá que entregar un marco que pueda establecer y revisar los objetivos y metas. Se deberá respaldar la adquisición de productos y con servicios eficientes en el uso de la energía.

La política energética de la norma ISO 50001 incluye diferentes compromisos, entre los cuales podemos encontrar:

- Una mejora continua en el desempeño energético, siendo resultados medibles de la gestión que realiza una organización en sus controles.
- Una mejora continua en la eficiencia energética, optimizando la relación entre la producción de un bien, servicio o energía, con el gasto de energía, a través de un buen rendimiento energético, que son resultados medibles de la eficiencia energética, del uso y consumo de energía.
- Que existan pautas claras que consigan el cumplimiento real de la legislación existente.
- Que se consideren objetivos de mejora, que puedan ir desarrollándose en forma continua.

En figura 24 se muestra un diagrama de enfoques de la norma ISO 50001, donde se identifica la importancia de la política energética en la organización.

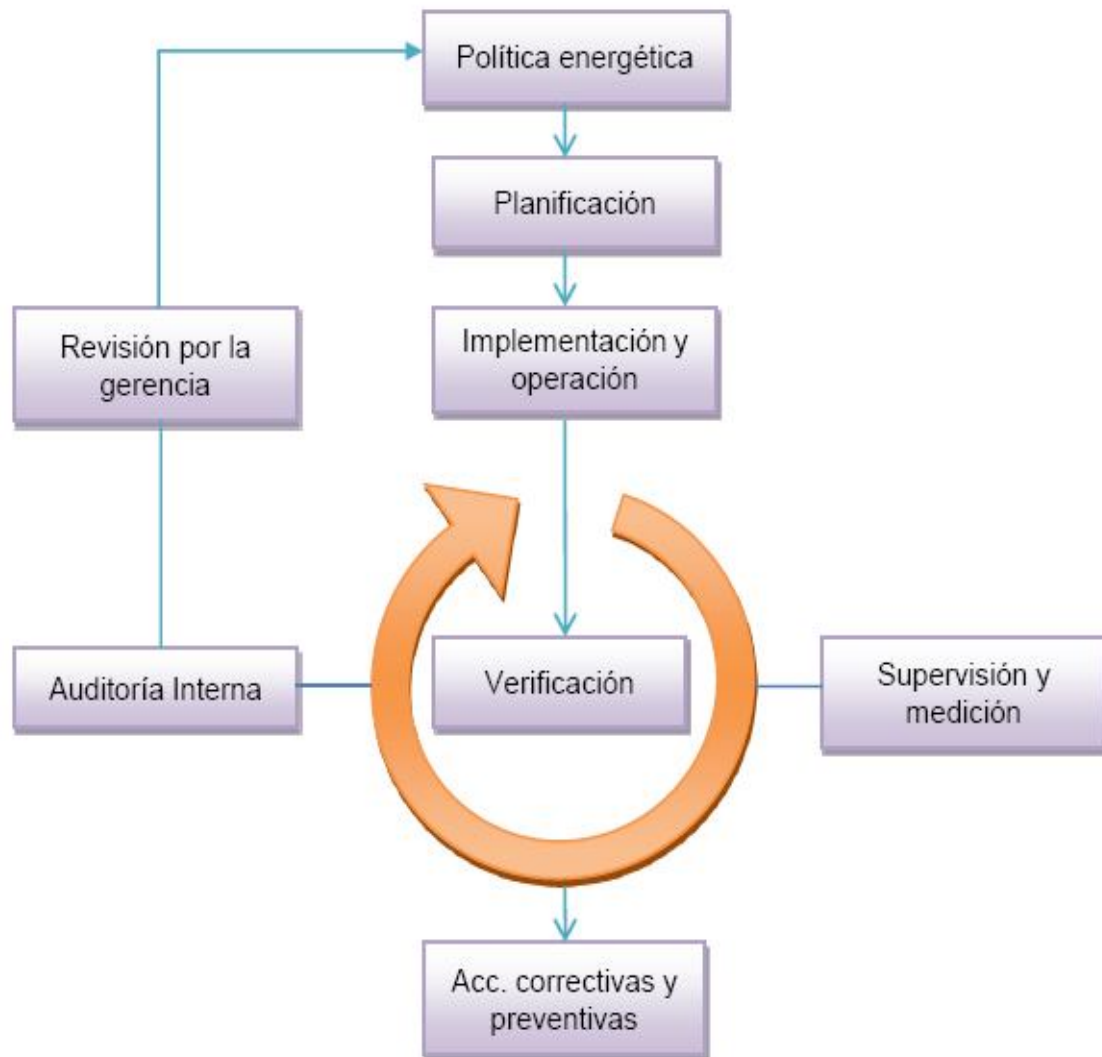


Figura 24: Enfoque de la norma ISO 50001.

6.2.2. Planificación Energética

La planificación energética es otro de los elementos importantes de la implementación de la norma ISO 50001, donde se buscan los elementos con características que den una valoración necesaria para determinar los posibles puntos que permitan una mejora de eficiencia y optimización energética. Esta planificación consiste en tres principios, los cuales se detallan a continuación:

- Es necesario una revisión energética inicial, la cual es el punto de partida de la planificación. La realización de la revisión es un elemento necesario e imprescindible, y que en algunos casos es precedida de una auditoría energética, la que puede ser realizada en forma total, parcial o por procesos.
- Se establece una línea base que permite entregar los lineamientos generales.

- Se desarrollan los Indicadores del Rendimiento Energético que permitirán medir.

Debido a la importancia de conocer dónde se usa la energía en la organización, es importante realizar la revisión energética inicial, el establecimiento de la línea base y la contabilidad energética, lo que permitirá centralizar los esfuerzos en la reducción del consumo energético. Dependiendo del tamaño de la organización y del consumo energético se obtendrá el grado de detalle.

En la planificación es necesario identificar las instalaciones, equipos, servicios, procesos energéticos que tengan un mayor uso, considerar los que posean un mayor potencial de ahorro, o los que puedan haber sufrido cambios significativos en el uso.

El desglose de los indicadores deberá estar acorde al grado de complejidad de los procesos energéticos de la organización. Se pueden identificar por ejemplo los siguientes:

- Fluidos: Vapor; Aceite Térmico; Agua; Aire Comprimido, etc.
- Combustibles: Gasóleo; Gasolina; Gas Natural; Carbón; Bioetanol; Biomasa; etc.
- Equipos y/o Instalaciones: Calderas; Motores; Intercambiadores de Calor; Turbinas; Bombas; Maquinaria Pesada, etc.
- Procesos Energéticos: Climatización y Ventilación; Iluminación; Inyección; Transporte, etc.

Los planes de acción de los indicadores de Rendimiento Energéticos, deben realizarse en forma sistemática, a través de criterios que permitan discernir oportunidades en la mejora energética, logrando establecer objetivos, metas y planes de acciones basados en ahorro y eficiencia energética. Entre los criterios a considerar se encuentran los siguientes aspectos:

- Es necesario conocer los usos pasados y presentes de los diferentes procesos, los cuales deben estar basados en mediciones y otros datos que puedan registrarse.
- Se debe realizar una identificación de las diferentes operaciones, actividades, productos, servicios, equipos y sistemas que tengan una importante influencia en el uso de la energía de la organización.
- Se debe realizar la estimación del consumo energético esperado, en base a la información histórica con que se cuenta y a las perspectivas que posee la organización.
- Es importante que la organización ocupe solamente criterios energéticos, teniendo una aplicación objetiva de los indicadores, en coherencia con la organización y que cuente con el dinamismo que requiere realizar una mejora continua.
- Se debe realizar una identificación clara de funciones de las personas que son parte de la organización y que posean una influencia importante en el uso de energía.
- Se requiere de una identificación de las diferentes fuentes energéticas utilizadas, permitiendo el uso potencial de energías renovables y de otras fuentes energéticas, que no han sido consideradas por la organización, las cuales pueden ser propias o suministradas por terceros.
- Es necesario que la organización tenga una seguridad y calidad del aprovisionamiento energético

Los requisitos legales y otros requisitos, consideran una sistemática de identificación que considera lo siguiente:

- Cómo se identifica y accede a las obligaciones.
- Cómo se aplican éstas a sus aspectos energéticos.

Estos requisitos deben ser asimilados por la organización y deben estar presentes en su sistema de gestión energética.

En figura 25 se muestra un diagrama de la planificación energética de la norma ISO 50001, donde se identifica las diferentes aristas para su conformación.

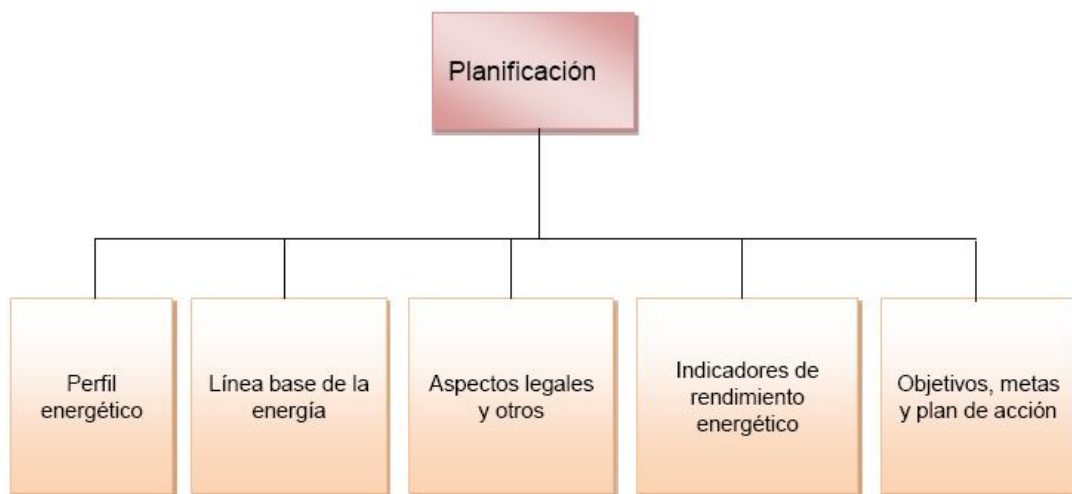


Figura 25: Planificación energética norma ISO 50001.

6.3. DIFERENCIAS ENTRE LA NORMA EN 16001 E ISO 50001

La norma ISO 50001 posee algunas mejoras sustanciales con respecto a la norma EN 16001, por lo que estaría destinada a sustituir a su predecesora. Estos cambios están focalizados principalmente en la desaparición del concepto de “aspecto energético” por un mayor énfasis en el concepto de revisión energética y cálculo de la línea base. La norma ISO 50001 tiene un carácter más técnico en comparación de la norma EN 16001, lo cual permite acercarla al concepto de auditoría energética, que es equiparable con el de revisión energética. Otros cambios tienen que ver con la introducción de algunas especificaciones para el control de operacional en los requisitos para la compra de energía.

La norma ISO 50001 posee requisitos más detallados en comparación con la norma EN 16001, entre los cuales podemos encontrar:

- Se ejecuta un balance periódico con la línea base establecida.
- Se realiza una mayor captura y monitorización de datos.
- Se incentiva la comparación de resultados con otras compañías.
- Se realiza una mayor implantación de los planes de acción y mejoras.

Con respecto a la Planificación Energética en comparación con los Aspectos energéticos de la norma EN 16001, la norma ISO 50001 incentiva en mayor medida la realización de una revisión energética inicial, estableciendo una línea base, lo que permitirá constituir indicadores de desempeño energético que pueden agruparse por procesos, instalaciones y/o equipos.

Las diferencias en el Control Operacional de la norma ISO 50001 en comparación con la de la norma EN 16001, es que la primera norma ejecuta un plan de medida, realizando la estimación sólo en casos justificados, con reglas claras de mantenimiento que logren una mayor eficiencia energética. Otra diferencia a la que apunta la norma ISO es que se desarrollen procedimientos de eficiencia energética, ya sea para equipos e instalaciones, y con procedimientos de compras para equipos, instalaciones y suministros de energía. Además se requiere realizar un inventario actualizado de equipos consumidores.

Con respecto a la diferencias entre el seguimiento y medición de la norma EN 16001 con la monitorización, medida y análisis de la norma ISO 50001, esta última profundiza en mayor medida la captura y monitorización de datos, con los respectivos análisis y con la actuación de los mismos. Además incentiva a realizar balances periódicos con respecto a la línea base establecida por la organización, implementando los planes de acción y mejoras y comparación de resultados con otras compañías.

En tabla 7 se muestra un cuadro comparativo de algunas diferencias entre las normativas EN 16001 e ISO 50001.

TEMA	ISO 50001	EN 16001
Política energética	La norma requiere de un compromiso real de la organización y la gerencia a través de la política energética, que se encuentre relacionado con la adquisición de productos y servicios energéticamente eficientes.	La norma sólo requiere la consideración en la política del consumo de energía al comprar equipos de consumo de energía, sin que se tengan otras exigencias.
Oportunidades de mejora del rendimiento energético	La norma recomienda que las oportunidades de mejora del rendimiento energético deban ser consideradas principalmente en el diseño, modificación y renovación de instalaciones, equipos, sistemas y procesos de consumo energético significativo.	La norma sólo considera las instalaciones, equipos, edificios y plantas.
Caracterización energética	La norma considera en el ENMS el alcance del suministro de energía.	La norma sólo se refiere a la eficiencia energética.
Sistemas de medición	En la norma se considera la renovabilidad e intensidad del carbono, relacionadas con el suministro de energía, incentivando la disminución de las emisiones de GEI.	La norma requiere que las organizaciones posean un plan de medición.

Tabla 7: Cuadro de comparación entre norma ISO 50001 y EN 16001

6.4. COMPARACION ENTRE LA NORMA ISO 50001 E ISO 14001

Tal como se ha comentado anteriormente el sistema de gestión de la norma ISO 50001 posee elementos comunes con normas ya existentes, que permiten una rápida implementación y una compatibilidad como por ejemplo las normas ISO 9001 y la ISO 14001, por lo que se pueden ir desarrollando en forma paralela, aportando un valor agregado a la organización. Aunque la norma ISO 50001 cuenta con un gran número de puntos comunes con la norma para gestiones ambientales ISO 14001, como la mejora continua de los procesos, identificación y evaluación de aspectos, establecimiento de responsabilidades, etc., existen diferencias significativas.

En comparación con la norma ISO 14001, la norma ISO 50001 trata de eliminar la inercia de los sistemas de gestión, disminuyendo lo más posible el papeleo que no sea absolutamente necesario, con una reducción de procedimientos de las actividades, siempre que se mantengan los objetivos y requisitos de la norma. Además en la norma ISO 50001 existe una componente técnica y tecnológica con un peso mucho mayor que en cualquiera de las otras, siendo dirigida por responsables que posean amplios conocimientos en el sector. La ISO 50001 pone un mayor énfasis en la mejora continua del desempeño energético, incluyendo el uso de la energía, la eficiencia y el consumo, en cambio, la ISO 14001 permite identificar sistemáticamente y gestionar todos sus impactos ambientales en el sentido más amplio.

En tabla 8 se muestra un cuadro comparativo entre las normas ISO 14001 e ISO 50001.

ISO 14001	ISO 50001	COMPARACION ENTRE NORMAS ISO 50001 E ISO 140001
1. Ámbito de la aplicación	1. Ámbito de aplicación de la norma	La norma ISO 50001 se enfoca en el rendimiento energético, considerando la eficiencia energética, el uso de la energía y el consumo de energía.
2 Referencias normativas	2 Referencias normativas	En la norma ISO 50001 no han sido citadas.
3 Términos y definiciones	3 Términos y definiciones	La norma ISO 50001 se orienta en definiciones que tengan que ver con la energía, por lo que se introducen nuevas definiciones como por ejemplo barreras, corrección, energía base, consumo energético, equipo de gestión de la energía, indicadores de eficiencia energética, la revisión de la energía, servicios energéticos, el uso de energía.
4.1 Requisitos generales	4.1 Requisitos generales	La norma ISO 50001 se concentra en los sistemas de gestión de la energía.
4.2 Política ambiental	4.3 Política energética	La norma ISO 50001 apunta en la necesidad de que una política específica tenga relación con la energía, siendo utilizado como un recurso necesario, documentado y revisado, con el propósito principal de lograr una mejora de rendimiento energético, más que el

		desempeño ambiental y prevención de la contaminación. Esta política refleja la relación entre la actividad de la empresa y el correspondiente consumo de energía.
4.3 Planificación	4.4 Planificación energética 4.4.1 Generalidades	En la norma ISO 50001 se destaca la necesidad que un proceso de planificación energética sea coherente con la política de energía, teniendo como objetivo la revisión de las actividades de la organización que pudieran afectar al rendimiento de la energía.
4.3.1 Aspectos ambientales	4.4.3 Revisión de Energía 4.4.4 Energía de base 4.4.5 Indicadores de Rendimiento Energético	En la ISO 50001 se desarrolla un mayor nivel de detalles de lo que podría incluir una revisión de la energía, considerando la revisión histórica, actual y el consumo de energía que se requiere, lo que permitirá establecer la base del consumo energético y la identificación de los indicadores de rendimiento energético. El propósito de la revisión será conocer las áreas de consumo de energía que representan un mayor uso de energía o que puedan ofrecer un mayor potencial de ahorro de energía.
4.3.2 Legales y otros requisitos	4.4.2 Requisitos legales y otros requisitos	La norma ISO 50001 considera los requisitos legales que puedan ser aplicables y otros que se encuentren ligados a las perspectivas de la energía solamente.
4.3.3 Objetivos, metas y programa(s)	4.4.6 Objetivos energéticos, los objetivos de energía y planes de acción de gestión de la energía	En la norma ISO 50001 se considera que los objetivos, metas y planes deban ser compatibles con la política energética y con el uso significativo de la energía y las oportunidades que se encuentren, siendo esto más importante que la relación con los aspectos medioambientales de la ISO 140001.
4.4 Implementación y operación	4.5 Aplicación y operación	Sólo consta de un único título.
4.4.1 Recursos, funciones, responsabilidad y autoridad	4.2 Responsabilidad de la dirección 4.2.1 La alta dirección 4.2.2 Representante de la dirección	En la norma ISO 50001 se especifica las responsabilidades claras correspondientes a la alta dirección y de los representantes de la dirección, esto viene indicado de forma explícita a través de la formación de un equipo de gestión de la energía, con indicadores de energía apropiados y otros elementos que puedan ayudar al control, con un

		compromiso real de la dirección.
4.4.2 Competencia, formación y concienciación	4.5.2 Competencia, formación y concienciación	No existen diferencias significativas entre las normas.
4.4.3 Comunicación	4.5.3 Comunicación	La norma ISO 50001 permite que desde la organización se pueda tomar la decisión, si es que es necesario comunicar externamente la política energética, para lo cual se requiere documentar esta decisión. Esto genera que se deba establecer e implementar un método para realizar esta comunicación por parte de la organización.
4.4.4 Documentación	4.5.4 Documentación 4.5.4.1 Requisitos de documentación	En la norma ISO 50001 se destaca que el grado de documentación pueda ir variando en función de cada organización, ya sea según sea su actividad, si tiene un proceso complejo, etc.
4.4.5 Control de documentos	4.5.4.2 Control de documentos	No existen diferencias significativas entre las normas.
4.4.6 Control operacional	4.5.5 Control operacional 4.5.6 Diseño 4.5.7 Obtención deservicios energéticos, productos, equipos y energía	En la ISO 50001 se introducen nuevos requisitos que se encuentran relacionados con el diseño y adquisición de energía. Además, resulta necesario el que se establezcan criterios para examinar los costes en la adquisición de la energía, para lo cual se pueden utilizar los servicios, productos y equipos que se crea que tengan un impacto significativo sobre el rendimiento energético de la organización.
4.5 Título	4.6 Título	Este punto se refiere solamente al título.
4.5.1 Seguimiento y medición	4.6.1 Seguimiento, medición y análisis	En la norma ISO 50001 el seguimiento, medición y análisis es más específico, ya que estipula una serie de requisitos mínimos, los cuales deben ser controlados, medidos y analizados, incluyendo los usos de energía significativos y posibles variables relevantes. Además es necesario considerar otros factores de revisión de la energía, como son los indicadores energéticos, la eficacia de los planes de acción en el logro de objetivos y las metas auto impuestas en cuanto a energía y la evaluación de la tasa de consumo real, el cual es comparado con

		el consumo de energía esperado.
4.5.2 Evaluación del cumplimiento	4.6.2 Evaluación del cumplimiento con los requisitos legales y otros requisitos	No existen diferencias significativas entre las normas.
4.5.3 No conformidad, acciones correctivas y acción preventiva	4.6.4 No Conformidades, corrección, acción correctiva y acción preventiva	No existen diferencias significativas entre las normas.
4.5.4 Control de los registros	4.6.5 Control de los registros	No existen diferencias significativas entre las normas.
4.5.5 Auditoría interna	4.6.3 La auditoría interna del ENMS	En la norma ISO 50001 se refuerza la necesidad de la verificación de las medidas adoptadas, que serán los objetivos energéticos establecidos con sus metas, y la mejora del rendimiento energético. La norma considera necesario que se realice la notificación de los resultados de la verificación.
4.6 Revisión	4.7 Revisión por la dirección 4.7.1 Generales 4.7.2 Recogida de información para la revisión por la dirección 4.7.3 Salida de información de la revisión por la dirección	En la norma ISO 50001 se enfoca en el ENMS y establece una información más detallada incluyendo la eficiencia energética e indicadores energéticos relacionados.

Tabla 8: Cuadro de comparación entre norma ISO 50001 y ISO 14001. Fuente bsigroup

7. CARACTERIZACIÓN ELÉCTRICA EJEMPLO DE UNA MINA DE COBRE

En las mineras se generan grandes consumos de energía en la producción de cobre comercial, siendo este consumo uno de los mayores gastos del costo final. Conocer los consumos eléctricos y sus desviaciones se ha convertido en un elemento importante para las diferentes organizaciones, ya que permitirá realizar medidas que generarán una disminución de los costos y contaminación en forma importante.

La aplicación de la normativa que se dispone permitirá ayudar a planificar y administrar el uso de la energía, con un fuerte enfoque en el rendimiento de los procesos, contribuyendo además a una mayor eficiencia energética, generando mayor productividad en la gestión de la empresa.

Para el trabajo se utilizarán como ejemplo los consumos de un yacimiento minero dedicado a la explotación de cobre y la producción de cátodos del mismo metal. El yacimiento se ubica en la Región de Antofagasta, Chile, 200 km. al noreste de la ciudad de Antofagasta y a 21 km de la localidad de Sierra Gorda, a una altitud promedio de 2.300 msnm. En ese sentido en tabla 9 se muestran los consumos eléctricos totales entregados por meses, obteniéndose un total de 282,3 GWh/mes, donde se puede ver que el consumo eléctrico de esta minera y de las mineras en general, es de bastante consideración, generándose grandes costos asociados a la producción por este concepto.

MES	Consumo	Unidad
ENERO	23.824.393	KWh/mes
FEBRERO	21.664.715	KWh/mes
MARZO	25.013.218	KWh/mes
ABRIL	22.618.854	KWh/mes
MAYO	24.999.069	KWh/mes
JUNIO	21.311.210	KWh/mes
JULIO	24.373.553	KWh/mes
AGOSTO	24.501.998	KWh/mes
SEPTIEMBRE	22.280.066	KWh/mes
OCTUBRE	22.280.066	KWh/mes
NOVIEMBRE	23.802.790	KWh/mes
DICIEMBRE	25.671.852	KWh/mes
TOTAL	282.341.783	KWh

Tabla 9: Detalle de consumo de minera detallada por meses.

En figura 25 se muestra la variación del consumo mensual, siendo su pico más alto en el mes de Diciembre con 25,7 GWh/mes, y el menor en el mes de Junio con un 21,3 GWh/mes, lo que representa una variación de 17 % entre los dos meses.

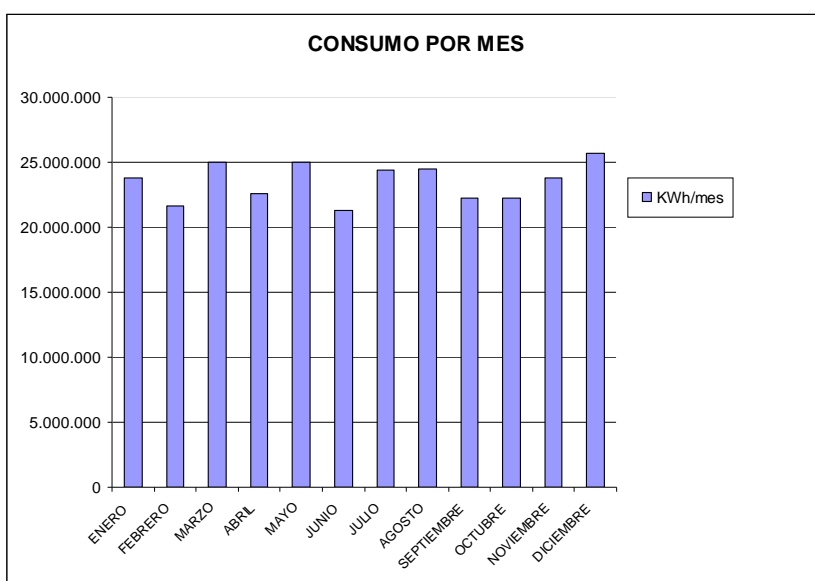


Figura 25: Grafico de consumos de minera detallada por meses.

Es necesario que las industrias mejoren su eficiencia, haciendo una buena gestión del uso de la energía, para lo cual deben saber cuál es la línea de base, cuáles son los equipos de energía que se utilizan en las industrias, cómo los están usando y tener el personal capacitado para que diga qué está ocurriendo en la empresa. En tabla 10 se muestra un resumen del consumo total al año, identificando los procesos que intervienen en la fase productiva de la mina. El detalle por meses se encuentra en Anexo.

AREA	Consumo	Unidad
BOMBEO No 2 SUMINISTRO AGUA	9.362.823	KWh
CHANCADO PRIMARIO	2.926.502	KWh
CHANCADO SECUNDARIO Y Terciario	8.903.075	KWh
ROM (Run Of Mine)	10.850.058	KWh
AGLOMERACIÓN	3.301.838	KWh
APILAMIENTO	3.223.286	KWh
DESCARGA DE RIPIOS Y BOTADERO	10.330.491	KWh
PLANTA DE OSMOSIS	1.509.595	KWh
SISTEMA BOMBAS DE REFINO	9.215.576	KWh
EXTRACCIÓN POR SOLVENTE	4.010.096	KWh
ELECTROOBTENCIÓN	11.760.458	KWh
ELECTROOBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR N ^o 1	49.878.575	KWh
ELECTROOBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR N ^o 2	49.957.681	KWh
ELECTROOBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR N ^o 3	49.254.138	KWh
ELECTROOBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR N ^o 4	49.105.913	KWh
CAMPAMENTO , OFICINAS, BODEGA	1.975.315	KWh
MINA PALA	4.955.671	KWh
MINA PERFORADORA	1.820.690	KWh
TOTAL	282.341.783	KWh

Tabla 10: Consumo total de minera.

En figura 26 se muestra el gráfico del consumo total al año donde se destacan los consumos de los procesos de electro-obtención y los rectificadores, los cuales en conjunto suman cerca de 210 GWh/mes.

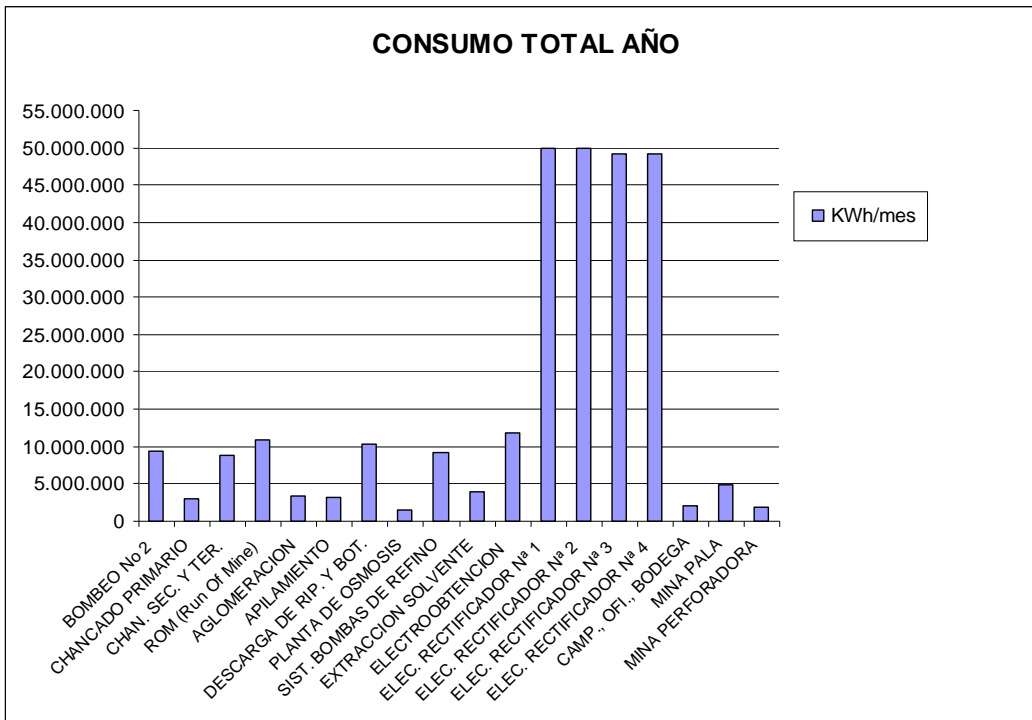


Figura 26: Grafico de consumo total de minera.

En figura 27 se muestra el gráfico del consumo total al año por sectores, los cuales se muestran en porcentajes. El mayor consumo corresponde a los rectificadores 1 y 2, los cuales gastan cada uno cerca de un 17,7 %. En cambio el menor consumo corresponde a lo producido en la planta de Osmosis, que sólo llega a un 0,5 % del total de la planta al año.

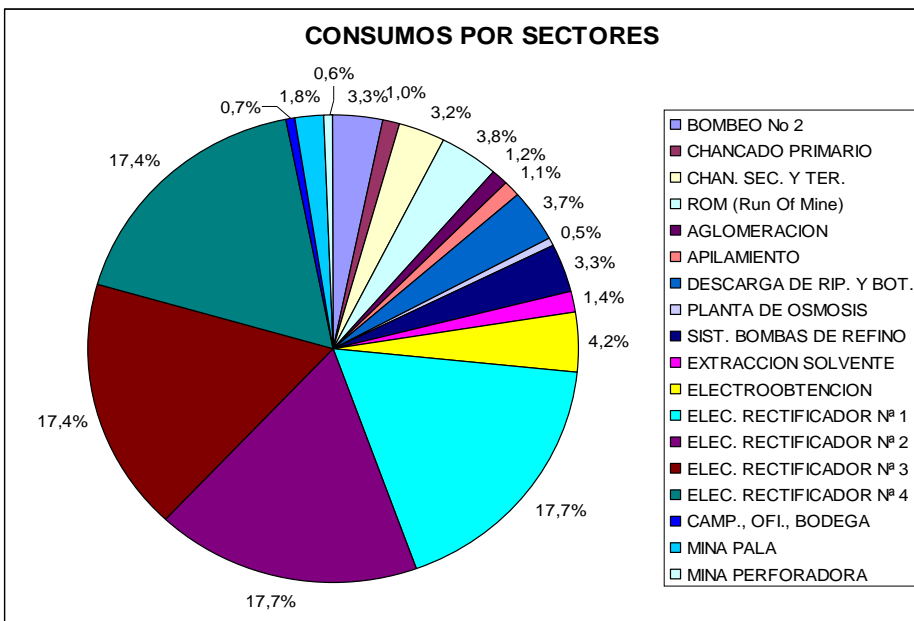


Figura 27: Gráfico de consumo total de minera en porcentajes.

Debido a la importancia del consumo energético en la minería del cobre, es necesario identificar cuáles son los principales consumidores dentro de éste, es decir, que operaciones específicas son aquellas que contribuyen significativamente a esta alza, centrando el análisis de la investigación en estos actores de acuerdo a su preeminencia cuantitativa en el mercado energético eléctrico. En figura 28 se muestra el gráfico del consumo total al año agrupado por sectores, donde la suma de los consumos producidos en los procesos de electro-obtención y los cuatro rectificadores equivalen al 74,4 % del total, en cambio la suma del resto de los procesos que interfieren en la producción del cobre comercial es cercana a un cuarto del consumo al año de la minera, siendo de un 25,6 %. Es por esto, que el trabajo se enfocará en el proceso de electro-obtención y las alternativas de mejora.

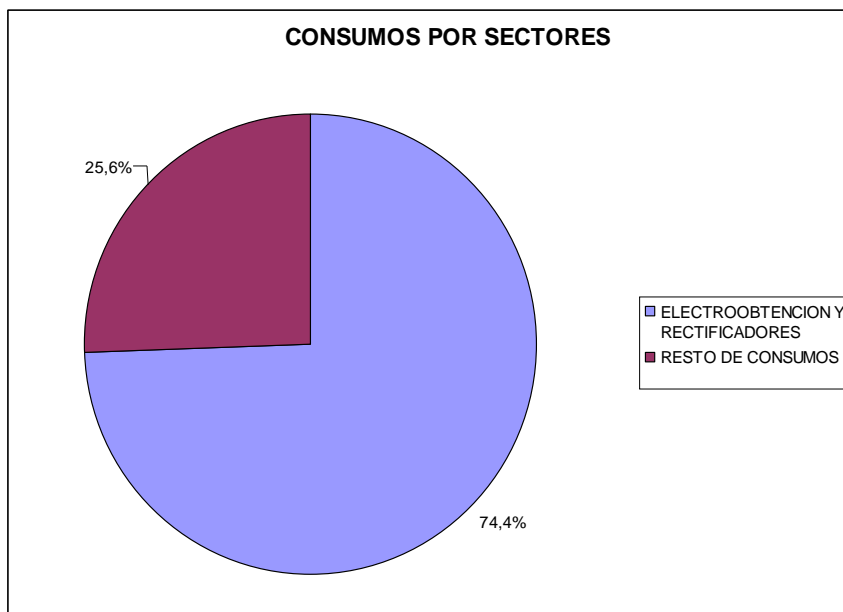


Figura 28: Gráfico de proceso de Electro-obtención y rectificadores versus restos de consumos totales.

8. ALTERNATIVAS DE MEJORAMIENTO PROCESO DE ELECTRO-OBTENCIÓN

Debido a que en la actualidad la demanda de cobre de uso industrial a nivel mundial, requiere de un grado de pureza que se puede obtener con los estándares del cobre electrolítico y a los grandes consumos eléctricos mostrados en el capítulo anterior, donde la electro-obtención ocupa cerca de un 75 % del consumo total del yacimiento estudiado, convirtiéndose en una de las etapas más importantes en el proceso de producción de cobre, es que la idea de este capítulo es mostrar diferentes alternativas, considerando la reducción de los consumos de energía, mejorando la eficiencia y aumentando los niveles de productividad del proceso, los cuales se permiten contrarrestar el aumento del consumo de electricidad y los costes asociados.

El proceso convencional de electro-obtención de cobre, funciona básicamente con una corriente eléctrica que circula desde el ánodo al cátodo mediante una solución ácida de sulfato cúprico, obtenida del procesamiento hidrometalúrgico de minerales de cobre. De esta manera se obtiene una deposición del cobre sobre el cátodo, mientras que en el ánodo ocurre desprendimiento de oxígeno por descomposición del agua. En el proceso se recupera el metal desde una solución de lixiviación debidamente acondicionada, conocida como solución electrolito, siendo depositado en un cátodo a

través de un proceso de electrólisis, convirtiéndose en uno de los procedimientos actuales más sencillos para recuperar metales que se encuentren en solución, en forma pura y selectiva.

La gran demanda energética del proceso se debe a que se hace circular, a través de la solución electrolito, una corriente eléctrica continua con una baja intensidad entre un ánodo y un cátodo. Con la inyección de corriente los iones del metal son atraídos por el cátodo, que cuenta con un polo de carga negativa, siendo depositado en el mismo cátodo. Las impurezas resultantes van quedando disueltas en el electrolito precipitando en residuos o barros anódicos.

A su vez, en forma conjunta con la recuperación de cobre con alto nivel de pureza, la electro-obtención es un proceso que logra recuperar metales de alto valor económico como son el oro y plata a partir de recursos lixiviables, permitiendo que sean viables en su producción, convirtiéndose en una alternativa tecnológica competitiva para tratar minerales combinados de cobre-cobalto y níquel-cobalto.

Las limitaciones actuales de la industria en las celdas convencionales de electro-obtención de cobre elevan el costo y bajan la eficiencia del proceso. Se pueden mencionar por ejemplo:

- Una baja superficie específica de los cátodos, al utilizar láminas de cobre, limitando la velocidad de deposición de cobre.
- Una limitación de la densidad de corriente debido a la baja velocidad de transferencia de masa, ya que ésta se realiza por convección natural, agitación por recirculación del electrolito y desprendimiento de O^2 .
- Se produce un alto consumo energético, llegando cerca de 2 kW/kg Cu debido al alto potencial de celda de 2 V, causado por la reacción anódica ($2H_2O \Rightarrow O^2 + 4H^+ + 4e$) el cual posee un potencial de equilibrio de 1,23V y un sobrepotencial de ~ 0,7 V.

A continuación se irán presentando diferentes factores que deben considerarse para mejorar la eficiencia del proceso y que influirán directamente en una disminución del consumo eléctrico.

8.1. DISEÑO DE CELDAS ELECTROLÍTICAS (EW)

Las celdas electrolíticas son instalaciones especializadas que permiten realizar el proceso de electro-obtención. Estas celdas son equipadas con un sistema de circuitos eléctricos que hacen circular una corriente continua de baja intensidad.

Es de vital importancia que el proceso se realice eficientemente por lo que se deben ir teniendo en cuenta diferentes factores eléctricos, de uso, de materialidad, disposición, los cuales se detallan a continuación:

8.1.1. Características de las conexiones eléctricas

En general las instalaciones que cuentan con celdas de electro-obtención poseen conexiones eléctricas sencillas que intentan disminuir los trayectos entre la corriente

continua y de alta tensión, los cuales van desde los rectificadores de corriente hasta los bancos de celdas electrolíticas.

En el proceso de electro-obtención podemos encontrar diferentes formas de distribución de barras que van variando según sea su tecnología.

Una de las alternativas en el diseño de barras conductoras de cobre es la de sección rectangular, donde se realiza una conexión a través de paquetes de estas barras, que son apernadas y cuentan con distanciadores permitiendo una circulación interna de aire que logra una mayor refrigeración.

En las instalaciones actuales, una de las conexiones más utilizadas en el proceso de electro-obtención, es la instalación de celdas en serie, por lo que se requiere sólo una conexión en los extremos del banco de celdas. Para la disminución del recorrido desde el rectificador se conectan éstas con un solo conductor a otro banco paralelo a su lado al término del primer banco. Con este tipo de conexión se permite tener varias unidades similares que constituyen las diversas secciones de una operación más grande.

Para el caso que la conexión eléctrica sea en serie, se puede utilizar una barra triangular. Esta barra servirá en forma conjunta de apoyo y contacto con su eje afilado entre los ánodos de una celda y los cátodos de la celda contigua. Este es el sistema más utilizado.

Además, existen innovaciones recientes que incorporan otros perfiles para la barra de contacto, las cuales se conocen como dogbone (hueso para perro). En conjunto a estos perfiles se utilizan aisladores inter-celdas, llamados camping-boards que son los encargados de separar y apoyar los ánodos y cátodos.

8.1.2. Configuración de circuitos y rectificadores

En el proceso se requieren equipos rectificadores de corriente que permiten mantener en forma constante las características del flujo eléctrico, que a su vez suministran la corriente continua que necesita el proceso de electrólisis. Con el tiempo se han producido mejoras en las tecnologías asociadas al diseño de los rectificadores que han permitido evolucionar en términos de eficiencia y costos. En la actualidad los más utilizados son los transfo-rectificadores del tipo tristorizados, que permiten un uso cada vez más accesible y a menor costo. Una de las principales dificultades que presentan los rectificadores, es el control de corrientes armónicas por lo que se debe recurrir a la instalación de filtros que aumentan los costos de estos equipos.

8.2. EFICIENCIA DE CORRIENTE

La relación que existe entre el metal que efectivamente se encuentra depositado, de acuerdo con la cantidad de corriente eléctrica aplicada, con el que debiera depositarse se define como eficiencia de corriente. La masa teórica se calcula mediante la ecuación de Faraday.

En el proceso de electro-obtención se cuentan con bajas eficiencias de corriente efectivas, ya que existen reacciones secundarias tanto catódicas como anódicas, que son potencialmente competitivas a la reacción principal que hacen un mal uso de dicha energía.

Existen otros factores que influyen directamente en la eficiencia de corriente y que van generando aumentos de consumos eléctricos, por lo que se deben ir monitoreando frecuentemente. Entre estos, podemos distinguir la disminución de la eficiencia debido a la pérdida de corriente de los cortocircuitos generados entre el ánodo y cátodo, y entre celda y celda. Las fugas de corriente producidas a través de las estructuras de la nave electrolítica o de las propias celdas es otro factor que genera pérdidas importantes.

Es necesario que se realicen monitoreos permanentes a las plantas en operación ya que existen fugas de corriente que no son bien percibidas, que pueden pasar por factores de fácil control como por ejemplo una correcta mantención o limpieza de las celdas.

En los sistemas de sales fundidas se llegan a densidades de corriente entre los 10 y 15 kA/m². Este rango de densidad se produce debido a que en este proceso a grandes temperaturas se logra una gran conductividad sin existir limitaciones físicas para el desplazamiento de la corriente y con un uso directo de ella en el baño electrolítico, sin que se generen fugas de corriente.

En las soluciones acuosas el rango de densidad de corriente generalmente está entre los 200 y 300 A/m². El uso de electrodos particulados y el efectuar la electrólisis en un lecho fluidizado permite aumentar en gran medida la densidad, aunque se requiere de mayores investigaciones que permitan un correcto uso a gran escala. Es importante controlar las geometrías de los electrodos, ya que una diferencia de dimensiones puede originar diferentes densidades en el ánodo en relación al cátodo.

8.3.MEJORAMIENTO DE EFICIENCIA A TRAVÉS DE LAS BUENAS CONDICIONES DE USO DE LAS INSTALACIONES

Existen diferentes prácticas que permiten ir mejorando la eficiencia del proceso. Entre éstas podemos destacar la importancia de un buen y constante aseo de los contactos. Esto se requiere debido a que los cátodos y los ánodos se encuentran en celdas contiguas que están conectadas en paralelo a través de una barra de contacto la cual debe tener la menor cantidad de impurezas.

Otro de los elementos que se deben ir verificando con frecuencia, es la necesidad de que todos los electrodos deben recibir la misma corriente, para lo cual se debe ir manteniendo con frecuencia todos los respectivos apoyos. Esto se requiere debido a que cuando algunos electrodos reciben más corriente que otros, se producen densidades de corriente muy diferentes entre sí, que van induciendo el crecimiento de dendritas, que son causantes de posibles cortocircuitos que comienzan a calentar las barras y contactos que pueden derretir los apoyos de los aisladores de plástico generándose pérdidas que aumentan los consumos energéticos.

Existen diferentes elementos que logran detectar las diferencias de corrientes. Para esto es posible utilizar, por ejemplo, detectores de temperatura con visores infrarrojos, con un equipo gaussmetro, o bien el monitoreo de voltaje de cada celda. Con estos elementos se podrán ir corrigiendo en forma inmediata las posibles anomalías para

umentar la eficiencia de corriente, y en forma paralela, se puede determinar las características de la conexión de los electrodos de dos celdas.

En el caso de la corriente que circula a través del electrolito entre el ánodo al cátodo, se puede verificar con el movimiento de los cationes presentes en la solución.

8.4. EFECTOS DEL DISEÑO Y MATERIALES DE CELDAS ELECTROLÍTICAS

Existen diferencias en la fabricación y diseño de celdas electrolíticas las que van a depender de diferentes factores. Entre los elementos que definen las celdas se encuentran el tipo de electrolito, si es acuoso o de sales fundidas; el tipo de cátodo, si es líquido o sólido, o bien si es compacto, esponjoso o particulado y por el tipo de proceso, si es electro-obtención (EW) o electro-refinación (ER).

A continuación se presentan diferentes tipos de celdas y sus condiciones de diseño que irán variando según sea la necesidad de producción.

Las celdas para procesamiento de sales fundidas van variando según sea la necesidad de material a recuperar, y dependerá de si el metal se puede depositar en un líquido más pesado o más liviano que el electrolito mismo, por lo que el diseño se realiza en forma específica. En el caso de la producción del aluminio, los ánodos son consumibles, por lo que este proceso es particularmente diferente a los otros.

En las celdas para lecho particulado fluidizado se logran altas densidades de corriente, llegando a 100 veces las alcanzadas en los sistemas convencionales. Este aumento se debe principalmente al permanente movimiento y fricción de las partículas, permitiendo su despolarización, desprendiendo eventuales residuos de la disolución del ánodo de partida. En este tipo de celdas se diseñan instalaciones de tamaños menores generándose una disminución importante en los costos de inversión de capital inicial. Uno de los problemas de estas celdas es que aún su tecnología se hace en plantas pilotos, por lo que se debe ir realizando un escalamiento a medidas reales.

En las celdas para producción directa de láminas de metal se puede lograr la preparación de una lámina de cobre electrolítico en forma continua. El diseño de esta celda se basa principalmente en un cátodo en forma de tambor, el cual se encuentra sumergido parcialmente en el electrolito de la celda que va girando con una velocidad variable en función del espesor de la lámina que se requiere.

En las celdas cilíndricas para electro-obtención de oro, el procesamiento se realiza a través de carbón activado. El diseño de esta celda se basa en un electrolito donde la solución de elución de carbón termina con la recuperación electrolítica del oro, usando un ánodo inerte de acero y un cátodo que consta con un conductor inserto con lana de acero.

El diseño de la celda convencional para electrólisis en medio acuoso consiste en una disposición de ánodos y cátodos que se encuentran suspendidos verticalmente, ubicados frente a frente unos de otros.

8.5. EFECTOS DEL DISEÑO DEL PROCESO

En el proceso de electro-obtención se requiere renovar y agitar el electrolito frente a las placas debido a que con la nueva solución se genera una renovación del metal para la depositación.

Otro de los elementos de diseño que requiere el proceso de electro-obtención para que se realice en forma eficiente, es contar con un anillo de distribución de soluciones ubicados cerca del fondo de las celdas electrolíticas. Este elemento consiste en una cañería perimetral con perforaciones frente a cada espacio de la interplaca del ánodo-cátodo.

Es importante que en el diseño de las celdas se mantenga un espacio razonable en el fondo para la acumulación y evacuación de los residuos de ánodos.

Para el caso de recuperación de cobre y níquel, se debe evitar la contaminación de los cátodos con una remoción accidental de las impurezas acumuladas en el fondo de la celda, por lo que se debe cuidar el ingreso y distribución del electrolito en las celdas.

En el diseño rectangular convencional para la recuperación de oro y plata por electro-obtención, se debe ocupar como cátodo un canastillo, el cual se encuentra con un relleno con virutilla de acero.

8.6. EFECTOS DE LA MATERIALIDAD DE LOS ELEMENTOS DEL PROCESO

En la actualidad existe un constante estudio de la materialidad a ocupar en el proceso de electro-obtención, por lo que en conjunto con el avance de la tecnología se ha desarrollado un progreso importante en la durabilidad y la eficiencia que pueden dar los materiales de construcción, por lo que se registran avances importantes en cañerías, bombas y celdas convencionales ocupadas.

En un comienzo se ocupaban celdas de concreto que eran revestidas de una protección estanca, pasando a revestimientos de membrana de plástico que fueran resistentes al calor en conjunto con los productos químicos del electrolito. Ya a comienzos de los años 90 se empezó a utilizar el hormigón polimérico, que cumple la función de ligante, y arena de cuarzo, que es el encargado de actuar como carga. Estos materiales permiten prefabricar en una sola pieza las celdas monolíticas, mejorando su diseño.

Dada su resistencia química y térmica, se están utilizando materiales de origen plástico reforzado para la fabricación de elementos del proceso. Además, con la disminución de costos de materiales como el titanio y otros aceros inoxidables especiales, éstos también se presentan como alternativa de diseño.

8.7. EFECTOS DE LA EFICIENCIA EN EL COSTO DE PRODUCCIÓN

Una vez reconocidas las acciones a ejecutar, que van en la dirección de mejorar la eficiencia del proceso, será posible optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida y el resultado de los productos y servicios finales obtenidos. Para esto se

requiere realizar la implementación de diversas medidas e inversiones a nivel de gestión, tecnológico, y de hábitos culturales en la comunidad que interviene.

Hoy por hoy el uso eficiente de la energía se comporta como otra variable importante en el diseño en todo el ciclo de vida de un proyecto, en las etapas de pre-inversión; inversión y operación. También se incluye esta dimensión en todos los procesos, instalaciones y equipos.

En el caso del ejemplo del yacimiento minero del capítulo anterior existe un valor entregado por el CNE (Comisión Nacional de Energía) del precio de venta de electricidad en el nodo más cercano, que en este caso es Antofagasta, el cual es de 61.400 CLP\$/MWh (97,8 €/MWh). Considerando que sólo en el proceso de electro-obtención se consumen en un año la cantidad de 209.957 MWh, podemos definir que sólo por este concepto se genera un costo anual de 12.891 millones de CLP (20,53 millones de Euros). A este costo se le deben agregar las pérdidas producidas en la transmisión del nodo a la ubicación de la planta. Se debe tener en cuenta que estos valores son referenciales, ya que en la realidad las empresas mineras negocian la energía en forma directa.

En la gran minería se realizan esfuerzos significativos para mejorar la eficiencia en sus procesos, existen ejemplos claros como los de la Minera Doña Inés de Collahuasi con un consumo de 6 veces de la minera estudiada, en donde en el año 2009 se logró reducir en un 8,761%² su intensidad energética en relación al año 2008, en el mismo periodo la empresa Codelco logro reducir cerca de un 5 % .

Realizando una estimación en forma conservadora para el caso estudiado, considerando una reducción del 5 % del consumo eléctrico, en base las experiencias de otras grandes mineras, al ejecutar las indicaciones de mejoras en la eficiencia del proceso de electro-obtención que se han mostrado anteriormente, se puede llegar a reducir en cerca 644 millones de CLP (1,02 millones de Euros) al año.

² "Instrumentos para la elaboración de una política energética sustentable". FONDECYT, Pilar Moraga

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Tal como se muestra en los datos presentados, a partir del año 2004 se empezó a generar un sostenido crecimiento en la demanda de cobre, donde se destaca la fuerte irrupción de China y, en menor medida, de otros países emergentes. Aunque en el año 2008 se produce una caída de la demanda, explicada principalmente por la desaceleración en las economías desarrolladas a raíz de la crisis existente, desde el año 2009 comienza a destacarse un fuerte aumento de la demanda de China, que permite compensar en parte la baja de los países desarrollados y que ha sido determinante en la trayectoria de precios del cobre. El mercado actual se encuentra expectante a que la demanda aumente tras años consecutivos de caídas.

Durante la próxima década se espera que la minería del cobre desarrolle un gran esfuerzo productivo, que consiste en la expansión de sus grandes yacimientos y en nuevos proyectos de mediana y gran escala. Estas expansiones apuntan principalmente a lograr una mayor productividad y enfrentar las diferentes condiciones adversas minero-metalúrgicas, que progresivamente se irán presentando en los yacimientos que se explotan en la actualidad. Con estas dificultades y otras que se encontrarán, serán cada vez mayores los requerimientos energéticos, por lo que el consumo de energía eléctrica necesaria para la obtención de una tonelada de cobre se irá incrementando en el tiempo. Debido a estas razones, es preciso buscar nuevas alternativas que compensen este aumento de energía, por lo que se requiere el ingreso de nuevas operaciones que estén dotadas de los más altos estándares tecnológicos. Además es necesaria la generación de esfuerzos reales por parte de las compañías mineras, que vayan en la dirección de mejorar la eficiencia energética en todos los ámbitos de sus operaciones.

En los últimos años ha aumentado la preocupación por parte de la industria cuprífera respecto de la importancia atribuida al cambio climático y principalmente los costos y abastecimiento de energía, por lo que la eficiencia energética se ha vuelto un tema fundamental en toda organización. Se requiere de un esfuerzo conjunto de la industria y organismos estatales, en investigación y desarrollo de nuevas tecnologías que permitan suplir en parte la necesidad de mayor consumo que se irá produciendo con el aumento de la producción. Las Energías Renovables no Convencionales (ERNC) pueden jugar un papel importante en mitigar este aumento, por lo que se requiere de incentivos acordes al mercado, que impulsen proyectos energéticamente viables.

Debido a la crisis energética que se vislumbra en Chile, es altamente probable que las operaciones mineras se vean enfrentadas a incidentes de inestabilidad en el suministro, incluyendo reducciones puntuales de consumo que tendrán que ser acordadas con el respectivo Centro de Despacho Económico de Carga. Para que esta situación sea mantenida bajo control sin afectar los niveles de producción proyectados por las compañías, se tendrá que contar con nuevas fuentes de suministros tanto en forma particular como a nivel nacional. Debido a lo anterior, las compañías mineras se han tenido que comprometer con la búsqueda de soluciones que aseguren el abastecimiento eléctrico en el corto plazo, asumiendo recargas en sus costos de producción. Con la planificación de nuevos proyectos mineros en carpeta, se percibe que la capacidad energética actual será insuficiente para atender las mayores demandas, por lo que se deberá realizar inversiones necesarias para cumplir con los consumos proyectados para cubrir sus operaciones. Con ello se origina un cambio drástico en la matriz energética, en el que se tendrá que considerar las crecientes

preocupaciones por la emisión de gases con efecto invernadero y el consiguiente impacto al cambio climático. En este sentido el sector de la minería del cobre ha sido determinante, ya que el aumento de las emisiones unitarias totales de GEI se ha visto impulsado, principalmente, por el aumento de las emisiones indirectas del uso de la energía eléctrica en las faenas mineras.

Aunque en los proyectos futuros se aprecian postergaciones y re-evaluaciones afectadas por la crisis económica, en Chile aún existe una interesante cartera de proyectos de inversión en la minería del cobre, destacando el crecimiento de la producción de concentrado comercial.

Otro elemento a considerar en proyectos futuros tiene que ver con la disponibilidad y gestión adecuada del agua, que es clave para la sustentabilidad de la actividad. La escasez de este valioso recurso es una fuente de conflictos, no sólo entre sectores productivos, sino que también respecto a su disponibilidad para el consumo humano. La creciente demanda de agua, origina una búsqueda constante de alternativas por parte de la industria, donde aparecen opciones interesantes como es la desalinización de agua de mar, aunque su transporte hacia operaciones mineras sigue siendo una dificultad relevante tanto en costos como en energía consumida, que debe ser evaluada.

La solución al problema energético es un conjunto de elementos que se deben ir revisando y que deben estar relacionados con aspectos normativos y factores económicos. Debido a la necesidad del mercado, las normativas serán cada vez más estrictas para mejorar la eficiencia energética. Entre las normativas relacionadas con energía que se están consolidando, se encuentra la norma ISO 50001, que posee conceptos similares a la norma UNE 16001. Esta norma ISO permite la implementación y acoplamiento expedito con otras normas de calidad que ya se encuentran más asimiladas por la industria como son las ISO 9001 y de medioambiente ISO 14001. En la gran minería del cobre, la autorregulación en eficiencia energética es una metodología que se ha desarrollado recientemente y ha evolucionado a paso lento, aunque con la irrupción de la norma ISO 50001 se advierten importantes mejoras a partir de su implementación. Para esto es necesario que el sector privado y los diferentes actores involucrados desarrollen un rol fundamental en la incorporación de este concepto vital de buenas prácticas en gestión de energía a sus actividades diarias.

Es importante realizar en la industria minera una promoción del uso de sistemas de gestión de la energía basados en la norma ISO 50001, para que se desarrollen motivaciones que permitan que el sistema de la autorregulación se expanda. Existe un gran número de beneficios que recibirán las empresas que implementen adecuadamente la norma ISO 50001. Entre estos es posible encontrar una rebaja de costos en su producción, disminución del riesgo por indisponibilidad o reducción del suministro energético, descenso del impacto ambiental y disminución de la emisión de gases de efecto invernadero. Esto permitirá que los proyectos y medidas de optimización energética puedan contribuir directamente a una mayor competitividad, en especial de quienes exportan y deben enfrentar otros sectores, cuyos escenarios energéticos son más favorables por costos, disponibilidad o por regulaciones ambientales.

La norma ISO 50001 incluye tecnología vinculada a los procedimientos y procesos industriales, que con un sistema de gestión energética supone una disminución del consumo siendo una herramienta útil y eficaz para dar cumplimiento de forma continúa a la legislación energética y a los compromisos ambientales de la organización ahorrando costos. Es de vital importancia buscar herramientas para la elaboración de

gestores energéticos y para la implantación y seguimiento de actuaciones procedentes de auditorías energéticas, así como establecer objetivos medibles para la instauración de dichas medidas. A nivel gerencial la norma genera un compromiso y soporte al establecimiento, mantención y apoyo de la política energética de la empresa, proporcionando los recursos necesarios para establecer, implementar, mantener y mejorar el sistema gerencial de eficiencia energética, que permitirá asegurar y establecer que los indicadores de eficiencia energética son los adecuados.

Ante esta problemática es necesario ir buscando el uso de nuevas tecnologías y buenas prácticas en el proceso completo de la producción de cobre, y especialmente en el proceso de electro-obtención, que en el caso expuesto es donde se concentra la mayor cantidad de consumo energético. Las limitaciones actuales de la industria en las celdas convencionales de electro-obtención de cobre elevan el costo y bajan la eficiencia del proceso, donde la velocidad de deposición sobre el cátodo es dependiente de la intensidad de corriente. Es por esto que es importante ir en la dirección de estudiar nuevas alternativas que van desde la modificación al diseño de las celdas, pasando por la materialidad, hasta la revisión de las buenas prácticas de producción, con el propósito de obtener ahorro en energía eléctrica y un aumento de la productividad.

10. REFERENCIAS

1. "Mercados e Insumos Estratégicos para la minería en Chile" COCHILCO, Comisión Chilena del Cobre, 2010.
2. "Consumo de energía en la minería del cobre de Chile." Años 1990 -1998, elaborado por Sara Pimentel H y Pedro Santic, Sept. 2001, e informes anuales posteriores, Cochilco.
3. "Demanda de energía eléctrica en la minería del cobre y perspectivas de seguridad en su abastecimiento." Vicente Perez Vidal, COCHILCO, Enero 2010
4. "Actualización del estudio prospectivo al año 2020 del consumo de energía eléctrica en la minería del cobre", Comisión Chilena del Cobre, Diciembre 2011
5. "Cálculos hechos en base al Balance Nacional de Energía 2010" publicado por el Ministerio de Energía.
6. "Anuario de Estadística del Cobre y Otros Minerales 1990-2010", COCHILCO 2010.
7. "Balance Nacional de Energía 2010". Ministerio de Energía.
8. "Antecedentes sobre la matriz energética en Chile y sus desafíos para el futuro", Gobierno de Chile 2011.
9. Corporación Chilena de Energía Nuclear. www.cchen.cl
10. "Consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la minería del cobre", COCHILCO 2010
11. "La contribución a la eficiencia energética de las normas: una 216501:2009 de auditoría energética, una en 16001:2010 e ISO 50001 de sistemas de gestión energética", Dr. José Luis Tejera Oliver
12. "Eficiencia Energética: Contribución de la Norma ISO50001", Alfredo Muñoz Ramos, Universidad de Chile
13. "ISO 50001-Sistemas de gestión de la energía Incorporar sustentabilidad a la eficiencia energética" Noviembre 2010, Aimee McKane, Lawrence Berkeley National Laboratory
14. "Gestión de la Energía en la Industria y la Norma ISO 50001" Michel de Laire Peirano, Agencia Chilena de Eficiencia Energética
15. "Una comparación entre ISO 14001 e ISO 50001" BSI Group Iberia.
16. "Guía práctica para la implantación de sistemas de gestión energética", enero 2011, FUNDACIÓN MAPFRE, AEDHE
17. "Gestión Energética", AENOR.

18. "Análisis y definición de criterios técnicos para evaluar la demanda eléctrica de proyectos mineros en el SING y SIC", Universidad de Chile, Santiago, Junio 2010
19. "Aspectos tecnológicos en la implementación de sistemas de gestión de energía." Dra. Ing. Ingeborg Mahla
20. "Autorregulación de la Gran Minería Nacional en materia de Eficiencia Energética, sus motivaciones e implementación". Pilar Moraga Sariego
21. "Eficiencia de la corriente eléctrica y calidad del depósito de electroobtención de cobre basado en electrodiálisis reactiva." Susana Montecinos Espinoza, Luis Cifuentes Seves
22. Comisión Nacional de Energía. CNE

ANEXO I:

**“CARACTERIZACIÓN MENSUAL DE EJEMPLO DE UNA MINERA DE
COBRE.”**

ANEXO 1: CARACTERIZACIÓN MENSUAL DE EJEMPLO DE UNA MINA DE COBRE.

A continuación se detalla la información por meses, entregada por una minera de cobre de la II Región de Chile, donde se pueden distinguir los diferentes consumos por procesos que afectan de forma directa e indirecta la calidad del producto final. Destacan los consumos realizados en los procesos de electro-obtención y de los rectificadores.

En el mes de Enero se obtuvieron los siguientes consumos:

ÁREA	Consumo	Unidad
BOMBEO No 2 SUMINISTRO AGUA	713.113	KWh/mes
CHANCADO PRIMARIO	189.153	KWh/mes
CHANCADO SECUNDARIO Y TERCIARIO	575.445	KWh/mes
ROM (Run Of Mine)	701.287	KWh/mes
AGLOMERACIÓN	281.812	KWh/mes
APILAMIENTO	275.107	KWh/mes
DESCARGA DE RIPIOS Y BOTADERO	881.707	KWh/mes
PLANTA DE OSMOSIS	131.320	KWh/mes
SISTEMA BOMBAS DE REFINO	767.744	KWh/mes
EXTRACCIÓN POR SOLVENTE	349.676	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN	1.025.499	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR N ^o 1	4.436.946	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR N ^o 2	4.384.508	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR N ^o 3	4.340.631	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR N ^o 4	4.284.982	KWh/mes
CAMPAMENTO , OFICINAS, BODEGA	92.175	KWh/mes
MINA PALA	185.614	KWh/mes
MINA PERFORADORA	207.675	KWh/mes
TOTAL	23.824.393	KWh/mes

Tabla 11: Detalle de consumo de minera mes de Enero.

En el gráfico 29 se puede ver que los mayores consumos en el mes de enero son los generados por los procesos de electro obtención y los rectificadores del 1 al 4, que en conjunto suman cerca de 18,5 GWh/mes, lo que representan el 77,5 % del consumo total de la mina en el mes.

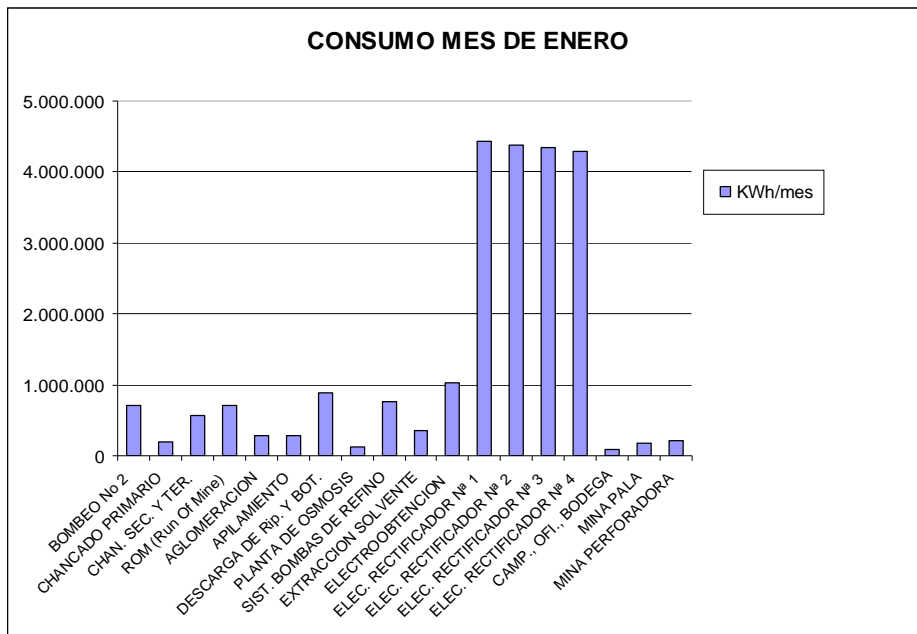


Figura 29: Grafico de consumos de minera mes de Enero.

Los datos entregados en el mes de Febrero son los que se muestran en tabla 12.

ÁREA	Consumo	Unidad
BOMBEO No 2 SUMINISTRO AGUA	700.957	KWh/mes
CHANCADO PRIMARIO	210.253	KWh/mes
CHANCADO SECUNDARIO Y TERCIARIO	639.636	KWh/mes
ROM (Run Of Mine)	779.515	KWh/mes
AGLOMERACIÓN	277.456	KWh/mes
APILAMIENTO	270.856	KWh/mes
DESCARGA DE RIPIOS Y BOTADERO	868.081	KWh/mes
PLANTA DE OSMOSIS	127.400	KWh/mes
SISTEMA BOMBAS DE REFINO	692.361	KWh/mes
EXTRACCIÓN POR SOLVENTE	313.933	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN	920.676	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 1	3.902.131	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 2	3.928.785	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 3	3.847.757	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 4	3.868.013	KWh/mes
CAMPAMENTO , OFICINAS, BODEGA	102.820	KWh/mes
MINA PALA	0	KWh/mes
MINA PERFORADORA	214.084	KWh/mes
TOTAL	21.664.715	KWh/mes

Tabla 12: Detalle de consumo de minera mes de Febrero.

En gráfico 30 se puede ver que los mayores consumos en el mes de febrero son los generados por los procesos de electro-obtención y los rectificadores, que en conjunto suman cerca de 16,5 GWh/mes, lo que representan el 76,0 % del consumo total de la mina en el mes.

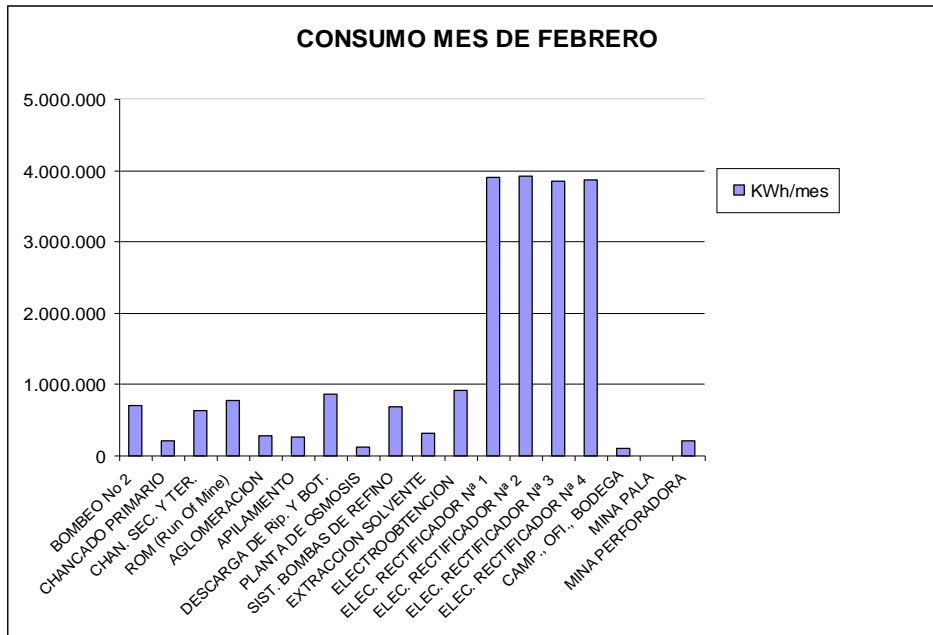


Figura 30: Gráfico de consumos de minera mes de Febrero.

Los consumos del mes de Marzo vienen representados en tabla número 13, que se muestra a continuación.

ÁREA	Consumo	Unidad
BOMBEO No 2 SUMINISTRO AGUA	757.996	KWh/mes
CHANCADO PRIMARIO	220.261	KWh/mes
CHANCADO SECUNDARIO Y TERCIARIO	670.082	KWh/mes
ROM (Run Of Mine)	816.620	KWh/mes
AGLOMERACIÓN	227.572	KWh/mes
APILAMIENTO	222.158	KWh/mes
DESCARGA DE RIPIOS Y BOTADERO	712.007	KWh/mes
PLANTA DE OSMOSIS	124.440	KWh/mes
SISTEMA BOMBAS DE REFINO	805.673	KWh/mes
EXTRACCIÓN POR SOLVENTE	355.102	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN	1.041.413	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 1	4.594.113	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 2	4.625.482	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 3	4.495.676	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 4	4.498.920	KWh/mes
CAMPAMENTO , OFICINAS, BODEGA	116.181	KWh/mes
MINA PALA	538.133	KWh/mes
MINA PERFORADORA	191.387	KWh/mes
TOTAL	25.013.218	KWh/mes

Tabla 13: Detalle de consumo de minera mes de Marzo.

En mes de marzo se generó un aumento del consumo, tal como se muestra en el gráfico 31, donde es posible destacar que los mayores consumos son los generados por los procesos de electro-obtención y los rectificadores, que en conjunto suman

cerca de 19,2 GWh/mes, lo que representan el 77,0 % del consumo total de la mina en el mes.

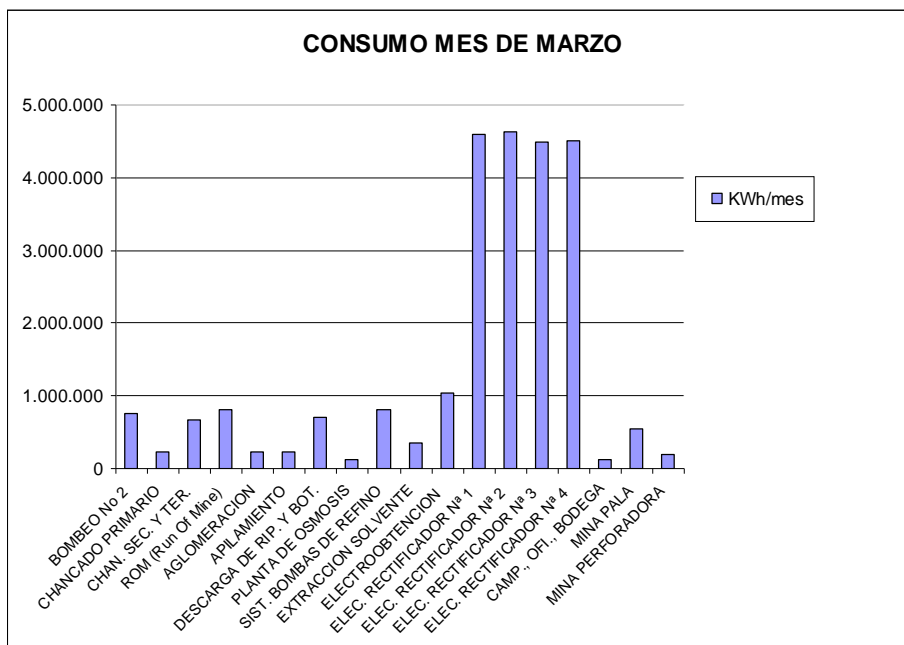


Figura 31: Gráfico de consumos de minera mes de Marzo.

Los consumos obtenidos en el mes de abril por parte de la minera se muestran a en la tabla 14.

AREA	Consumo	Unidad
BOMBEO No 2 SUMINISTRO AGUA	778.027	KWh/mes
CHANCADO PRIMARIO	243.985	KWh/mes
CHANCADO SECUNDARIO Y TERCIARIO	742.257	KWh/mes
ROM (Run Of Mine)	904.579	KWh/mes
AGLOMERACIÓN	266.809	KWh/mes
APILAMIENTO	260.462	KWh/mes
DESCARGA DE RIPIOS Y BOTADERO	834.768	KWh/mes
PLANTA DE OSMOSIS	117.218	KWh/mes
SISTEMA BOMBAS DE REFINO	712.591	KWh/mes
EXTRACCIÓN POR SOLVENTE	306.393	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN	898.563	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 1	3.958.724	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 2	3.985.175	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 3	3.905.823	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 4	3.879.373	KWh/mes
CAMPAMENTO , OFICINAS, BODEGA	155.207	KWh/mes
MINA PALA	476.092	KWh/mes
MINA PERFORADORA	192.806	KWh/mes
TOTAL	22.618.854	KWh/mes

Tabla 14: Detalle de consumo de minera mes de Abril.

En el gráfico 32 los consumos vuelven a ser cercanos a los meses anteriores y se puede ver que los mayores consumos en el mes de Abril son los realizados por los procesos de electro-obtención y los rectificadores, los cuales en conjunto suman cerca de 16,6 GWh/mes, lo que representan el 73,5 % del consumo total de la mina en el mes.



Figura 32: Gráfico de consumos de minera mes de Abril.

En tabla 15 se muestran los consumos realizados por procesos en el mes de Mayo.

ÁREA	Consumo	Unidad
BOMBEO No 2 SUMINISTRO AGUA	822.461	KWh/mes
CHANCADO PRIMARIO	264.940	KWh/mes
CHANCADO SECUNDARIO Y TERCIARIO	806.007	KWh/mes
ROM (Run Of Mine)	982.269	KWh/mes
AGLOMERACIÓN	309.391	KWh/mes
APILAMIENTO	302.030	KWh/mes
DESCARGA DE RIPIOS Y BOTADERO	967.994	KWh/mes
PLANTA DE OSMOSIS	128.924	KWh/mes
SISTEMA BOMBAS DE REFINO	806.900	KWh/mes
EXTRACCIÓN POR SOLVENTE	338.703	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN	993.320	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 1	4.404.511	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 2	4.443.520	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 3	4.359.766	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 4	4.358.618	KWh/mes
CAMPAMENTO , OFICINAS, BODEGA	126.769	KWh/mes
MINA PALA	472.664	KWh/mes
MINA PERFORADORA	110.282	KWh/mes
TOTAL	24.999.069	KWh/mes

Tabla 15: Detalle de consumo de minera mes de Mayo.

En el mes de mayo los procesos de electro-obtención y los rectificadores suman en conjunto cerca de 18,6 GWh/mes, lo que representan el 74,2 % del consumo total de la mina en el mes, tal como se muestra en gráfico 33.

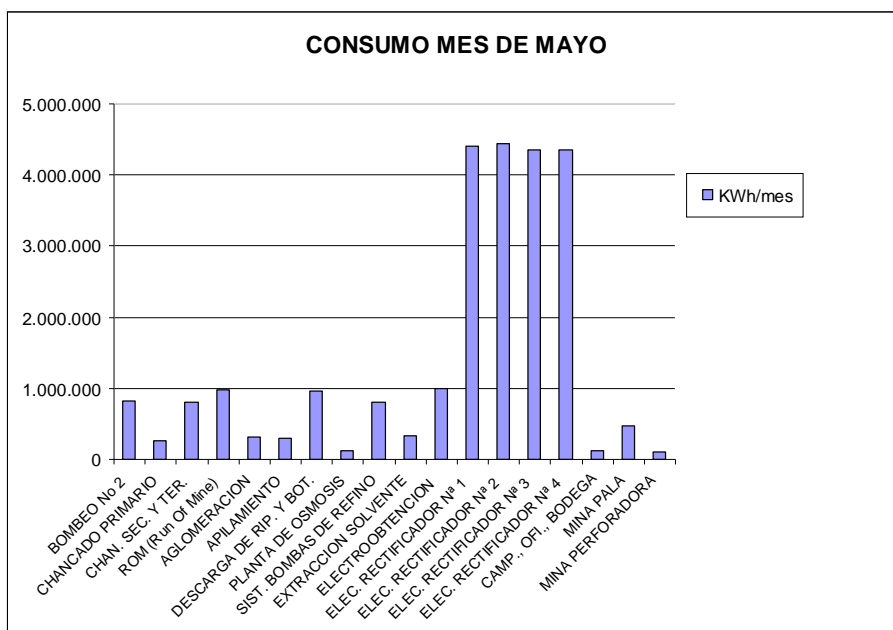


Figura 33: Gráfico de consumos de minera mes de Mayo.

Los datos entregados en el mes de Junio son los que muestran en tabla 16.

ÁREA	Consumo	Unidad
BOMBEO No 2 SUMINISTRO AGUA	745.789	KWh/mes
CHANCADO PRIMARIO	221.642	KWh/mes
CHANCADO SECUNDARIO Y TERCARIO	674.283	KWh/mes
ROM (Run Of Mine)	821.740	KWh/mes
AGLOMERACIÓN	265.911	KWh/mes
APILAMIENTO	259.585	KWh/mes
DESCARGA DE RIPIOS Y BOTADERO	831.958	KWh/mes
PLANTA DE OSMOSIS	122.417	KWh/mes
SISTEMA BOMBAS DE REFINO	726.141	KWh/mes
EXTRACCIÓN POR SOLVENTE	315.122	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN	924.162	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 1	3.679.360	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 2	3.687.912	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 3	3.660.112	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 4	3.618.410	KWh/mes
CAMPAMENTO , OFICINAS, BODEGA	181.402	KWh/mes
MINA PALA	456.092	KWh/mes
MINA PERFORADORA	119.174	KWh/mes
TOTAL	21.311.210	KWh/mes

Tabla 16: Detalle de consumo de minera mes de Junio.

En gráfico 34 se muestran los consumos en el mes de Junio, donde los generados por los procesos de electro-obtención y los rectificadores son los mayores consumos, los cuales en conjunto suman cerca de 15,6 GWh/mes, lo que representa el 73,1 % del total de la mina en el mes.

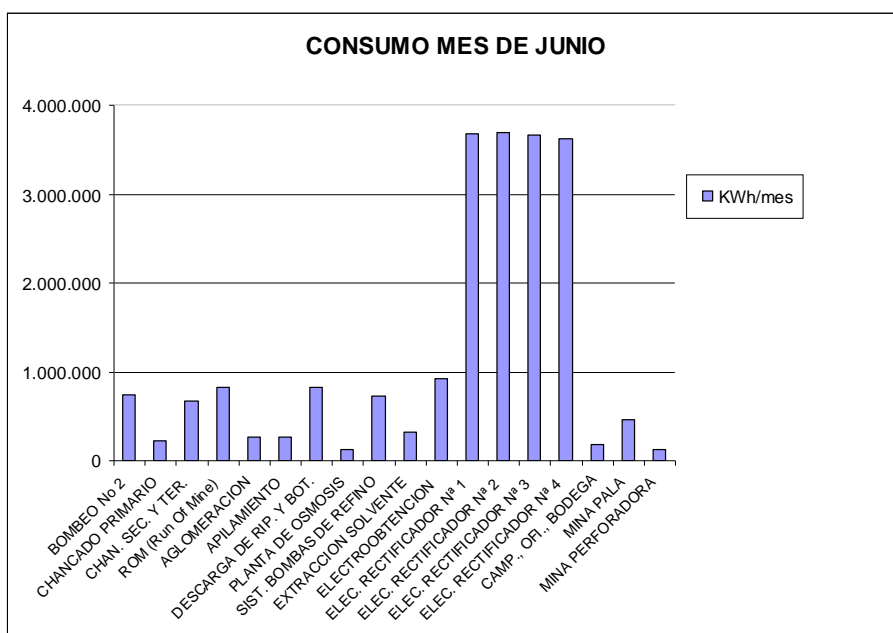


Figura 34: Gráfico de consumos de minera mes de Junio.

En el mes de Julio se obtienen los consumos entregados en tabla 17.

ÁREA	Consumo	Unidad
BOMBEO No 2 SUMINISTRO AGUA	789.531	KWh/mes
CHANCADO PRIMARIO	261.799	KWh/mes
CHANCADO SECUNDARIO Y TERCIARIO	796.453	KWh/mes
ROM (Run Of Mine)	970.626	KWh/mes
AGLOMERACIÓN	263.756	KWh/mes
APILAMIENTO	257.481	KWh/mes
DESCARGA DE RIPIOS Y BOTADERO	825.217	KWh/mes
PLANTA DE OSMOSIS	125.338	KWh/mes
SISTEMA BOMBAS DE REFINO	800.693	KWh/mes
EXTRACCIÓN POR SOLVENTE	336.034	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN	985.491	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR N° 1	4.286.426	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR N° 2	4.288.556	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR N° 3	4.235.268	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR N° 4	4.225.677	KWh/mes
CAMPAMENTO , OFICINAS, BODEGA	273.504	KWh/mes
MINA PALA	523.327	KWh/mes
MINA PERFORADORA	128.375	KWh/mes
TOTAL	24.373.553	KWh/mes

Tabla 17: Detalle de consumo de minera mes de Julio.

En gráfico 35 se puede ver que en los consumos en el mes de Julio existe un ligero aumento en comparación con meses anteriores, donde nuevamente los generados por los procesos de electro-obtención y los rectificadores son los más importantes, los cuales en conjunto suman cerca de 18,0 GWh/mes, lo que representa el 73,9 % del total de la mina en el mes.

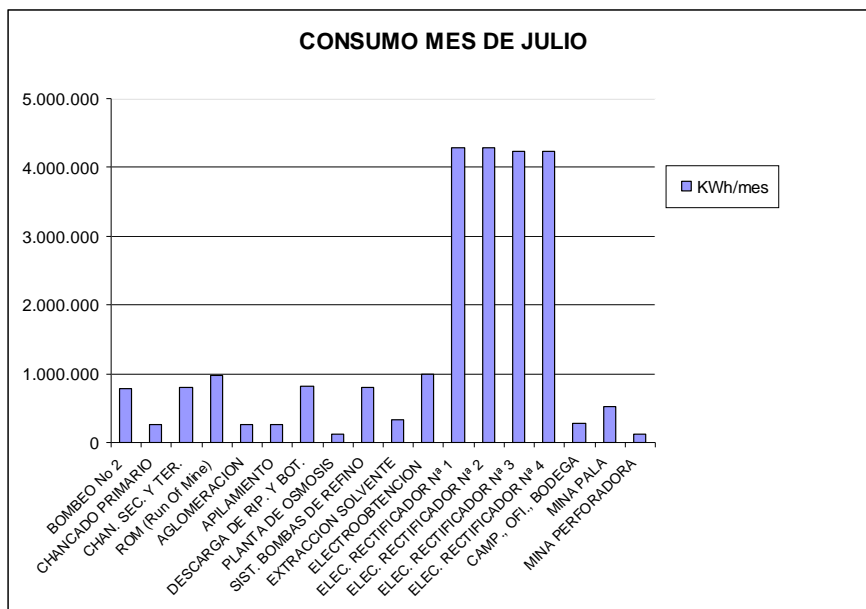


Figura 35: Gráfico de consumos de minera mes de Julio.

Los consumos del mes de Agosto se muestran en tabla 18.

ÁREA	Consumo	Unidad
BOMBEO No 2 SUMINISTRO AGUA	810.151	KWh/mes
CHANCADO PRIMARIO	266.249	KWh/mes
CHANCADO SECUNDARIO Y TERCARIO	809.989	KWh/mes
ROM (Run Of Mine)	987.123	KWh/mes
AGLOMERACIÓN	259.859	KWh/mes
APILAMIENTO	253.677	KWh/mes
DESCARGA DE RIPIOS Y BOTADERO	813.022	KWh/mes
PLANTA DE OSMOSIS	125.338	KWh/mes
SISTEMA BOMBAS DE REFINO	800.010	KWh/mes
EXTRACCIÓN POR SOLVENTE	346.788	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN	1.017.028	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 1	4.285.604	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 2	4.289.392	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 3	4.243.933	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 4	4.235.409	KWh/mes
CAMPAMENTO , OFICINAS, BODEGA	236.007	KWh/mes
MINA PALA	522.945	KWh/mes
MINA PERFORADORA	199.474	KWh/mes
TOTAL	24.501.998	KWh/mes

Tabla 18: Detalle de consumo de minera mes de Agosto.

En gráfico 36 se muestran los consumos del mes de Agosto, donde los mayores consumos son los generados por los procesos de electro-obtención y los rectificadores, que en conjunto suman cerca de 18,0 GWh/mes, lo que representa el 73,8 % del total de la mina en el mes.

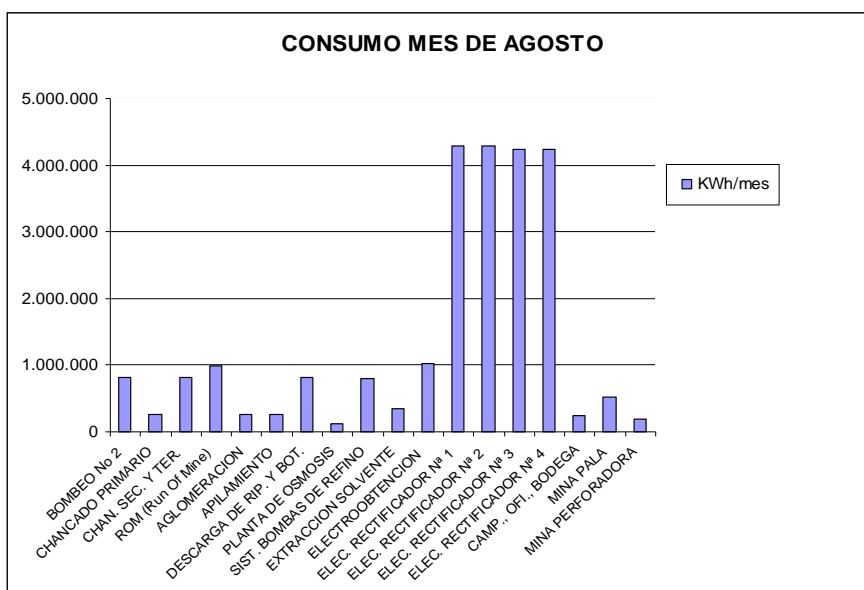


Figura 36: Gráfico de consumos de minera mes de Agosto.

Los datos entregados en el mes de septiembre se muestran en tabla 19.

ÁREA	Consumo	Unidad
BOMBEO No 2 SUMINISTRO AGUA	796.040	KWh/mes
CHANCADO PRIMARIO	256.470	KWh/mes
CHANCADO SECUNDARIO Y TERCARIO	780.238	KWh/mes
ROM (Run Of Mine)	950.866	KWh/mes
AGLOMERACIÓN	273.474	KWh/mes
APILAMIENTO	266.968	KWh/mes
DESCARGA DE RIPIOS Y BOTADERO	855.621	KWh/mes
PLANTA DE OSMOSIS	125.338	KWh/mes
SISTEMA BOMBAS DE REFINO	756.923	KWh/mes
EXTRACCIÓN POR SOLVENTE	327.387	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN	960.133	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 1	3.840.758	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 2	3.843.363	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 3	3.806.806	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 4	3.798.295	KWh/mes
CAMPAMENTO , OFICINAS, BODEGA	124.287	KWh/mes
MINA PALA	414.285	KWh/mes
MINA PERFORADORA	102.813	KWh/mes
TOTAL	22.280.066	KWh/mes

Tabla 19: Detalle de consumo de minera mes de Septiembre.

En gráfico 37 se muestran los consumos del mes de Septiembre, donde los mayores consumos son los generados por los procesos de electro-obtención y rectificadores, que en conjunto suman cerca de 16,2 GWh/mes, lo que representa el 72,9 % del total de la mina en el mes.

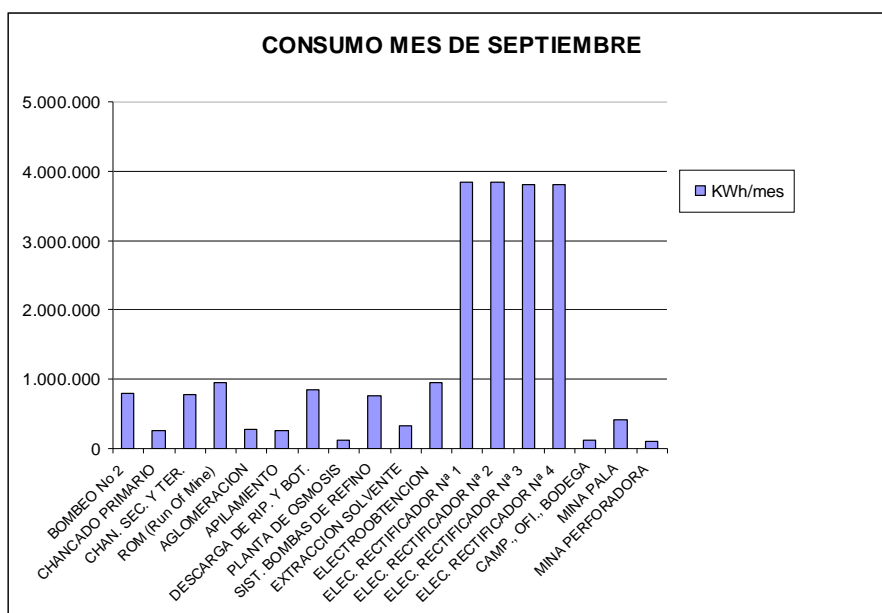


Figura 37: Gráfico de consumos de minera mes de Septiembre.

En tabla 20 se muestran los datos recogidos en el mes de Octubre.

ÁREA	Consumo	Unidad
BOMBEO No 2 SUMINISTRO AGUA	802.354	KWh/mes
CHANCADO PRIMARIO	251.004	KWh/mes
CHANCADO SECUNDARIO Y TERCARIO	763.610	KWh/mes
ROM (Run Of Mine)	930.602	KWh/mes
AGLOMERACIÓN	276.804	KWh/mes
APILAMIENTO	270.219	KWh/mes
DESCARGA DE RIPIOS Y BOTADERO	866.040	KWh/mes
PLANTA DE OSMOSIS	125.338	KWh/mes
SISTEMA BOMBAS DE REFINO	771.162	KWh/mes
EXTRACCIÓN POR SOLVENTE	331.059	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN	970.901	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 1	3.835.674	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 2	3.842.902	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 3	3.783.017	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 4	3.777.855	KWh/mes
CAMPAMENTO , OFICINAS, BODEGA	147.936	KWh/mes
MINA PALA	411.514	KWh/mes
MINA PERFORADORA	122.074	KWh/mes
TOTAL	22.280.066	KWh/mes

Tabla 20: Detalle de consumo de minera mes de Octubre.

Tal como se muestra en figura 38, en el gráfico de los consumos del mes de Octubre se puede destacar que los mayores consumos son los generados por los procesos de electro-obtención y los rectificadores, que en conjunto suman cerca de 16,2 GWh/mes, lo que representa el 72,8 % del consumo total de la mina en el mes.

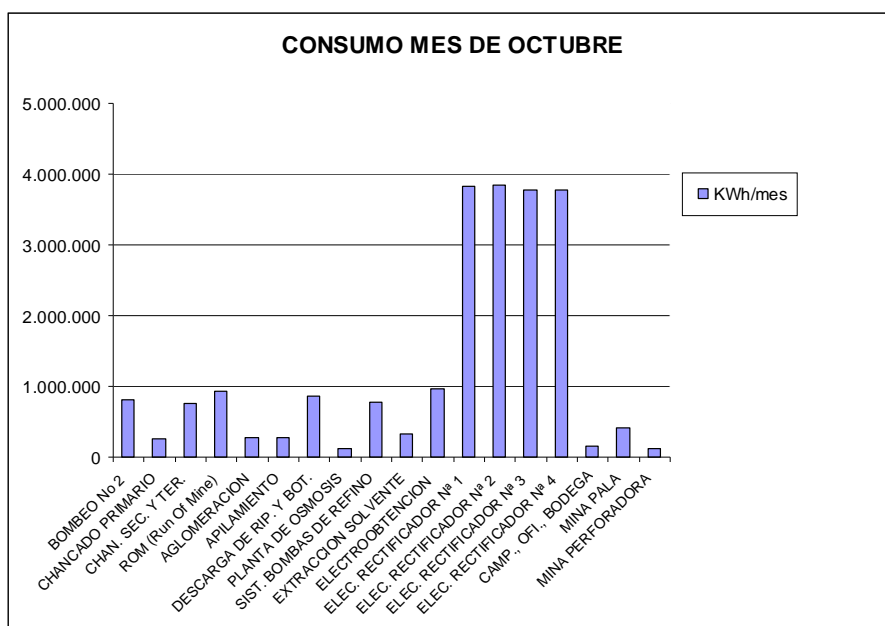


Figura 38: Gráfico de consumos de minera mes de Octubre.

En tabla 21 se muestran los consumos obtenidos en el mes de Noviembre.

ÁREA	Consumo	Unidad
BOMBEO No 2 SUMINISTRO AGUA	801.699	KWh/mes
CHANCADO PRIMARIO	260.391	KWh/mes
CHANCADO SECUNDARIO Y TERCIARIO	792.169	KWh/mes
ROM (Run Of Mine)	965.406	KWh/mes
AGLOMERACIÓN	290.655	KWh/mes
APILAMIENTO	283.741	KWh/mes
DESCARGA DE RIPIOS Y BOTADERO	909.376	KWh/mes
PLANTA DE OSMOSIS	128.262	KWh/mes
SISTEMA BOMBAS DE REFINO	771.415	KWh/mes
EXTRACCIÓN POR SOLVENTE	338.513	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN	992.762	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 1	4.132.652	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 2	4.130.579	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 3	4.100.535	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 4	4.095.355	KWh/mes
CAMPAMENTO , OFICINAS, BODEGA	225.382	KWh/mes
MINA PALA	465.786	KWh/mes
MINA PERFORADORA	118.110	KWh/mes
TOTAL	23.802.790	KWh/mes

Tabla 21: Detalle de consumo de minera mes de Noviembre.

En figura 39 se muestra el gráfico de consumo del mes de Noviembre, el cual muestra que los mayores consumos son los generados por los procesos de electro-obtención y los rectificadores, que en conjunto suman cerca de 17,4 GWh/mes, lo que representa el 73,3 % del consumo total de la mina en el mes.

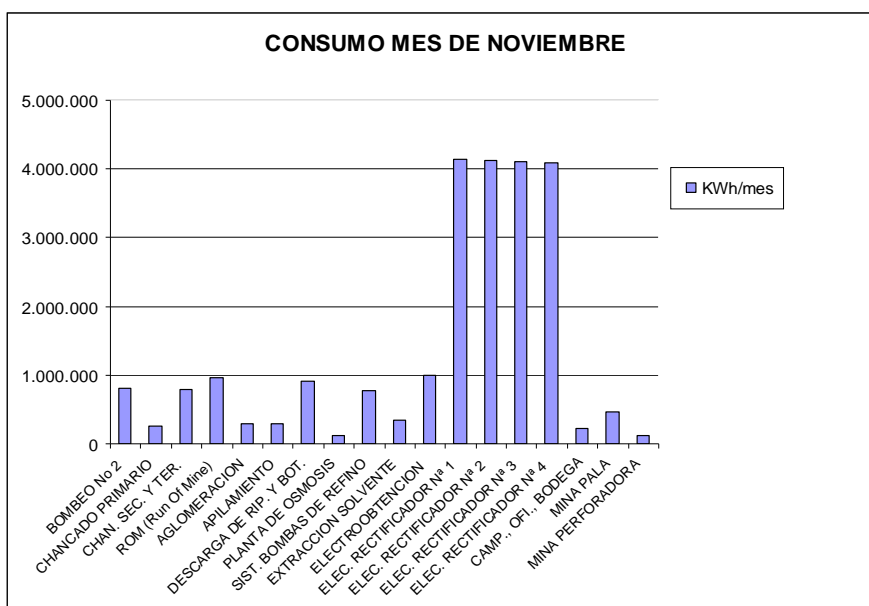


Figura 39: Gráfico de consumos de minera mes de Noviembre.

Los consumos realizados en el mes de Diciembre son los que se muestran a continuación en tabla 22.

ÁREA	Consumo	Unidad
BOMBEO No 2 SUMINISTRO AGUA	844.704	KWh/mes
CHANCADO PRIMARIO	280.356	KWh/mes
CHANCADO SECUNDARIO Y TERCIARIO	852.905	KWh/mes
ROM (Run Of Mine)	1.039.424	KWh/mes
AGLOMERACIÓN	308.338	KWh/mes
APILAMIENTO	301.003	KWh/mes
DESCARGA DE RIPIOS Y BOTADERO	964.700	KWh/mes
PLANTA DE OSMOSIS	128.262	KWh/mes
SISTEMA BOMBAS DE REFINO	803.963	KWh/mes
EXTRACCIÓN POR SOLVENTE	351.385	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN	1.030.511	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 1	4.521.676	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 2	4.507.508	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 3	4.474.815	KWh/mes
ELECTRO-OBTENCIÓN GRUPO RECTIFICADOR Nº 4	4.465.005	KWh/mes
CAMPAMENTO , OFICINAS, BODEGA	193.643	KWh/mes
MINA PALA	489.218	KWh/mes
MINA PERFORADORA	114.435	KWh/mes
TOTAL	25.671.852	KWh/mes

Tabla 22: Detalle de consumo de minera mes de Diciembre.

En figura 40 se muestra el gráfico de consumo del mes de Diciembre, el cual muestra que los mayores consumos son los generados por los procesos de electro-obtención y los rectificadores, que en conjunto suman cerca de 19,0 GWh/mes, lo que representa el 74,0 % del consumo total de la mina en el mes.

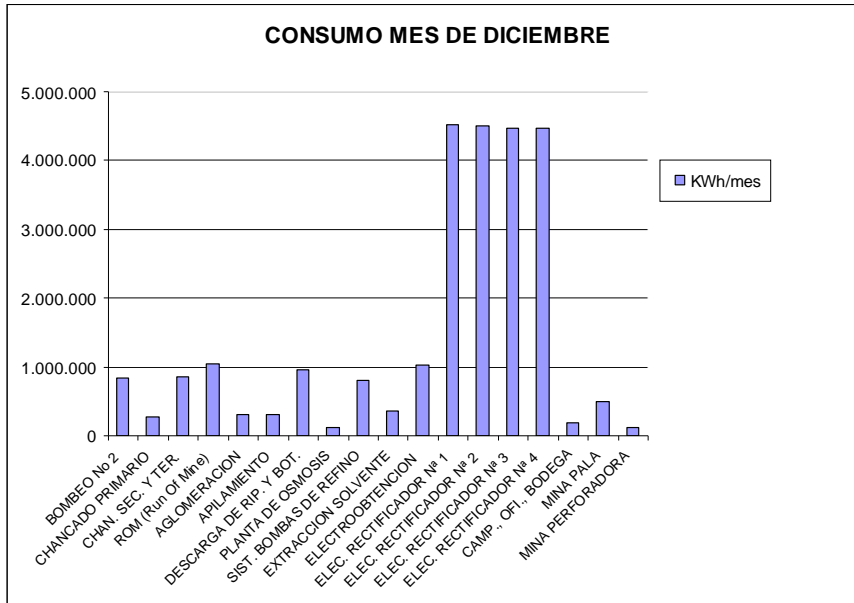


Figura 40: Gráfico de consumos de minera mes de Diciembre.

