



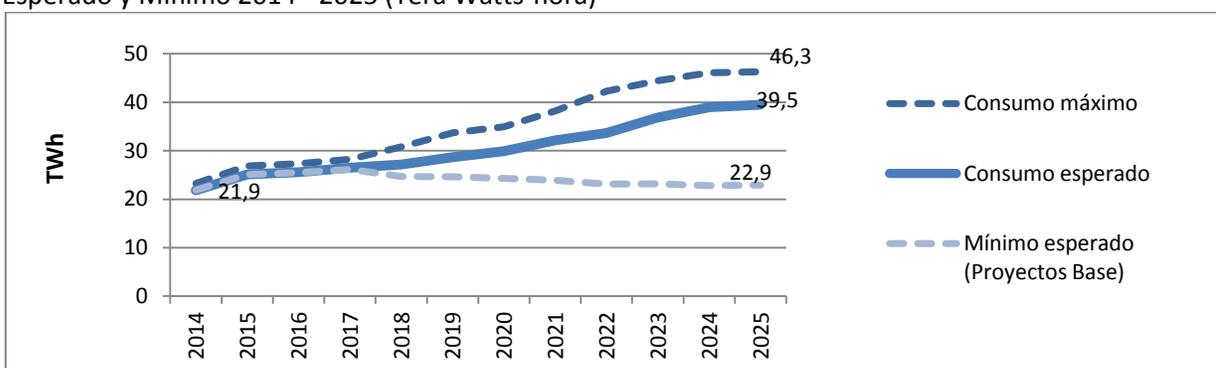
Proyección del consumo de electricidad en la minería del cobre 2014 - 2025.

DE 18 /2014

Resumen Ejecutivo

El presente informe tiene por objetivo proyectar el consumo eléctrico de la minería del cobre en el periodo 2014 – 2025. En este sentido, pretende entregar antecedentes y un análisis respecto del consumo eléctrico esperado de la minería a nivel nacional, regional y en los sistemas interconectados SING y SIC. La metodología empleada es una simulación de Montecarlo que toma en consideración una proyección de producción de cobre al año 2025 en base a: i) cartera de proyectos vigentes y operaciones mineras actuales y ii) estimación de producción futura de acuerdo a la condición y estado actual de dichos proyectos. Los resultados a nivel país se muestra en la figura 1.

Figura 1: Consumo eléctrico nacional de la minería del cobre 2014 - 2025 según los casos Máximo, Esperado y Mínimo 2014 - 2025 (Tera Watts-hora)



Fuente: Elaborado por Cochilco

En el caso del consumo eléctrico esperado, que considera incertidumbre en los proyectos, se proyecta crecerá de 21,9 TWh a 39,5 TWh, lo que representa un aumento de un 80,6% en el período 2014 – 2025, a una tasa de 5,5% anual. Por otro lado, para el caso del consumo máximo de electricidad, el cual considera sin retrasos la puesta en marcha de los proyectos de inversión, este tendría un incremento de un 99%, pasando de un consumo de 23,3 TWh en 2014 a un consumo de 46,3 TWh en 2025, con una tasa de crecimiento de 6% anual. Por último, en el caso del consumo eléctrico mínimo esperado, en donde hipotéticamente los proyectos de inversión no se concretasen, se proyecta un crecimiento de 4,3%, alcanzando un consumo de 22,9 TWh en 2025.

Se estima, de acuerdo al consumo esperado de electricidad, que para satisfacer la demanda esperada de la minería del cobre, se requeriría agregar una capacidad de generación eléctrica de 2.500 MW en el período 2015 – 2025, de las cuales 1.400 MW se estiman para el SING y 1.100 MW para el SIC.

Por otro lado, cuando se analizan los proyectos según su condición, se determina que los proyectos posibles podrían empezar a demandar electricidad el año 2017, alcanzando al año 2025 un consumo de 7,67 TWh, explicando el 19,4% del consumo esperado. Por otro lado, la demanda de los proyectos potenciales emergerá en 2020, para alcanzar el año 2025 un consumo esperado de 8,56 TWh, correspondiente al 21,7% del consumo esperado total. Esta situación de premura en el aumento de generación eléctrica, pero no de urgencia inmediata, permite ampliar la oferta y presenta una oportunidad de fortalecer las políticas nacionales de energía, en términos de diversificar la matriz energética, fortalecer la penetración de las ERNC e incrementar la eficiencia energética.

Índice

Resumen Ejecutivo	I
1. Introducción	6
2. Metodología	8
2.1. Proyectos considerados	8
2.2. Coeficientes unitarios de consumo eléctrico por procesos en el periodo 2014 - 2025	8
2.3. Cálculo del consumo esperado nacional de electricidad en minería 2014 - 2025	9
2.4. Cálculo de consumo máximo nacional de electricidad en minería	13
2.5. Cálculo del consumo mínimo nacional de electricidad en minería	14
3. Proyección del consumo anual de energía eléctrica al año 2025	15
3.1. Proyección nacional	15
3.2. Proyección por sistemas interconectados SING y SIC.....	16
3.3. Proyección de demanda por potencia eléctrica	18
4. Análisis del consumo eléctrico esperado según la condicionalidad de los proyectos al 2025..	19
4.1. Análisis a nivel país	19
4.2. Análisis comparativo del SING y SIC.....	21
4.3. Análisis regional	22
5. Análisis del consumo eléctrico esperado según Tipo al año 2025	25
5.1. Análisis nivel país	25
5.2. Análisis comparativo del SING y SIC.....	26
6. Análisis del consumo eléctrico esperado según procesos al 2025.....	29
6.1. Distribución del consumo eléctrico esperado a nivel país	29
6.2. Análisis comparativo del SING y SIC.....	31
7. Conclusiones.....	33
8. Anexos	34
8.1. Anexos capítulo 2: Metodología	34
8.2. Anexo con cifras de proyección de consumo esperado de electricidad 2014 – 2025 en diferentes categorías	40



Índice de figuras

Figura 1: Consumo eléctrico nacional de la minería del cobre 2014 - 2025 según los casos Máximo, Esperado y Mínimo 2014 - 2025 (Tera Watts-hora)	1
Figura 2: Consumo eléctrico nacional de la minería del cobre 2014 - 2025 según los casos Máximo, Esperado y Mínimo 2014 - 2025 (Tera Watts-hora)	15
Figura 3: Consumo eléctrico de la minería del cobre en el SING y SIC según los casos Máximo, Esperado y Mínimo 2014 - 2025 (Tera Watts-hora)	17
Figura 4: Proyección de la demanda acumulada de potencia eléctrica, medida en MW, requerida por la minería del cobre a partir del 2015 en el SING, SIC y total nacional.	18
Figura 5: Proyección del consumo eléctrico nacional esperado al año 2025 según la condicionalidad de operaciones y proyectos de la minería del cobre (TeraWatts-hora)	19
Figura 6: Consumo eléctrico de la minería del cobre en el SING y SIC según la condicionalidad de sus operaciones y proyectos (Tera Watts-hora)	21
Figura 7: Distribución regional del consumo eléctrico de la minería del cobre en el SING según la condicionalidad de sus operaciones y proyectos (Tera Watts-hora).....	22
Figura 8: Distribución regional del consumo eléctrico de la minería del cobre en el SIC según la condicionalidad de sus operaciones y proyectos (Tera Watts-hora).....	23
Figura 9: Proyección del consumo eléctrico nacional esperado al año 2025 según tipo de proyectos de la minería del cobre (TeraWatts-hora).....	25
Figura 10: Proyección del consumo eléctrico esperado en el SING y SIC al año 2025 según operaciones y tipo de proyectos de la minería del cobre (TeraWatts-hora).....	26
Figura 11: Proyección del consumo eléctrico esperado en proyectos nuevos según condición y región en compañías establecidas y nuevas (TeraWatts-hora)	28
Figura 12: Consumo eléctrico esperado de la minería del cobre a nivel nacional por procesos.....	30
Figura 13: Consumo eléctrico esperado de la minería del cobre por procesos a nivel nacional.....	30
Figura 14: Consumos de Electricidad esperados por procesos en los sistemas SING y SIC.	31



Índice de tablas

Tabla 1: Proyección de consumos unitarios de electricidad por procesos 2014 - 2025	9
Tabla 2: Ponderadores determinísticos de producción futura máxima.	11
Tabla 3: Ponderadores determinísticos de producción futura más probable	12
Tabla 4: Ponderadores determinísticos de producción futura más probable	13
Tabla 5: Proyección del consumo eléctrico nacional de la minería del cobre según los casos Máximo, Esperado y Mínimo 2014 - 2025(Tera Watts-hora)	15
Tabla 6: Proyección del consumo eléctrico de la minería del cobre en el SING según los casos Máximo, Esperado y Mínimo 2014 – 2025 (Tera Watts-hora).....	16
Tabla 7: Proyección del consumo eléctrico de la minería del cobre en el SIC según los casos Máximo, Esperado y Mínimo 2014 – 2025 (Tera Watts-hora).....	16
Tabla 8: Proyección de la demanda acumulada de potencia eléctrica requerida por la minería del cobre a partir del 2015 en el SING, SIC y total nacional.....	18
Tabla 9: Proyección del consumo eléctrico nacional de la minería del cobre según la condicionalidad de operaciones y proyectos 2014 - 2025(Tera Watts-hora)	20
Tabla 10: Distribución nacional del consumo eléctrico esperado de la minería del cobre Según operaciones y tipos de proyectos 2014 – 2025 (Tera Watts-hora).....	25
Tabla 11: Distribución nacional del consumo eléctrico esperado de la minería del cobre según procesos 2014 – 2025 (Tera Watts-hora).....	29
Tabla 12: Operaciones vigentes de cobre	34
Tabla 13: Proyectos de inversión en minería de cobre.....	36
Tabla 14: Proyectos de inversión en minería del oro y del hierro con coproducción de cobre	37
Tabla 15: Operaciones y proyectos de desalinización e impulsión.....	37
Tabla 16: Cálculo de la potencia requerida en la desalación e impulsión de agua.....	38
Tabla 17: Consumo máximo, mínimo y esperado de la minería del Cobre 2014 - 2025, país.....	40
Tabla 18: Consumo máximo, mínimo y esperado de la minería del Cobre 2014 - 2025, SING.	40
Tabla 19: Consumo máximo, mínimo y esperado de la minería del Cobre 2014 - 2025, SIC.	40
Tabla 20: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre por procesos, país.....	41
Tabla 21: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre por procesos, SING. ...	41
Tabla 22: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre por procesos, SIC.	41
Tabla 23: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre según condición, país.42	
Tabla 24: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre según condición, SING42	

Tabla 25: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre según condición, SIC..	42
Tabla 26: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre por tipo de proyecto, país.	43
Tabla 27: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre por tipo de proyecto, SING.	43
Tabla 28: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre por tipo de proyecto, SIC.	43
Tabla 29: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre por etapa de desarrollo, país.	44
Tabla 30: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre por etapa de desarrollo, SING.	44
Tabla 31: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre por etapa de desarrollo, SIC.	44



1. Introducción

La energía eléctrica es un insumo estratégico para la minería del cobre, tanto por la magnitud que se requiere en los diversos procesos productivos y servicios como por la incidencia en los costos de operación. La minería del cobre tiene una alta participación en el consumo nacional de energía eléctrica por la magnitud de su actividad la que se verá incrementada por su gran potencial de desarrollo en los próximos años. Por ello es relevante dar una mirada prospectiva de su demanda de energía eléctrica hasta el año 2025, fecha en la que podrían estar en operación gran parte de la actual cartera de proyectos.

Es por esto que la Comisión Chilena del Cobre mantiene una línea de trabajo que se enfoca desde el registro y análisis de consumo histórico de energía eléctrica en la minería del cobre, como en su proyección en los siguientes 10 años.

En primer término, se entregan los criterios metodológicos que se emplean para efectuar la estimación al año 2025 del consumo eléctrico por las operaciones mineras productoras de cobre. En lo principal se emplean métodos probabilísticos (Simulación de Montecarlo) para estimar la cuantificación de la capacidad productiva esperada entre el año 2014 y 2025 compuesta por las operaciones vigentes más los proyectos actualmente en carpeta, que por su naturaleza tienen distintos grados de incertidumbre. A la capacidad esperada de producción se le aplican los respectivos coeficientes unitarios de consumo eléctrico, con lo que se obtiene el consumo eléctrico esperado, debidamente distribuido por diversas variables de interés para analizar.

Luego se muestran los resultados para el período 2014 – 2025 en capítulos destinados a:

- a) El consumo eléctrico global a nivel nacional, SING y SIC señalando: el consumo máximo, si a las operaciones vigentes se suman todos los proyectos que se ejecutarían en la forma y tiempo conocidos actualmente; el consumo mínimo, si solo se agregan los proyectos actualmente en construcción y el consumo esperado obtenido de la simulación de Montecarlo. Además, se realiza un análisis de la proyección de demanda por potencia eléctrica en base a la demanda eléctrica esperada demandará la minería del cobre.
- b) El análisis del consumo esperado a nivel país según la condición en que se encuentran los proyectos. La condición de los proyectos se analiza separadamente a nivel nacional y en los sistemas interconectado SING y SIC. Por último, se describe y analiza la demanda futura de electricidad a nivel Regional (por ubicación geográfica).
- c) Se desarrolla un análisis de la proyección de consumo eléctrico esperado según el tipo de proyecto minero: Nuevo, Expansión, Reposición u Operando. Se realiza un análisis separado a nivel país y un análisis comparado por sistemas interconectados SING y SIC.
- d) Debido que el tipo de minería que se desarrolla en Chile es determinante en el consumo eléctrico del sector minero. Se continúa con un análisis del consumo eléctrico en minería según procesos. El análisis se desarrolla nivel nacional y a nivel de sistemas interconectados SING y SIC.



Finalmente se entregan las conclusiones que se desprenden de la proyección del consumo eléctrico en la minería del cobre.

Cochilco expresa su reconocimiento a la colaboración inicial de la compañías productoras de cobre que aportan anualmente sus datos operacionales históricos, que sirven de base para la diversidad de análisis que realiza en torno al consumo energético, tales como la determinación de coeficientes unitarios de consumo eléctrico y de combustibles, de indicadores de intensidad de consumo de energía para medir eficiencia energética, el cálculo de las emisiones directas de gases de efecto invernadero y para la proyección del consumo eléctrico que es el propósito del presente informe.



2. Metodología

En este capítulo se muestra la metodología utilizada en la proyección de electricidad en minería para el periodo 2014 – 2025. El método de proyección es una simulación probabilística de Montecarlo basada en el perfil de producción de la cartera de proyectos mineros del informe *Inversión En La Minería Chilena - Cartera De Proyectos 2014 -2023* publicado por Cochilco en agosto 2014.

2.1. Proyectos considerados

La proyección de consumo eléctrico en minería del cobre considera faenas mineras actualmente en operación, proyectos mineros en etapa de construcción y proyectos de inversión en minería, con mayor o menor grado de certidumbre de concretarse, basados en el informe *de Inversión en la minería chilena - Cartera de proyectos 2014 -2023*. Además, la proyección de consumo eléctrico considera proyectos y operaciones mineras de oro y de hierro que tienen una coproducción de cobre significativa en el periodo 2014 – 2025, para mayor detalle ver tablas 12, 13 y 14 en anexo 8.1.

Por otro lado, la proyección de consumo eléctrico considera la desalación e impulsión de agua de mar en la minería. Este proceso es altamente intensivo en el consumo de energía y será cada vez más relevante debido al aumento en la utilización del recurso hídrico por el incremento en la producción de cobre y oro a nivel nacional. Por este motivo, para efectuar el cálculo de consumo eléctrico global de la minería se considera la operación actual y la entrada en operación de plantas de desalación e impulsión de agua de mar en el periodo 2014 – 2025, para mayor ver anexo tabla 15 en anexo 8.1.

2.2. Coeficientes unitarios de consumo eléctrico por procesos en el periodo 2014 - 2025

La proyección del consumo eléctrico se efectúa sobre la base de un perfil de producción de cobre futuro por faena y el consumo unitario de electricidad por procesos. En este sentido, Cochilco desde el año 2001 calcula los coeficientes unitarios de consumo de energía por procesos a nivel nacional.

Este informe proyecta determinísticamente los coeficientes unitarios de consumo de electricidad por procesos de la minería del cobre en el periodo 2014 - 2025. Para esto, se efectúa una extrapolación en base a un ajuste logarítmico respecto de los consumos unitarios por procesos publicados por Cochilco en el periodo 2001 – 2013. Los resultados de dicha extrapolación se muestran en la tabla 1, donde se consideran los procesos unitarios de Mina Rajo, Mina Subterránea, Concentradora, Fundición, Refinería, LXSXEW y Servicios.



Tabla 1: Proyección de consumos unitarios de electricidad por procesos 2014 - 2025

Proyección	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Mina Rajo kWh/ TMF Cu	188,9	190,5	192,0	193,4	194,8	196,0	197,2	198,4	199,5	200,5	201,5	201,5
Mina Subterránea kWh/ TMF Cu	618,1	627,4	636,1	644,2	651,9	659,1	666,0	672,6	678,8	684,8	690,5	690,5
Concentradora kWh/TM min. Proce.	21,5	21,5	21,6	21,7	21,8	21,8	21,9	22,0	22,0	22,1	22,1	22,1
Fundición kWh/TM conc. Proce.	336,7	337,0	337,3	337,6	337,9	338,1	338,4	338,6	338,8	339,0	339,2	339,4
Refinería kWh/ TMF Cu	364,5	365,2	365,9	366,5	367,1	367,7	368,2	368,8	369,2	369,7	370,2	370,2
LX/SX/EW kWh/ TMF Cu	2.979	2.987	2.994	3.001	3.008	3.014	3.012	3.025	3.031	3.036	3.041	3.041
Servicios kWh/ TMF Cu	184,1	185,4	186,5	187,6	188,7	189,7	190,6	191,5	192,3	193,1	193,9	193,9

Fuente: Elaborado por Cochilco

Para el caso del proceso de desalación e impulsión, el presente informe utiliza la metodología descrita en el informe *Proyección Del Consumo De Energía Eléctrica De La Minería Del Cobre En Chile Al 2025*, publicado por Cochilco en 2013, para efectuar los cálculos de la potencia y energía eléctrica a consumir en plantas desaladoras y sistemas de impulsión de agua de mar. El detalle de la metodología de cálculo se encuentra en la sección 8.1.2 del anexo en el presente informe.

2.3. Cálculo del consumo esperado nacional de electricidad en minería 2014 - 2025

La proyección de consumo de electricidad en minería está sujeta a riesgo e incertidumbre. En este estudio se calculará el consumo esperado de electricidad en minería utilizando el método probabilístico de Montecarlo, considerando los consumos eléctricos por procesos en las diferentes faenas como sucesos independientes.

La función de probabilidad utilizada para la simulación es una *Beta*. Esta permite estimar la distribución de los consumos en base a rangos de valor que puede tomar la variable, indicando un valor mínimo, más probable y máximo. La mayor dificultad, entonces, recae en el cálculo de los rangos de los consumos de electricidad en los diferentes procesos de cada faena. Para este fin se determinan tres escenarios de consumo eléctrico:

- **Escenario de consumo eléctrico máximo:** considera que las operaciones continúan según lo planificado y todos los proyectos se ponen en marcha en la fecha y capacidad productiva estimada actualmente por sus titulares. Es, por cierto, un escenario optimista.
- **Escenario de consumo eléctrico más probable:** pondera los perfiles de producción de cobre esperado y reportado por las firmas mineras con valores menores a la unidad, ya que existe una alta probabilidad de que los proyectos sufran variaciones y no se lleven a cabo en la fecha y capacidad productiva estimada inicialmente. Esta ponderación ha sido determinada por Cochilco en base a información histórica del comportamiento de la

materialización de proyectos mineros, obtenida de los catastros de proyectos históricos publicados por Cochilco.

- **Escenario de consumo eléctrico mínimo:** que ajusta el escenario más probable con cifras inferiores dentro de un criterio técnico razonable. Es, entonces, un escenario pesimista.

El valor del consumo esperado de electricidad en minería para un año t se calcula como se muestra en la ecuación (2.1):

$$Cons_Elec_Esp_t = \sum_i \sum_j E[Beta(X_{ijkt}; Y_{ijkt}; Z_{ijkt})], (TWh) \quad (2.1)$$

Donde,

- i : Faena minera considerada.
- j : Proceso minero considerado.
- k : Condición/estado del proyecto minero considerado¹.
- t : Año considerado entre los años 2014 – 2025.
- $Beta$: Distribución de probabilidad que describe el rango de valores que puede tomar el consumo de electricidad y la probabilidad asignada a cada valor de acuerdo a las variables de entrada.
- Z_{ijkt} : Corresponde al consumo máximo de electricidad en la faena i , en el proceso j , de acuerdo a la condición/estado k del proyecto, en el año t . La unidad de medida es TWh.
- Y_{ijkt} : Corresponde al consumo más probable de electricidad en la faena i , en el proceso j , de acuerdo a la condición/estado k del proyecto, en el año t . La unidad de medida es TWh.
- X_{ijkt} : Corresponde al consumo mínimo de electricidad en la faena i , en el proceso j , de acuerdo a la condición/estado k del proyecto, en el año t . La unidad de medida es TWh.

Entonces, para calcular el consumo esperado de electricidad en un año determinado, es necesario en primera instancia, determinar las variables de entrada de la función $Beta$ para cada proceso en cada faena: X_{ijkt} , Y_{ijkt} y Z_{ijkt} . El detalle del cálculo se muestra en las secciones 2.3.1, 2.3.2 y 2.3.3.

2.3.1. Cálculo de la variable de consumo máximo de electricidad: Z_{ijkt}

Corresponde al valor máximo de consumo energético de un proceso en una faena minera específica. Este cálculo se basa en el supuesto que no existe retraso en la puesta en marcha de los proyectos mineros y el perfil de producción se desarrolla de acuerdo a las cantidades

¹ Las condiciones/estados de los proyectos que se establecen en el presente informe son: Base, Probable, Posible-factibilidad, Potencial-factibilidad y Potencial-prefectibilidad.

determinadas para cada proyecto en el periodo 2014 – 2025. Adicionalmente, se consideran los coeficientes unitarios de consumo eléctrico por procesos en un año determinado según los valores entregados en la tabla 1.

De esta manera, el consumo máximo de electricidad en un proceso j , en una faena i en el tiempo t , queda determinado por la ecuación (2.2):

$$Z_{ijkt} = Producción_Est_{ijt} \times Pond_Max_{ik} \times Coef_unit_est_{jt}, (TWh) \quad (2.2)$$

Donde,

- $Producción_Est_{ijt}$: Corresponde a la capacidad de procesamiento estimado según diseño en el proceso j , en la faena i , en el tiempo t .
- $Pond_Max_{ik}$: Corresponde al ponderador de producción máxima en base a información histórica según la condición de un proyecto k en una faena minera i . En este caso se utiliza un ponderador de valor 1, ya que se trata de la producción máxima posible. El detalle de los posibles valores se encuentra en la tabla 2.
- $Coef_unit_est_{jt}$: Corresponde al consumo unitario estimado de electricidad en el proceso j en el tiempo t . El detalle de los diferentes valores posibles adoptar se encuentra en la tabla 1.

Tabla 2: Ponderadores determinísticos de producción futura máxima².

Condición/estado de proyectos mineros	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11
Potencial/Prefactibilidad	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Potencial/Factibilidad	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Posible/Factibilidad	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Probable	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Base	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Fuente: Elaborado por Cochilco

2.3.2. Cálculo de la variable consumo más probable de electricidad: Y_{ijkt}

Corresponde al valor más probable de consumo de energía eléctrica que puede tomar un proceso minero en una faena específica. Este consumo se calcula sobre el supuesto que los proyectos mineros sufren retrasos en su ejecución y variaciones en su producción estimada respecto de la real.

Para modelar este efecto se construyó un vector de ponderadores de producción determinísticos en base a información histórica en la ejecución de proyectos mineros, según condición y fecha de

² Cabe destacar que el *año 1* hace referencia al primer año de puesta en marcha de proyectos mineros específicos. Este hace referencia a un año calendario en particular ya que el primer año de operación queda definido dependiendo del proyecto minero.

puesta en marcha. El cálculo de los vectores corresponde al promedio ponderado de las razones de producción real sobre la producción proyectada en faenas mineras de igual condición y estado.

El detalle de los ponderadores de producción se muestra en la tabla 3. Por ejemplo, de acuerdo a la tabla 3, si un proyecto minero de cobre se encuentra en condición de posible/factibilidad en el año 2014, con una estimación de inicio de operaciones en el año 2018, entonces de acuerdo a este criterio el primer año de producción solo producirá un 51% de esa producción estimada. Por otro lado, se consideran los coeficientes unitarios de consumo eléctrico por procesos en un año determinado según los valores entregados en la tabla 1.

De esta manera, el consumo más probable de electricidad en un proceso j , en una faena i en el tiempo t , queda determinado por la ecuación (2.3):

$$Y_{ijkt} = Producción_Est_{ijt} \times Pond_MP_{ik} \times Coef_unit_est_{jt}, (TWh) \quad (2.3)$$

Donde,

- $Producción_Est_{ijt}$: Corresponde a la capacidad de procesamiento estimado según diseño en el proceso j , en la faena i , en el tiempo t .
- $Pond_MP_{ik}$: Corresponde al ponderador de producción máxima en base a información histórica según la condición y estado de un proyecto. En este caso, los ponderadores son menores uno y reflejan el retraso promedio ocurrido en la producción estimada en proyectos mineros de acuerdo a su condición y estado. El detalle de los posibles valores se encuentra en la tabla 3.
- $Coef_unit_est_{jt}$: Corresponde al consumo unitario de electricidad en el proceso j en el tiempo t . El detalle de los diferentes valores posibles adoptar se encuentra en la tabla 1.

Tabla 3: Ponderadores determinísticos de producción futura más probable

Condición/estado de proyectos mineros	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11
Potencial/Prefactibilidad	0,16	0,28	0,35	0,42	0,51	0,62	0,71	0,79	0,86	0,90	0,92
Potencial/Factibilidad	0,42	0,51	0,62	0,71	0,79	0,86	0,90	0,92	0,95	0,97	0,97
Posible/Factibilidad	0,51	0,62	0,71	0,79	0,86	0,90	0,92	0,95	0,97	0,97	0,97
Probable	0,79	0,86	0,90	0,92	0,95	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
Base	0,86	0,90	0,92	0,95	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97

Fuente: Elaborado por Cochilco

2.3.3. Cálculo de la variable de consumo mínimo de electricidad: X_{ijkt}

Corresponde al valor mínimo estimado de consumo eléctrico en un proceso minero de una faena minera en particular. Este cálculo se basa en que los proyectos mineros presentes en la cartera de inversiones sufren retrasos más allá de los previstos, por ejemplo variaciones en las condiciones macroeconómicas, retrasos en la aprobación de permisos, retrasos en la ingeniería, etc.

De esta manera, se determinó un vector de ponderadores producción mínimo de los proyectos mineros según su condición en base a la información histórica de Cochilco y juicio de experto. Para esto, primero se efectuó el cálculo de los vectores correspondiente al promedio ponderado de las razones de producción real sobre la producción proyectada en faenas mineras de igual condición y estado. En segunda instancia, estos valores fueron nuevamente ponderados por valores menores a la unidad según juicio de experto, con motivo de determinar valores mínimos realistas, de acuerdo a la condición del proyecto.

El consumo mínimo de electricidad en un proceso j , en una faena i en el tiempo t , se calcula como en (2.4):

$$X_{ijkt} = Producción_Est_{ijt} \times Pond_Min_{ik} \times Coef_unit_est_{jt}, (TWh) \quad (2.4)$$

Donde,

- $Producción_Est_{ijt}$: Corresponde a la capacidad de procesamiento estimado según diseño en el proceso j , en la faena i , en el tiempo t .
- $Pond_Min_{ik}$: Corresponde al ponderador de producción mínimo en base a información histórica según la condición y estado de un proyecto. Estos ponderadores reflejan la producción mínima promedio estimada de los proyectos mineros según su condición. El detalle de los posibles valores se encuentra en la tabla 4.
- $Coef_unit_est_{jt}$: Corresponde al consumo unitario de electricidad en el proceso j en el tiempo t . El detalle de los diferentes valores posibles adoptar se encuentra en la tabla 1.

Tabla 4: Ponderadores determinísticos de producción futura más probable

Condición/estado de proyectos mineros	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11
Potencial/Prefactibilidad	0,13	0,22	0,28	0,34	0,41	0,50	0,57	0,63	0,69	0,72	0,74
Potencial/Factibilidad	0,34	0,41	0,50	0,57	0,63	0,69	0,72	0,74	0,76	0,78	0,78
Posible/Factibilidad	0,43	0,53	0,60	0,67	0,73	0,77	0,78	0,81	0,82	0,82	0,82
Probable	0,71	0,77	0,81	0,83	0,86	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
Base	0,82	0,86	0,87	0,90	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92

Fuente: Elaborado por Cochilco

2.4. Cálculo de consumo máximo nacional de electricidad en minería

Este cálculo se basa en que el 100% de los proyectos mineros considerados en la cartera de inversiones en minería, y por ende su perfil de producciones, comenzará sus operaciones en las fechas y cantidades reportados por las empresas. Adicionalmente, los proyectos de operación siguen el perfil de producción reportado por las empresas y los proyectos mineros en construcción no sufren retrasos.

De esta manera, el consumo máximo de electricidad proyectada corresponde a la sumatoria de los consumos de electricidad por procesos, por faena de acuerdo al perfil de producción considerado en los proyectos del presente informe.

$$Cons_Elec_Max_t = \sum_i \sum_j Producción_Max_{ijt} \times Coef_unit_est_{jt}, (TWh) \quad (2.5)$$

Donde,

- *Cons_Elec_Max_t* : Corresponde al consumo máximo de electricidad de la minería nacional del cobre en el periodo *t*. Se considera la sumatoria del consumo de electricidad en los procesos *j* de las faenas consideradas *i* que entrarían en operación hasta el año 2025.
- *Producción_Max_{ijt}*: Corresponde a la cantidad máxima de estimada de material procesado en el tiempo *t*, en la faena minera *i*, en el proceso *j*.
- *Coef_unit_est_{jt}*: Corresponde a la proyección determinística de consumos unitarios estimados de electricidad por procesos en el periodo *t*, proceso *j*. El detalle de los diferentes valores posibles adoptar se encuentra en la tabla 1.

2.5. Cálculo del consumo mínimo nacional de electricidad en minería

Se considera el consumo mínimo de electricidad global en minería como el valor esperado de los proyectos mineros que se encuentran en condición de proyectos base: proyectos mineros en operación y aquellos que al año 2014 se encuentran en etapa de construcción.



3. Proyección del consumo anual de energía eléctrica al año 2025

En este capítulo se muestra el resultado global del consumo esperado de energía eléctrica en la minería del cobre en el período 2014 – 2025, calculado mediante una estimación probabilística que recoge la condicionalidad de los proyectos mineros dada las incertidumbres propias de su desarrollo y puesta en marcha.

Dicho valor probabilístico, se acompaña con los valores determinados para los dos casos extremos para el consumo eléctrico: consumo máximo y consumo mínimo, según se explicó en la metodología.

Las proyecciones se muestran en cifras anuales a nivel país y desglosadas por cada sistema interconectado SING y SIC.

3.1. Proyección nacional

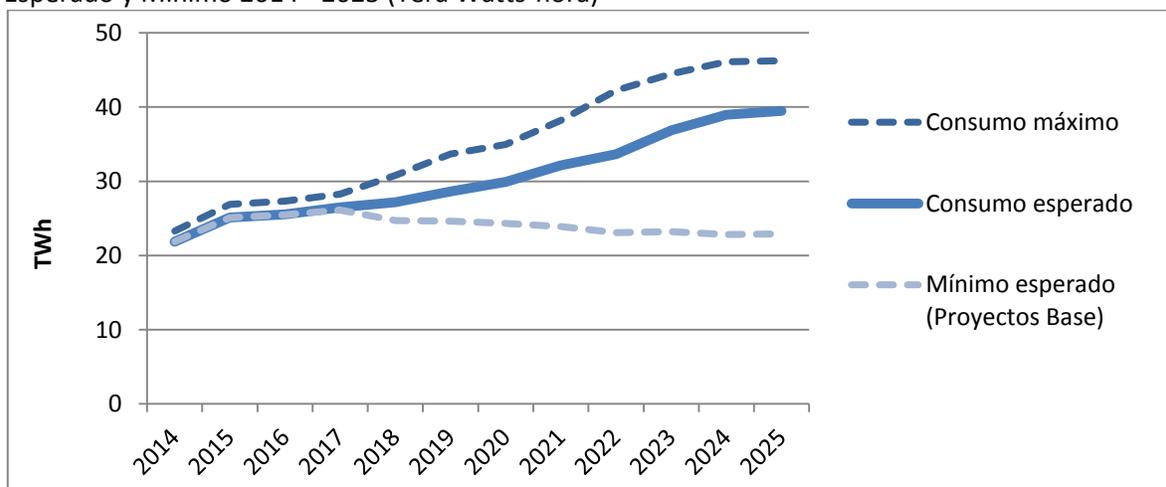
El resultado a nivel país se muestra en la tabla 5 y en la figura 1.

Tabla 5: Proyección del consumo eléctrico nacional de la minería del cobre según los casos Máximo, Esperado y Mínimo 2014 - 2025(Tera Watts-hora)

PAÍS	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Máximo	23,28	26,89	27,32	28,25	30,79	33,66	34,95	38,21	42,25	44,46	46,10	46,25
Esperado	21,86	25,11	25,56	26,47	27,15	28,64	29,92	32,14	33,66	36,85	38,96	39,47
Mínimo	21,86	25,11	25,47	26,11	24,69	24,60	24,32	23,89	23,09	23,19	22,80	22,91

Fuente: Elaborado por Cochilco

Figura 2: Consumo eléctrico nacional de la minería del cobre 2014 - 2025 según los casos Máximo, Esperado y Mínimo 2014 - 2025 (Tera Watts-hora)



Fuente: Elaborado por Cochilco

En el caso máximo el consumo eléctrico crecería en un 98,7% en el período 2014 – 2025, a una tasa anual del 6,4%. Sin embargo en el caso esperado, que recoge las incertidumbres del desarrollo de los proyectos, el consumo crecería en un 80,6%, equivalente a una tasa del 5,5% anual. Cabe señalar que la diferencia de consumo al año 2025 entre el caso máximo y el esperado es de 6,8 TWh, según la estimación probabilística de la no realización de proyectos en las fechas previstas.

Pero más significativa es la diferencia entre el caso esperado y el caso mínimo que se visualiza a partir del año 2017. Esta diferencia corresponde al valor esperado del consumo de todos los proyectos sobre los cuales aún no se toma la decisión de construir (probables, posibles y potenciales). Es decir, 16,5 TWh es la cantidad adicional de energía que con alta probabilidad demandará la minería del cobre al año 2025.

3.2. Proyección por sistemas interconectados SING y SIC

Los resultados del consumo eléctrico proyectado para el SING y SIC se muestran en las tablas 6 y la tabla 7 respectivamente.

Tabla 6: Proyección del consumo eléctrico de la minería del cobre en el SING según los casos Máximo, Esperado y Mínimo 2014 – 2025 (Tera Watts-hora)

SING	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Máximo	14,42	17,87	18,01	18,41	20,20	21,91	22,44	23,68	26,01	26,81	27,06	26,90
Esperado	13,43	16,58	16,71	17,19	17,73	18,54	19,24	20,47	20,95	22,91	22,97	23,34
Mínimo	13,43	16,58	16,62	17,04	16,53	16,28	16,00	15,56	14,82	14,83	14,35	14,22

Fuente: Elaborado por Cochilco

Tabla 7: Proyección del consumo eléctrico de la minería del cobre en el SIC según los casos Máximo, Esperado y Mínimo 2014 – 2025 (Tera Watts-hora)

SIC	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Máximo	8,86	9,02	9,31	9,84	10,59	11,75	12,50	14,54	16,24	17,65	19,04	19,35
Esperado	8,43	8,54	8,85	9,29	9,42	10,09	10,68	11,67	12,71	13,94	15,99	16,14
Mínimo	8,43	8,53	8,85	9,06	8,16	8,32	8,31	8,33	8,27	8,35	8,45	8,69

Fuente: Elaborado por Cochilco

Como se aprecia de las cifras proyectadas, las perspectivas son muy diferentes en ambos sistemas interconectados. Una revisión comparativa de los consumos esperados en el SING y en el SIC es la siguiente:

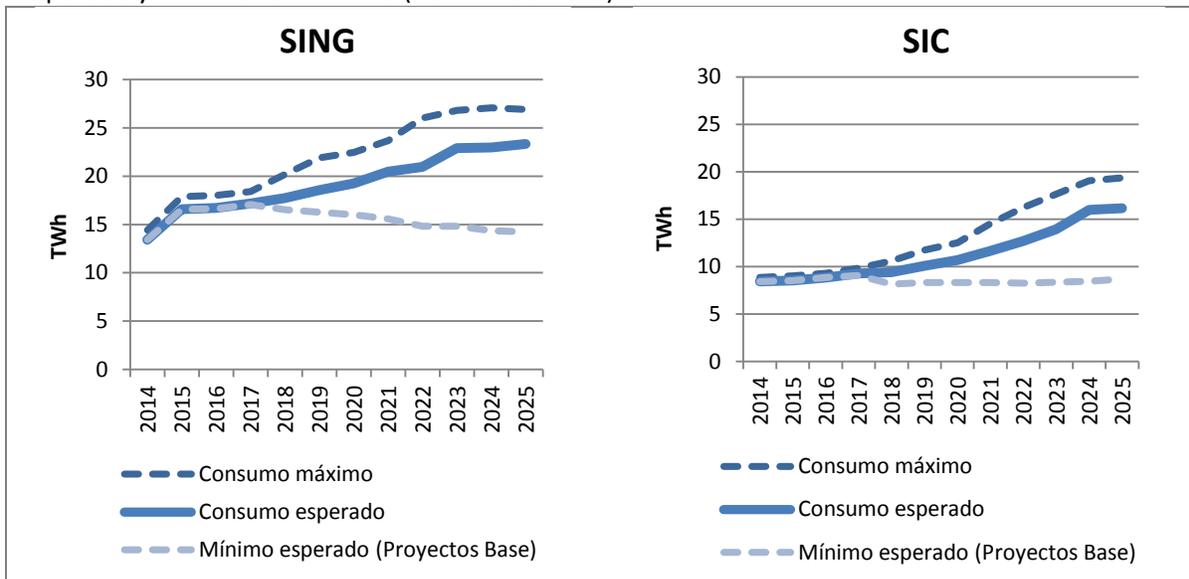
- La minería del cobre en el SIC manifiesta un gran potencial de crecimiento en los próximos años. Es así como, siendo su consumo esperado 2014 en el SING un 60% superior al del SIC, al año 2025 esta relación sería solo de un 45%. Ello se debe a que la tasa de crecimiento del consumo esperado en el SIC sería del 6,1% anual en el período 2014 -

2025, mientras que en el SING su consumo anual crecería al 5,2%, menor que el promedio nacional (5,5% anual).

- b) El mayor incremento del consumo en el SING se manifiesta en el mediano plazo, con una tasa de crecimiento anual del 6,7% en el período 2014 – 2019 y de 3,9% en el período 2020 – 2025. El mayor consumo de corto plazo se explica por la entrada en operación reciente de varios proyectos que van alcanzado sus capacidades productivas de diseño.
- c) En cambio, para el SIC la mayor demanda es en el largo plazo, como lo señalan los crecimientos de 3,7% anual en el primer período (2014 – 2019) y de un 8,6% anual en el período más tardío (2020 – 2025).
- d) Las diferencias señaladas son una clara señal de los sentidos de urgencia con que hay que abordar la satisfacción de esta demanda.
- e) Es también de interés destacar las magnitudes de la demanda esperada que significan los proyectos, sobre los cuales es necesario decidir su construcción en los próximos años (diferencia entre el consumo esperado y el consumo mínimo). Es así como en el SING el consumo esperado de los proyectos significan el 39% del consumo esperado del cobre al 2025 y el 46% en el SIC.
- f) Ello resalta la importancia estratégica para el país respecto de la transparencia en la información sobre el avance real de los proyectos mineros, para realizar con oportunidad las inversiones en generación y transmisión eléctrica que satisfagan la demanda del sector minero.

La visión gráfica de las proyecciones para cada sistema interconectado se muestra en la figura 3.

Figura 3: Consumo eléctrico de la minería del cobre en el SING y SIC según los casos Máximo, Esperado y Mínimo 2014 - 2025 (Tera Watts-hora)



Fuente: Elaborado por Cochilco



3.3. Proyección de demanda por potencia eléctrica

A modo referencial se estima que para satisfacer el consumo eléctrico esperado de la minería del cobre, se requeriría agregar una capacidad de generación eléctrica³ de 2.500 MW en el período 2015 – 2025, de las cuales 1.400 MW se estiman para el SING y 1.100 MW para el SIC.

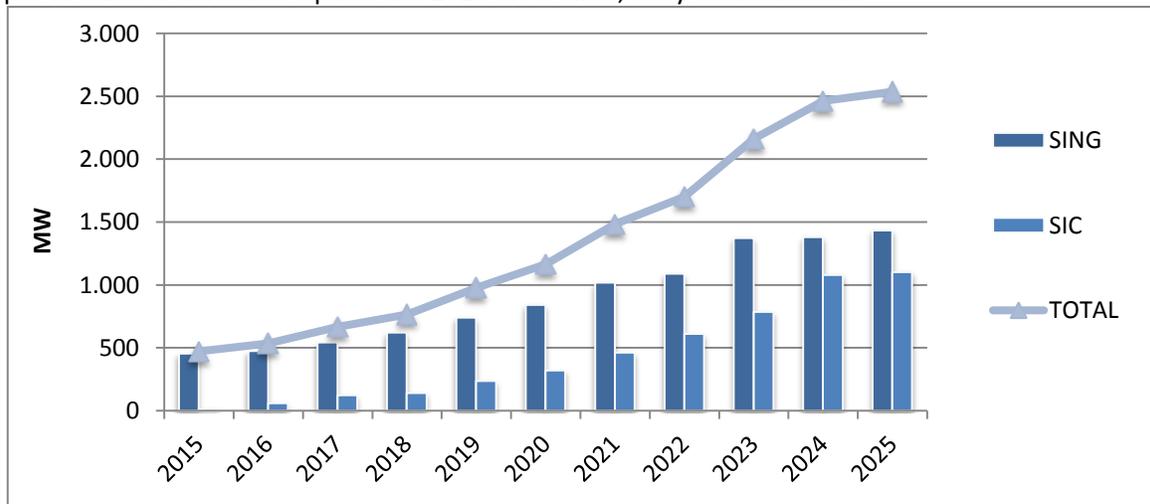
En la tabla 8 y en la figura 4 se muestra la demanda acumulada de potencia de generación en el SING, SIC y total nacional.

Tabla 8: Proyección de la demanda acumulada de potencia eléctrica requerida por la minería del cobre a partir del 2015 en el SING, SIC y total nacional

Mega Watts	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
SING	455	474	544	623	741	842	1.020	1.090	1.374	1.382	1.435
SIC	16	61	123	143	238	322	464	612	788	1.081	1.102
TOTAL	471	536	667	765	979	1.164	1.483	1.701	2.162	2.463	2.537

Fuente: Elaborado por Cochilco

Figura 4: Proyección de la demanda acumulada de potencia eléctrica, medida en MW, requerida por la minería del cobre a partir del 2015 en el SING, SIC y total nacional.



Fuente: Elaborado por Cochilco

³ Los incrementos anuales de energía eléctrica proyectada se convierte en demanda de potencia de generación asumiendo que las centrales de generación debieran tener en promedio un factor de carga mínimo del 78,7% (6,9 Giga Watts-hora de energía útil por cada Mega Watt de potencia), considerando que la central debe disponer de tiempo de mantención regular, de potencia en giro, además que parte de la energía generada se autoconsume en la central y otra parte se disipa en la transmisión.

4. Análisis del consumo eléctrico esperado según la condicionalidad de los proyectos al 2025

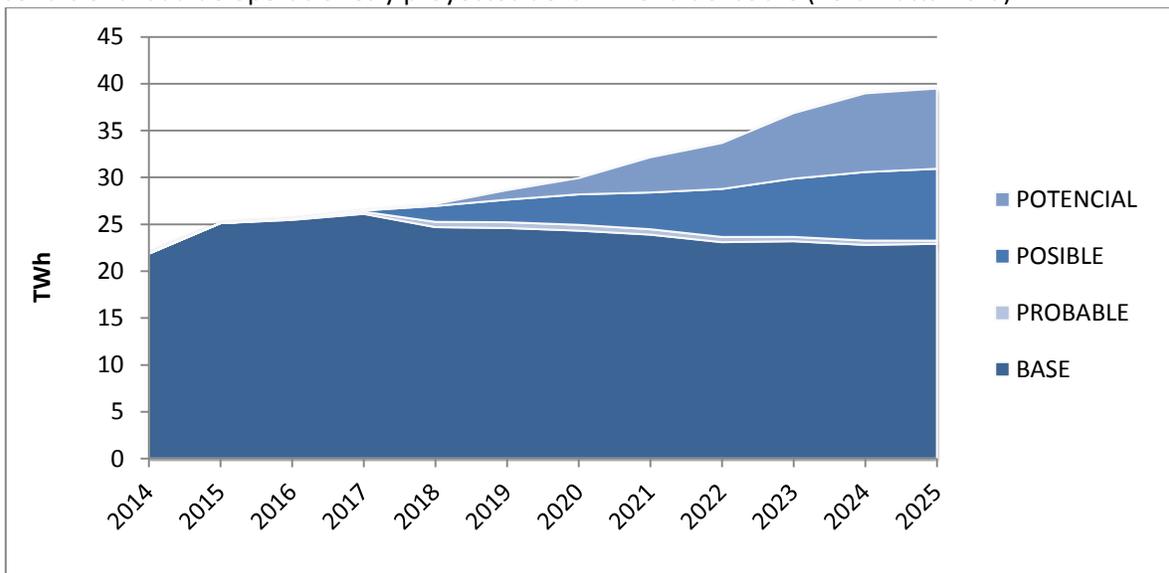
Como se ha señalado en los criterios metodológicos aplicados en este informe, el consumo eléctrico esperado tiene su base más cierta en las actuales operaciones y en los proyectos ya en construcción. En cambio, el consumo eléctrico futuro que tendrían los proyectos que aún no cuentan con la decisión de construirse es incierto, por lo que su magnitud se estima sobre la base de métodos probabilísticos que arrojan un resultado menor que el máximo potencial si todos se ejecutaran sin retraso en las fechas previstas.

Este capítulo se destina al análisis del consumo eléctrico esperado de aquellos proyectos mineros de cobre, considerando el efecto de su condicionalidad en la estimación global del consumo de electricidad proyectado.

4.1. Análisis a nivel país

La figura 5 y la tabla 9 muestran la distribución del consumo esperado anual según condición de mayor a menor certeza.

Figura 5: Proyección del consumo eléctrico nacional esperado al año 2025 según la condicionalidad de operaciones y proyectos de la minería del cobre (TeraWatts-hora)



Fuente: Elaborado por Cochilco



Tabla 9: Proyección del consumo eléctrico nacional de la minería del cobre según la condicionalidad de operaciones y proyectos 2014 - 2025(Tera Watts-hora)

Condición (TWh)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
BASE	21,86	25,11	25,47	26,11	24,69	24,60	24,32	23,89	23,09	23,19	22,80	22,91
PROBABLE	0,00	0,00	0,10	0,23	0,56	0,61	0,62	0,58	0,56	0,46	0,46	0,34
POSIBLE	0,00	0,00	0,00	0,14	1,70	2,41	3,25	3,92	5,12	6,22	7,31	7,67
POTENCIAL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	1,01	1,74	3,75	4,90	6,98	8,39	8,56
Total	21,86	25,11	25,56	26,47	27,15	28,64	29,92	32,14	33,66	36,85	38,96	39,47

Fuente: Elaborado por Cochilco

El consumo eléctrico esperado de las operaciones en condición base muestra un fuerte crecimiento el periodo 2014 – 2015 y alcanza un máximo de consumo de 26,1 TWh el año 2017. A partir del año 2018 el consumo eléctrico esperado comienza a declinar hasta alcanzar un consumo esperado de 22,9 TWh el año 2025.

Por su parte, la demanda de los proyectos empieza a adquirir significación desde el año 2018 cuando explica el 9,1% del consumo esperado, creciendo sostenidamente para llegar a significar el 42% del consumo esperado al año 2025.

Naturalmente la demanda más temprana la presentan los proyectos probables, pero ella tiene baja significación en la demanda global de los proyectos, alcanzando un consumo de 0,34 TWh en 2025, lo que representa solo un 0,9% del consumo total de electricidad para dicho año.

Los proyectos posibles, actualmente en etapa de estudios y/o evaluación, podrían empezar a demandar electricidad el año 2017 iniciando un crecimiento sostenido por el resto del período a medida que se vayan poniendo en marcha. Su consumo esperado en el año 2025 de 7,67 TWh explica el 19,4% del consumo esperado total y es equivalente a 1/3 del consumo del nivel base.

Por su parte, la demanda de los proyectos en condición potencial emergerá hacia fines de la presente década pero crecerá rápidamente, en paralelo con el crecimiento de los proyectos posibles, pero con más intensidad para alcanzar el año 2025 un consumo esperado de 8,56 TWh, correspondiente al 21,7% del consumo esperado total.

Del análisis del crecimiento cronológico de la demanda eléctrica, se desprende lo siguiente:

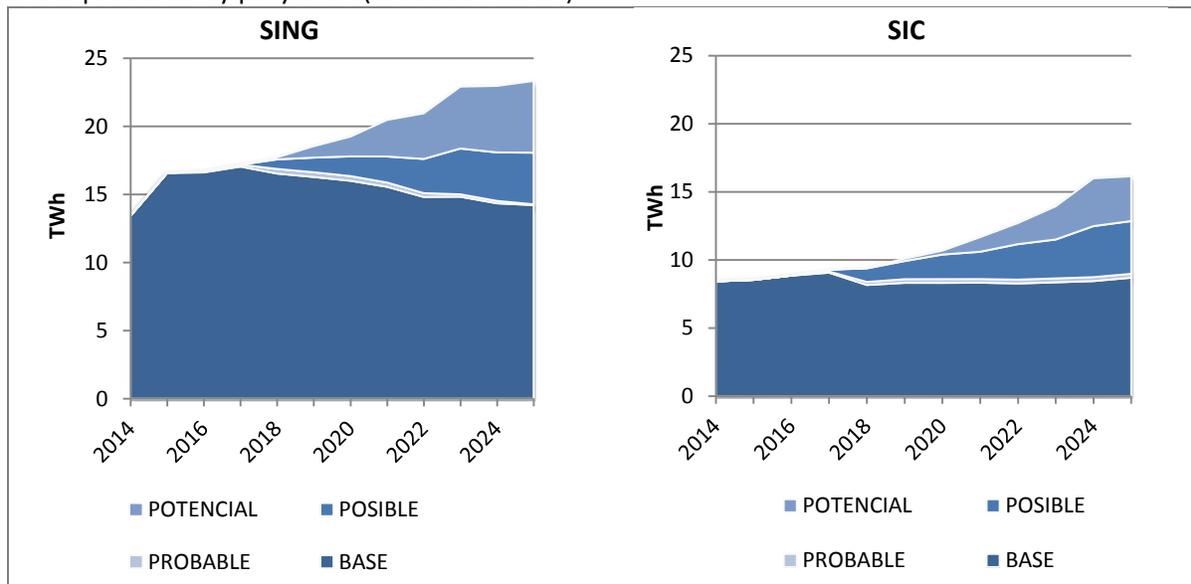
- En el corto plazo la demanda eléctrica crece por el efecto de la puesta en marcha reciente de proyectos y que irán alcanzando su capacidad productiva de diseño. Este mayor consumo será necesariamente atendido con la oferta actualmente disponible.
- En el mediano plazo la demanda crece por la puesta en marcha de los proyectos posibles. Dado que ellos están en estudio, en el corto plazo debe quedar definida la modalidad contractual para el abastecimiento eléctrico. Para ello es fundamental la activa participación en las negociaciones de la nueva oferta que se generará por los proyectos de generación eléctrica en desarrollo, donde las ERNC jugarán un importante rol.

- c) En el largo plazo, la mayor importancia la tiene la demanda de los proyectos actualmente en condición potencial. Esta situación es estratégicamente relevante para el país, pues estos proyectos representan una significativa participación en la demanda eléctrica lo que debiera incentivar a la concreción de nuevos proyectos de generación eléctrica.

4.2. Análisis comparativo del SING y SIC.

El comportamiento de la demanda eléctrica en ambos sistemas interconectados se aprecia gráficamente en la figura 6.

Figura 6: Consumo eléctrico de la minería del cobre en el SING y SIC según la condicionalidad de sus operaciones y proyectos (Tera Watts-hora)



Fuente: Elaborado por Cochilco

Por la magnitud relativa del SING, su comportamiento determina en gran medida lo observado para el consumo eléctrico a nivel país. Sin embargo, es preciso señalar algunas diferencias relevantes sobre las perspectivas en ambos sistemas.

El consumo base en el SING muestra un fuerte incremento en los primeros años, los que irán declinando sostenidamente en los años siguientes, para situarse en un nivel de 14,2 TWh al año 2025, solo 6% sobre el nivel del año 2014.

Las razón de dicha declinación se encuentra en la salida de operaciones muy significativas, principalmente en la línea hidrometalúrgica (Michilla, Chuquicamata Mina Sur, Radomiro Tomic Óxidos, Quebrada Blanca, entre otras), además del rajo de Chuquicamata.

A su vez, en el SIC el consumo base se mantiene estable en torno a 8,5 TWh.

Como el consumo base en ambos sistemas al año 2025 sería similar al del año 2014, todo el potencial de consumo es explicado por los proyectos que se encuentran en condición posible o potencial, siendo el SIC el sistema proporcionalmente más demandado por los proyectos mineros.



Es así como para el año 2019 los proyectos ya explicarían el 12,2% del consumo eléctrico esperado del SING y el 17,6% del SIC. Más adelante, al año 2025 esta participación se incrementaría al 39,1% del consumo del SING y al 46,1% del SIC.

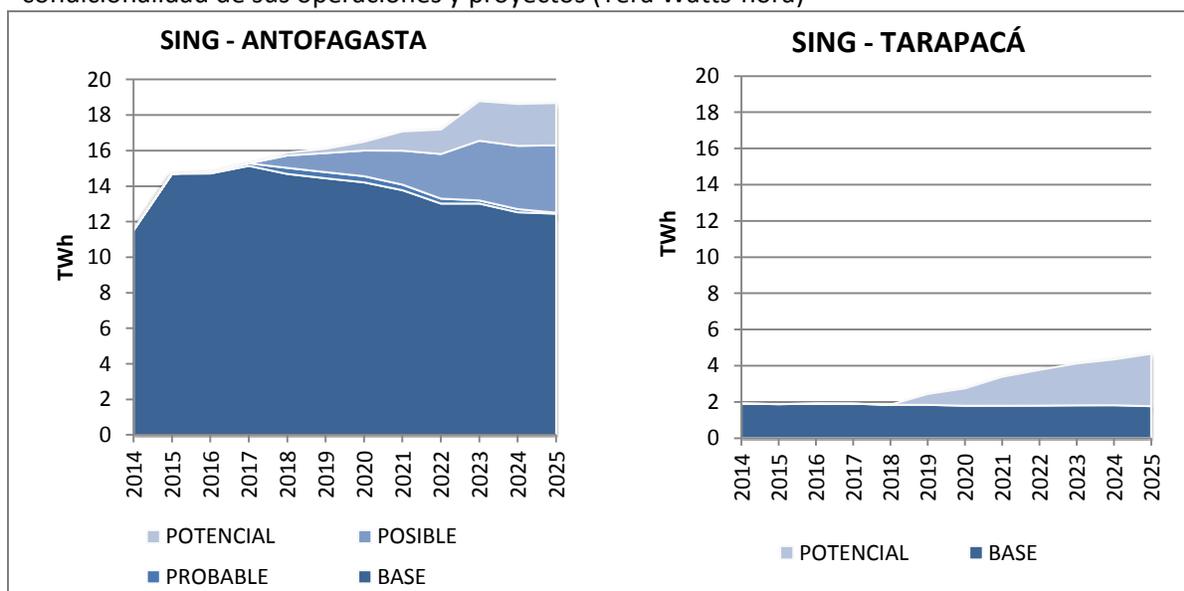
4.3. Análisis regional

Por la importancia relativa que tendrán los proyectos en la futura demanda eléctrica, es relevante la ubicación geográfica donde se concentra la mayor demanda eléctrica minera y su condicionalidad.

4.3.1. Regiones del SING

En esta zona, naturalmente la mayor demanda se concentra en la región de Antofagasta y el resto corresponde a Tarapacá, como se aprecia en la siguiente figura 7.

Figura 7: Distribución regional del consumo eléctrico de la minería del cobre en el SING según la condicionalidad de sus operaciones y proyectos (Tera Watts-hora)



Fuente: Elaborado por Cochilco

El consumo base de Antofagasta es el que determina el comportamiento general del SING y concentra en los primeros años el incremento de la demanda eléctrica. El consumo de sus proyectos emerge recién hacia el año 2018 y hacia el 2025 explicaría el 33% del consumo en Antofagasta.

Los proyectos posibles corresponden a iniciativas de CODELCO (RT Sulfuros fase II y Chuquicamata Subterránea). En cambio los proyectos potenciales corresponden a iniciativas privadas y su demanda no sería antes del año 2019 (Lomas Bayas III Sulfuros, Encuentro Sulfuros, El Abra mill, más Tovaku de mediana escala).



Aunque Tarapacá explica actualmente el 14,2% del consumo cuprífero del SING, tiene el potencial de alcanzar el 20% hacia el año 2025. Sin embargo ello depende de la materialización de dos importantes proyectos potenciales, estos son la expansión de Collahuasi fase III y el desarrollo de Quebrada Blanca Hipógeno, que reemplazaría su actual operación hidrometalúrgica. Estos proyectos potenciales explicarían el 62% del consumo eléctrico cuprífero de Tarapacá hacia el año 2025.

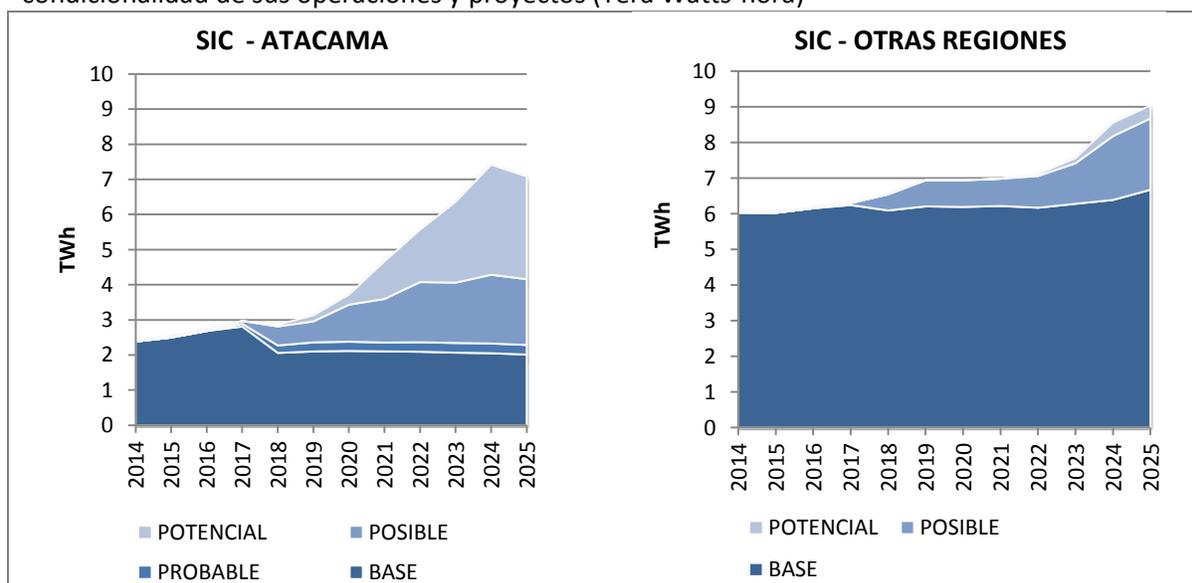
4.3.2. Regiones del SIC

Atacama explica actualmente el 28% del consumo eléctrico de la minería del cobre en el SIC y tiene el potencial de alcanzar el 44% de este consumo hacia el año 2025, debido al crecimiento de su demanda desde los actuales 2,4 TWh a 7,1 TWh (197%).

En las restantes regiones de Coquimbo a O'Higgins el consumo esperado crecería solo en un 50%, desde los actuales 6 TWh a 9 TWh del año 2025, donde los proyectos, básicamente de CODELCO y Los Pelambres, explicarían solo el 26% del consumo en esta zona al año 2025.

La evolución de ambas zonas geográficas se aprecia en la figura 8.

Figura 8: Distribución regional del consumo eléctrico de la minería del cobre en el SIC según la condicionalidad de sus operaciones y proyectos (Tera Watts-hora)



Fuente: Elaborado por Cochilco

Los proyectos en la región de Atacama se encuentran principalmente en condición de posibles y potenciales, es decir bajo un mayor grado de incertidumbre. Ellos significarían 5 TWh sobre el consumo base del año 2025, equivalentes al 71,5% del consumo de la minería del cobre de la región y el 31,4% de de dicho consumo en el SIC.

Esta situación representa un enorme desafío. En primer término es la zona de mayor crecimiento relativo de la demanda eléctrica y donde las capacidades de generación local y/o de transmisión de electricidad desde el sur se encuentran limitadas y requieren de urgente ampliación.



Desde el interior del estudio de los proyectos se observa dicha estrechez, la cual, mientras no se resuelva, la energía eléctrica tendría un alto costo y menor seguridad de la requerida para decidir en un proyecto de largo plazo. Adicionalmente, algunos proyectos enfrentan dificultades en materia de permisos y otras materias que retrasan la conclusión de los estudios y la fecha de una decisión de ejecución del proyecto.

Desde el sector de generación eléctrica también se aprecian incertidumbres propias del desarrollo de sus respectivos proyectos en la zona. A ello se suma la situación por la que atraviesan los proyectos mineros de sus potenciales clientes, lo que acarrea en definitiva no avanzar a la velocidad requerida para superar las estrecheces mencionadas anteriormente.

En este contexto, la conexión SING – SIC puede aliviar significativamente la situación al descomprimir el abastecimiento eléctrico para la zona norte del SIC, si ella no recibe incremento significativo de capacidad de generación eléctrica local.

Sin embargo, es necesario señalar que aún se cuenta con un tiempo medido para materializar oportunamente las inversiones en generación para calzar con la mayor presión de la nueva demanda, en ambos sistemas interconectados, que se presentaría no antes del año 2018.



5. Análisis del consumo eléctrico esperado según Tipo al año 2025

El presente capítulo está destinado a apreciar la distribución del consumo eléctrico esperado entre las operaciones vigentes y los proyectos según su tipo, el cual se refiere al propósito que tienen las compañías por emprenderlos. Es así como algunos proyectos son de reposición, para recuperar su capacidad productiva que se hubiere visto disminuida por efecto del deterioro de su base mineral, otros son de expansión para sustentar su competitividad vía aumento de escala de producción y los nuevos proyectos, cuyo desarrollo prácticamente parte de cero.

El análisis cubre la situación global país, junto al análisis comparativo de las zonas del SING y SIC referido a las singularidades que ellos presentan.

5.1. Análisis nivel país

La tabla 10 muestra el consumo eléctrico esperado de la minería del cobre nacional, distribuido por operaciones y tipos de proyectos.

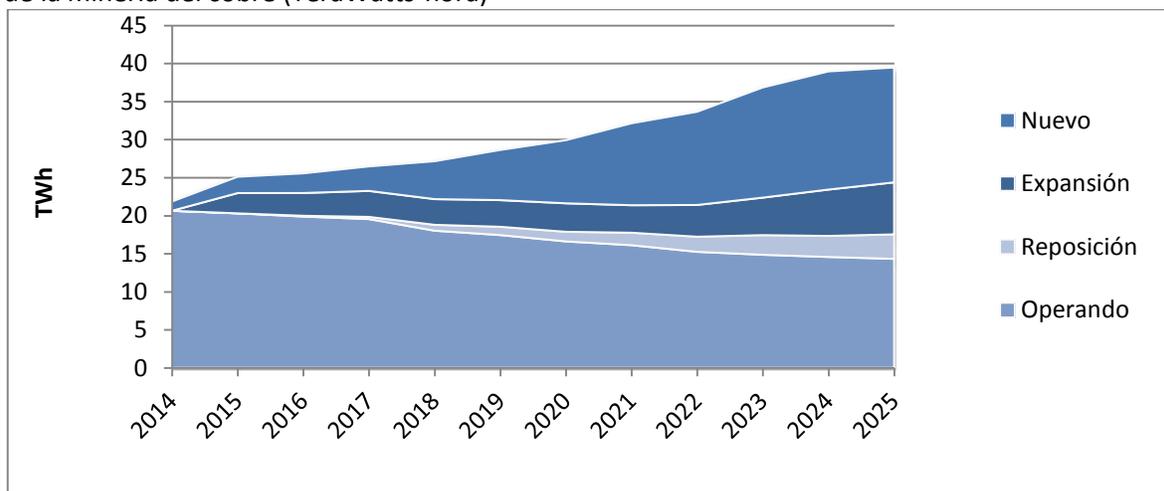
Tabla 10: Distribución nacional del consumo eléctrico esperado de la minería del cobre Según operaciones y tipos de proyectos 2014 – 2025 (Tera Watts-hora)

Tipo	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Nuevo	1,22	2,14	2,59	3,22	4,98	6,59	8,30	10,77	12,26	14,48	15,53	15,06
Expansión	0,00	2,66	2,99	3,41	3,38	3,50	3,74	3,61	4,17	4,93	6,09	6,83
Reposición	0,00	0,00	0,10	0,29	0,77	1,09	1,27	1,64	1,99	2,58	2,77	3,22
Operando	20,64	20,31	19,88	19,55	18,02	17,45	16,61	16,12	15,24	14,86	14,57	14,32
Total	21,86	25,11	25,56	26,47	27,15	28,64	29,92	32,14	33,66	36,85	38,96	39,47

Fuente: Elaborado por Cochilco

A su vez, en la figura 9 se puede apreciar gráficamente dicha distribución.

Figura 9: Proyección del consumo eléctrico nacional esperado al año 2025 según tipo de proyectos de la minería del cobre (TeraWatts-hora)



Fuente: Elaborado por Cochilco

Las operaciones vigentes muestran una declinación sostenida de su consumo, esperándose una disminución del 30,6% respecto al consumo esperado del 2014, lo que significa una tasa de decrecimiento del 3,3% anual.

Por cierto que para algunas de las actuales operaciones se contemplan proyectos de reposición o de expansión, que en su conjunto permiten esperar una demanda adicional de 10 TWh al 2025, con lo que las operaciones más sus proyectos relacionados, llevarían el nivel de demanda a 24,4 TWh, un 18% sobre el consumo actual.

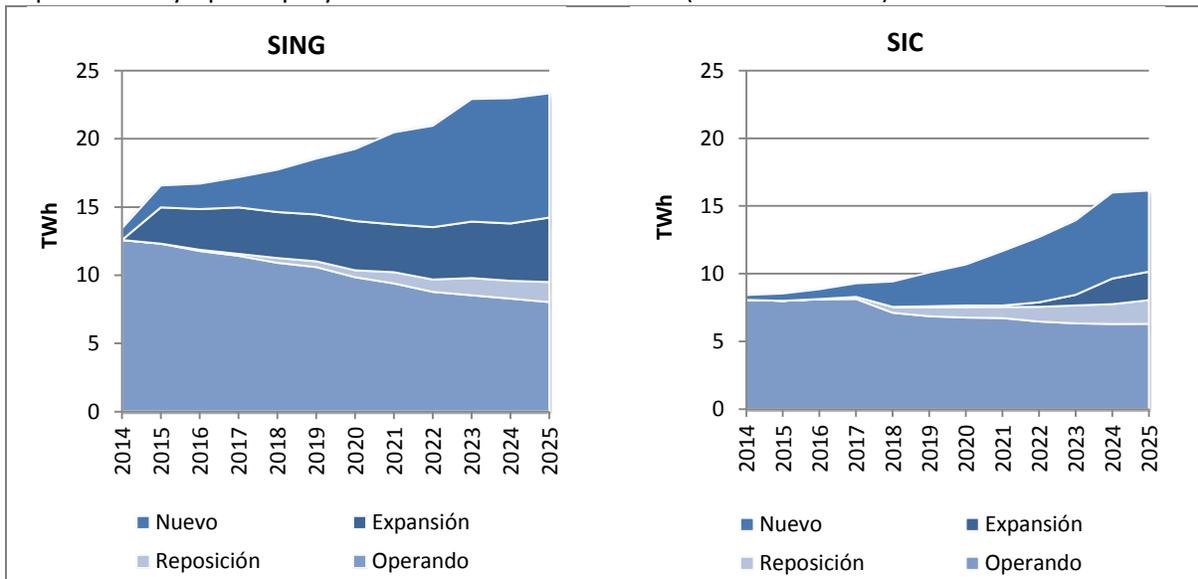
Entonces, el gran salto del consumo a 39,5 TWh lo generan los proyectos nuevos que, al 2025, explicarían el 38,3% del consumo esperado. Cabe entonces destacar la importancia estratégica de estos proyectos, no solo por la cuantía de sus demandas, sino porque las compañías deben enfrentar las mayores dificultades para su desarrollo, tanto en la obtención de sus permisos como en las complejidades de construcción que deben abordar al partir de cero.

Dentro de la categoría de proyectos nuevos se encuentran aquellos que impulsan compañías mineras que por primera vez emprenden inversiones en Chile. Entre otras materias, deben estudiar y asegurar el suministro eléctrico confiable y a costos abordables, en forma previa a tomar la decisión de invertir.

5.2. Análisis comparativo del SING y SIC

La estructura de la demanda eléctrica en ambos sistemas interconectados en se aprecia gráficamente en la figura 10.

Figura 10: Proyección del consumo eléctrico esperado en el SING y SIC al año 2025 según operaciones y tipo de proyectos de la minería del cobre (TeraWatts-hora)



Fuente: Elaborado por Cochilco



Se aprecia que la importancia relativa de los proyectos nuevos es similar en ambos sistemas, pues explican el 39% del consumo eléctrico esperado en el SING y el 37,1% en el SIC.

Las firmas que poseen proyectos nuevos en la cartera de inversiones minera se pueden dividir en dos tipos: i) Compañías establecidas⁴ y ii) Compañías nuevas⁵. En este sentido, la demanda esperada de electricidad de las compañías nuevas alcanza los 5,7 TWh en el año 2025, lo que representa el 38% del consumo total estimado en proyectos nuevos. Esto es de suma importancia, ya que este tipo de compañías deben negociar contratos de abastecimiento eléctrico en el largo plazo antes que comiencen sus operaciones. En este sentido, un suministro de electricidad seguro y a precios competitivos es una de las variables que determina la concreción de los proyectos y permite la sustentabilidad de la industria.

Cuando se analizan los proyectos de las compañías nuevas según condición, se visualiza que parte importante de su consumo se encuentra en proyectos en condición base y posible al año 2025. De manera particular, el consumo esperado de las compañías nuevas es de 1,8 TWh en los proyectos nuevos-base al año 2025, alcanzando una participación de 50,7% en este tipo de proyectos. Por otro lado, el consumo eléctrico esperado en las compañías nuevas en proyectos nuevos de condición base alcanza 2,7 TWh, lo que representa el 53% del consumo en este tipo de proyectos. Por último, el consumo esperado de electricidad en nuevos proyectos en condición potencial, de compañías nuevas, alcanza el 1,19 TWh al año 2025. Resumiendo, parte considerable de la electricidad demandada en nuevos proyectos proviene de compañías nuevas, las que poseen una alta probabilidad de concretarse, ya que se encuentran en condición base o posible. (Para detalles ver figura 11)

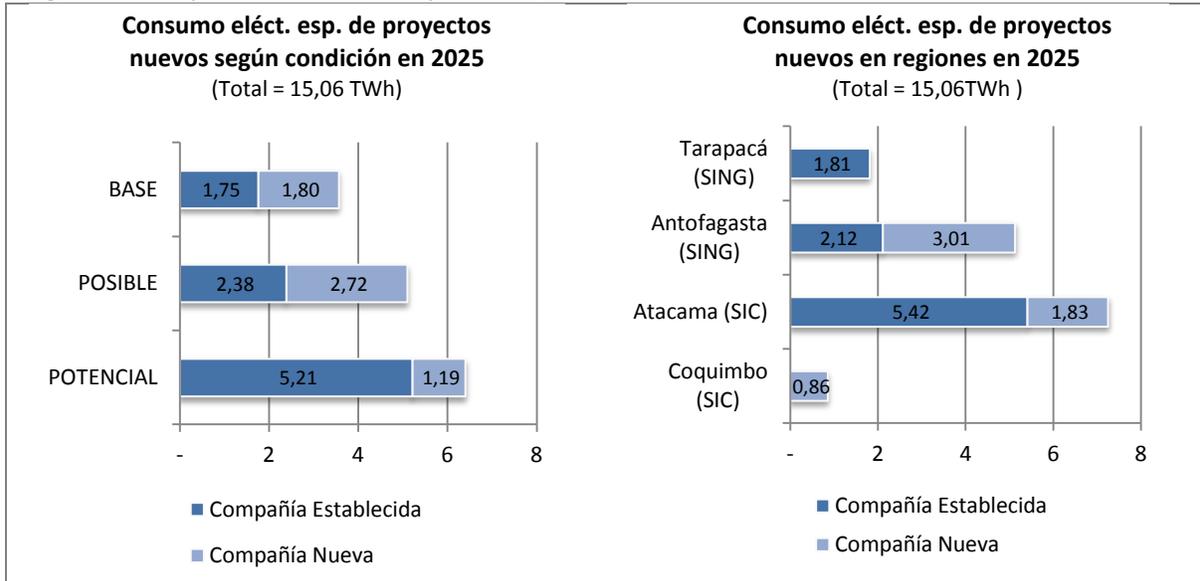
Por otro lado, cuando se analizan los proyectos nuevos de compañías que no se encuentran operando actualmente en Chile, se visualiza que el consumo eléctrico se concentrará principalmente en las regiones Antofagasta y Atacama. De manera particular, los proyectos nuevos de compañías nuevas se proyecta consumirán en 3,0 TWh en Antofagasta y 1,8 TWh en Atacama. (Ver figura 11)

⁴ Compañía establecida: Corresponde a las firmas mineras, nacionales o extranjeras, que poseen proyectos mineros en operación o en etapa de construcción al año 2014.

⁵ Compañía nueva: Corresponde a las firmas mineras, nacionales o extranjeras, que no poseen operaciones mineras en Chile al año 2014.



Figura 11: Proyección del consumo eléctrico esperado en proyectos nuevos según condición y región en compañías establecidas y nuevas (TeraWatts-hora)



Fuente: Elaborado por Cochilco



6. Análisis del consumo eléctrico esperado según procesos al 2025

En el presente capítulo se muestran los resultados del destino del consumo eléctrico esperado por procesos en la minería del cobre al año 2025. El análisis se focaliza en la importancia relativa de los procesos más intensivos en consumo eléctrico y cuál ha sido la evolución que se ha registrado en el período 2014 – 2025. La atención se pone tanto a nivel país como en el análisis comparado por procesos en los sistemas SING y SIC.

Como se mencionó en la metodología, la proyección esperada de consumo se basa en dos supuestos. Primero, no habrá cambios tecnológicos disruptivos en minería que incidan significativamente en los procesos mineros. Segundo, el consumo unitario de energía eléctrica por procesos es creciente en el tiempo debido al deterioro del recurso geológico.

Los procesos considerados son: Concentradora, Desalinización e impulsión, LXSXEW, Mina Rajo, Mina Subterránea, Fundición, Refinería y Servicios.

6.1. Distribución del consumo eléctrico esperado a nivel país

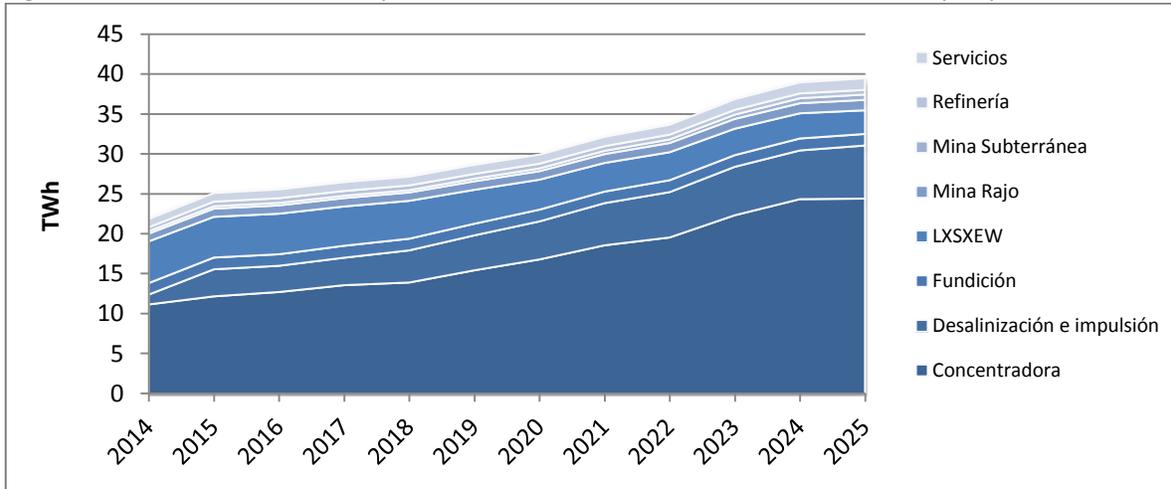
El resultado a nivel país del consumo eléctrico esperado por proceso se muestra en la en la tabla 11 y figura 12.

Tabla 11: Distribución nacional del consumo eléctrico esperado de la minería del cobre según procesos 2014 – 2025 (Tera Watts-hora)

Procesos	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Concentradora	11,16	12,17	12,71	13,57	13,91	15,43	16,79	18,56	19,55	22,33	24,34	24,41
Desalinización e impulsión	1,23	3,39	3,29	3,44	4,02	4,38	4,76	5,28	5,68	6,06	6,10	6,65
Fundición	1,44	1,47	1,44	1,50	1,46	1,46	1,47	1,45	1,49	1,46	1,50	1,45
LXSXEW	5,23	5,10	5,08	4,92	4,74	4,25	3,75	3,58	3,51	3,31	3,15	2,96
Mina Rajo	0,97	1,03	1,04	1,05	1,05	1,07	1,07	1,11	1,15	1,23	1,26	1,30
Mina Subterránea	0,30	0,30	0,31	0,29	0,29	0,33	0,35	0,41	0,44	0,54	0,63	0,67
Refinería	0,49	0,58	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,60	0,59	0,60	0,59
Servicios	1,04	1,08	1,10	1,11	1,09	1,13	1,14	1,16	1,24	1,33	1,38	1,44
Total	21,9	25,1	25,6	26,5	27,2	28,6	29,9	32,1	33,7	36,9	39,0	39,5

Fuente: Elaborado por Cochilco

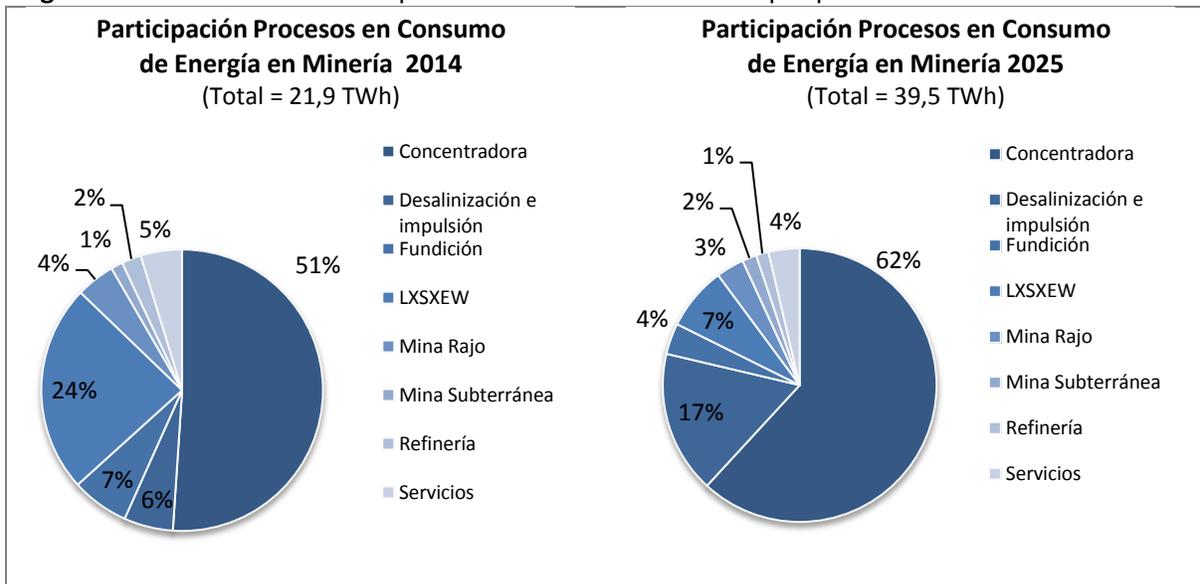
Figura 12: Consumo eléctrico esperado de la minería del cobre a nivel nacional por procesos



Fuente: Elaborado por Cochilco

Los cambios en la participación del consumo eléctrico de los procesos considerados entre el año 2014 y 2025 se aprecian gráficamente en la figura 13.

Figura 13: Consumo eléctrico esperado de la minería del cobre por procesos a nivel nacional



Fuente: Elaborado por Cochilco

El consumo esperado de electricidad en minería aumentará principalmente por el proceso de concentración. Esto se debe que gran parte de los proyectos de expansión y nuevos proyectos mineros, debido a la mineralogía presente en los yacimientos, utiliza esta tecnología en la recuperación de mineral. Se proyecta que este proceso aumente de 11,2 TWh en 2014 a 24,4 TWh, lo que representa un aumento de un 119%.

Durante el período emergerá como segundo lugar en el consumo eléctrico el proceso de desalinización e impulsión. Ello es una consecuencia del aumento de operaciones de concentración, proceso que es intensivo en el empleo de agua, insumo ya escaso en las regiones



del Norte. En consecuencia se estima que este proceso aumentará 5,4 veces su consumo en el periodo 2014 – 2025; de 1,2 TWh en 2014 a 6,25 TWh en 2025.

Otro factor relevante, en el sentido inverso, es la reducción en el consumo total de electricidad en el proceso de LXSXEW de un 43% en periodo 2014 – 2025, debido fundamentalmente por el término de la vida útil de varias operaciones hidrometalúrgicas que producen cátodos SxEw.

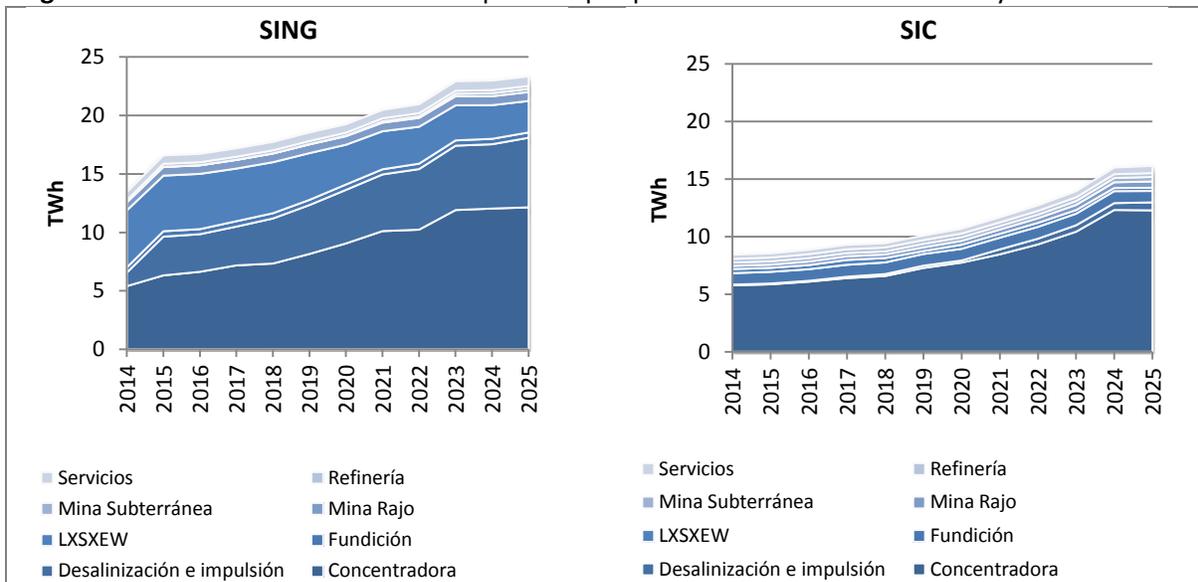
Por otra parte, se proyecta que los consumos en Fundiciones del país al año 2025 se mantendrán prácticamente constantes y en niveles similares del año 2014, debido que no se estima la instalación de nueva capacidad o aumentos de producción. Específicamente, se proyecta el incremento del 1% en el consumo eléctrico en refinерías en el periodo 2014 – 2025. Por otro lado, se proyecta en consumo esperado en el proceso de Refinería incremente en un 19% en el mismo periodo.

Los procesos de Mina Rajo, Mina Subterránea, Servicios son de bajo peso relativo en el consumo eléctrico. Sin embargo, se proyecta un importante aumento de 34%, 125% y 39% respectivamente en el periodo 2014 - 2025. (Ver figura 13)

6.2. Análisis comparativo del SING y SIC

Los resultados del consumo eléctrico proyectado por procesos para el SING y SIC se muestran en la Figura 14.

Figura 14: Consumos de Electricidad esperados por procesos en los sistemas SING y SIC.



Fuente: Elaborado por Cochilco

La proyección de consumo esperado de electricidad en los sistemas interconectados SING y SIC es diferente en la cantidad de energía requerida y en su utilización por procesos.

- a) Se estima al año 2025 un aumento de consumo de electricidad en el sistema SING de un 74% respecto del año 2014. Los procesos que en mayor medida explican este aumento



son los procesos de Concentración y, el consiguiente desarrollo masivo de la Desalinización e impulsión. Ellos incrementarían su consumo eléctrico esperado en 125% y 413% respectivamente en el periodo 2014 - 2025.

- b) En el SING se proyecta una disminución en el consumo energético del proceso LXSXEW de un 45% debido principalmente a la salida de producción de Michilla, Chuquicamata Mina Sur, Radomiro Tomic Óxidos, Quebrada Blanca, entre otras, sin perjuicio que algunas pueden continuar a una escala muy disminuida. No se consideran nuevos proyectos o proyectos de expansión en el periodo 2014 – 2025 que consideren la explotación de minerales oxidados, lo que incide en la generación de capacidad de SXEW ociosa.
- c) Para el caso del sistema interconectado SIC, el aumento del consumo eléctrico se ve explicado principalmente el proceso de concentración. Su aumento proyectado es de un 113%, de 5,76 TWh en 2014 a 12,28 en TWh en 2025, equivalente al 76% del consumo minero esperado en el SIC al fin del período en análisis. Cabe señalar que la concentración tendría una tasa de crecimiento anual del 5,1% en el período 2014 – 2020 y del 9,7% en los años siguientes.



7. Conclusiones

La proyección del consumo eléctrico al 2025 para la producción de cobre en Chile sería de 39,5 Tera Watts-hora, un 80,6% más respecto al consumo del año 2014, de los cuales 23,3 TWh se consumirían en el SING y 16,2 TWh en el SIC.

El comportamiento de ambos sistemas es diferente. Es así como en el SING se observaría un crecimiento anual del 6,7% en el período 2014-2019, requiriendo incrementar la capacidad de generación en al menos 840 MW, para bajar posteriormente a una tasa del 3,9% anual demandando unas 600 MW adicionales a 2025, es decir los mayores incrementos de demanda son de corto y mediano plazo.

La situación es inversa en el SIC, donde en el primer período la demanda crecería al 3,7% anual, necesitándose unos 240 MW de potencia adicional. Pero a contar del 2020 la demanda crecería al 8,9% del año, con un requerimiento de más generación por unos 860 MW al 2025. Esta complementariedad en el crecimiento de la demanda da una clara señal para la materialización de las soluciones de generación y transmisión eléctrica requeridas.

El impacto de los proyectos sobre los cuales aún no se toma la decisión de ejecutar sobre el consumo eléctrico se empezaría a notar a contar del año 2018, fecha para la cual muchas de las soluciones por el lado de la oferta eléctrica debieran estar claramente trazadas para no afectar la toma de decisiones de los inversionistas que respaldan a los proyectos mineros.

Por cierto que en el SING la demanda se concentra en Antofagasta, principalmente en el corto y mediano plazo, mientras que en Tarapacá los incrementos de demanda se deben a dos grandes proyectos aún en condición potencial.

Por su parte, lo más relevante del SIC se focaliza en Atacama, donde su consumo eléctrico esperado subiría a unos 7,1TWh, un 197% sobre el consumo del 2014. Ello se debe al importante número de proyectos los que se encuentran en condiciones de posibles o potenciales, es decir sujetos a incertidumbres no resueltas aún. Una de ellas el abastecimiento eléctrico.

En consecuencia, la presencia de más y nuevos actores en la oferta de generación es necesaria para brindar seguridad en el abastecimiento eléctrico al desenvolvimiento de la minería del cobre, la cual requiere de suficiencia compatible con sus necesidades, de oportunidad en el suministro para no afectar la continuidad operacional y costos razonables compatibles con la competitividad de esta industria.

Este incentivo que ofrece la minería para ampliar la oferta de generación es una palanca propicia para fortalecer las políticas nacionales de energía, en términos de diversificar la matriz energética, fortalecer la penetración de las ERNC e incrementar la eficiencia energética.



8. Anexos

8.1. Anexos capítulo 2: Metodología

8.1.1. Información relevante de los proyectos mineros considerados en la proyección de energía

Tabla 12: Operaciones vigentes de cobre

Compañía	Mina	Región	Etapas de Desarrollo	Condición	Sistema Intero.
AMERIGO RES.	Valle Central - Relaves frescos	O'Higgins	Operación	BASE	SIC
AMERIGO RES.	Valle Central - Colihues	O'Higgins	Operación	BASE	SIC
ANGLO AMERICAN CHILE	Mantos Blancos	Antofagasta	Operación	BASE	SING
ANGLO AMERICAN CHILE	Los Bronces	Metropolitana	Operación	BASE	SIC
ANGLO AMERICAN CHILE	Mantos Blancos	Antofagasta	Operación	BASE	SING
ANGLO AMERICAN CHILE	Mantoverde	Antofagasta	Operación	BASE	SING
ANGLO AMERICAN CHILE	El Soldado	Valparaíso	Operación	BASE	SIC
ANGLO AMERICAN CHILE	Los Bronces	Metropolitana	Operación	BASE	SIC
ANGLO AMERICAN CHILE	El Soldado	Valparaíso	Operación	BASE	SIC
ANTOFAGASTA MINERALS	Esperanza	Antofagasta	Operación	BASE	SING
ANTOFAGASTA MINERALS	Los Pelambres	Coquimbo	Operación	BASE	SIC
ANTOFAGASTA MINERALS	Michilla	Antofagasta	Operación	BASE	SING
ANTOFAGASTA MINERALS	Tesoro	Antofagasta	Operación	BASE	SING
BARRICK GOLD	Zaldivar	Antofagasta	Operación	BASE	SING
BHP BILLITON	Escondida	Antofagasta	Operación	BASE	SING
BHP BILLITON	Cerro Colorado	Antofagasta	Operación	BASE	SING
BHP BILLITON	Spence	Antofagasta	Operación	BASE	SING
BHP BILLITON	Escondida Óxidos	Antofagasta	Operación	BASE	SING
BHP BILLITON	Escondida Biolix.	Antofagasta	Operación	BASE	SING
CEMIN	Dos Amigos	Atacama	Operación	BASE	SIC
CEMIN	Catemu	Atacama	Operación	BASE	SIC
CERRO DOMINADOR	Callejas Zamora	Atacama	Operación	BASE	SIC
CERRO DOMINADOR	Santa Margarita	Antofagasta	Operación	BASE	SING
CERRO DOMINADOR	Faride	Antofagasta	Operación	BASE	SING
CODELCO-CHILE	Chuqui Rajo	Antofagasta	Operación	BASE	SING
CODELCO-CHILE	RT Sulfuros Fase I	Antofagasta	Operación	BASE	SING
CODELCO-CHILE	Ministro Hales	Antofagasta	Operación	BASE	SING
CODELCO-CHILE	Salvador	Atacama	Operación	BASE	SIC
CODELCO-CHILE	Andina	Valparaíso	Operación	BASE	SIC
CODELCO-CHILE	Mina Sur Chuqui y Otros	Antofagasta	Operación	BASE	SING
CODELCO-CHILE	R.Tomic Óxidos	Antofagasta	Operación	BASE	SING

CODELCO-CHILE	Ministro Hales	Antofagasta	Operación	BASE	SING
CODELCO-CHILE	Salvador	Atacama	Operación	BASE	SIC
CODELCO-CHILE	TTE. Recuperación Cu	O'Higgins	Operación	BASE	SIC
CODELCO-CHILE	Gabriela Mistral	Antofagasta	Operación	BASE	SING
CODELCO-CHILE	El Teniente	O'Higgins	Operación	BASE	SIC
DOÑA INÉS DE COLLAHUASI	Collahuasi	Tarapacá	Operación	BASE	SING
DOÑA INÉS DE COLLAHUASI	Collahuasi SxEw	Tarapacá	Operación	BASE	SING
ENAMI	Planta J.A. Moreno (Taltal)	Atacama	Operación	BASE	SIC
ENAMI	Plantas varias	No determinada	Operación	BASE	SING
ENAMI	Delta	Coquimbo	Operación	BASE	SIC
FREEPORT McMoRan	Candelaria	Atacama	Operación	BASE	SIC
FREEPORT McMoRan	El Abra	Antofagasta	Operación	BASE	SING
FREEPORT McMoRan	Ojos del Salado	Atacama	Operación	BASE	SIC
GLENCORE-XSTRATA	Lomas Bayas HEAP	Antofagasta	Operación	BASE	SING
HALDEMAN	Sagasca	Tarapacá	Operación	BASE	SING
KGHM INTERNATIONAL	Franke	Atacama	Operación	BASE	SIC
LAS CENIZAS	Taltal Óxidos	Atacama	Operación	BASE	SIC
MANTOS DE LA LUNA	Mantos de Luna	Antofagasta	Operación	BASE	SING
NITTETSU Mining	Atacama Kozan	Atacama	Operación	BASE	SIC
PAN PACIFIC Copper	Caserones Concentrados	Atacama	Operación	BASE	SIC
PAN PACIFIC Copper	Caserones	Atacama	Operación	BASE	SIC
PUCOBRE	El Espino Oxidos	Coquimbo	Operación	BASE	SIC
PUCOBRE	Pucobre	Atacama	Operación	BASE	SIC
SIERRA MIRANDA	Sierra Miranda	Antofagasta	Operación	BASE	SING
TECK	Andacollo Hipógeno	Atacama	Operación	BASE	SIC
TECK	Quebrada Blanca	Tarapacá	Operación	BASE	SING
VALE	Tres Valles	Atacama	Operación	BASE	SIC
VARIOS	Plantas Conc. varias	No determinada	Operación	BASE	SING
VARIOS	Plantas SxEw varias	No determinada	Operación	BASE	SING

Fuente: Inversión En La Minería Chilena - Cartera De Proyectos 2014 -2023, Cochilco, 2014



Tabla 13: Proyectos de inversión en minería de cobre

Compañía	Mina	Región	Etapas de Desarrollo	Condición	Sistema Interco.
ANTOFAGASTA MINERALS	Actualización Esperanza	Antofagasta	En Ejecución	BASE	SING
ANTOFAGASTA MINERALS	Encuentro Sulfuros	Antofagasta	Factibilidad	POTENCIAL	SING
ANTOFAGASTA MINERALS	Los Pelambres Ampliación Marginal	Coquimbo	Factibilidad	POSIBLE	SIC
ANTOFAGASTA MINERALS	Los Pelambres Ampliación IV	Coquimbo	Pre-Factibilidad	POTENCIAL	SIC
BHP BILLITON	Escondida OGP I	Antofagasta	En Ejecución	BASE	SING
CAPSTONE Mining	Santo Domingo	Atacama	Factibilidad	POSIBLE	SIC
CODELCO-CHILE	RT Sulfuros Fase II	Antofagasta	Factibilidad	POSIBLE	SING
CODELCO-CHILE	Rajo Inca	Atacama	Pre-Factibilidad	POTENCIAL	SIC
CODELCO-CHILE	Andina Exp. Fase II	Valparaíso	Factibilidad	POSIBLE	SIC
DOÑA INÉS DE COLLAHUASI	Collahuasi Ampl. Fase III	Tarapacá	Pre-Factibilidad	POTENCIAL	SING
FREEPOR McMoRan	El Abra Mill Project	Antofagasta	Factibilidad	POTENCIAL	SING
FREEPOR McMoRan	Candelaria 2030	Atacama	Factibilidad	PROBABLE	SIC
GLENCORE-XSTRATA	Lomas Bayas Sulfuros	Antofagasta	Pre-Factibilidad	POTENCIAL	SING
KGHM INT.	Sierra Gorda Concentrados	Antofagasta	En Ejecución	BASE	SING
TECK	Quebrada Blanca Hipógeno	Tarapacá	Factibilidad	POTENCIAL	SING
TECK	Relincho	Atacama	Factibilidad	POTENCIAL	SIC
AMERIGO RES.	Valle Central Expansión (Cauquenes)	O'Higgins	Factibilidad	PROBABLE	SIC
COPEC	Diego de Almagro Sulf.	Atacama	Factibilidad	POSIBLE	SIC
HOT CHILI	Productora	Atacama	Pre-Factibilidad	POTENCIAL	SIC
PAN AUST	Inca de Oro	Atacama	Factibilidad	POTENCIAL	SIC
PUCOBRE	El Espino Conc	Coquimbo	Factibilidad	POSIBLE	SIC
ANTOFAGASTA MINERALS	Encuentro Óxidos	Antofagasta	Factibilidad	PROBABLE	SING
ANTOFAGASTA MINERALS	Antucoya	Antofagasta	En Ejecución	BASE	SING
BHP BILLITON	Cerro Colorado Cont. Operacional	Antofagasta	Factibilidad	PROBABLE	SING
COPEC	Diego de Almagro Óxidos	Atacama	Factibilidad	POSIBLE	SIC
PUCOBRE	Tovaku	Antofagasta	Pre-Factibilidad	POTENCIAL	SING
PAMPA CAMARONES	Pampa Camarones	Arica y Parinacota	En Ejecución	BASE	SING
PAMPA CAMARONES	Pampa Camarones Exp	Arica y Parinacota	En Ejecución	BASE	SING
CODELCO-CHILE	Chuqui Subte	Antofagasta	Factibilidad	POSIBLE	SING
CODELCO-CHILE	Nuevo Nivel Mina y Otros Proy	O'Higgins	En Ejecución	BASE	SIC

Fuente: Inversión En La Minería Chilena - Cartera De Proyectos 2014 -2023, Cochilco, 2014

Tabla 14: Proyectos de inversión en minería del oro y del hierro con coproducción de cobre

Compañía	Mina	Región	Etapas de Desarrollo	Condición	Sistema Intero.
BARRICK	Cerro Casale	Atacama	Factibilidad	POSIBLE	SIC
GOLD CORP	El Morro	Atacama	Pre-Factibilidad	POTENCIAL	SIC
ANDES IRON SpA	Dominga	Coquimbo	Factibilidad	POSIBLE	SIC

Fuente: Inversión En La Minería Chilena - Cartera De Proyectos 2014 -2023, Cochilco, 2014

Tabla 15: Operaciones y proyectos de desalinización e impulsión

Compañía	Mina	Región	Etapas de Desarrollo	Condición	Sistema Intero.
ANGLO AMERICAN CHILE	Mantoverde	Antofagasta	Operación	BASE	SING
ANTOFAGASTA MINERALS	Esperanza	Antofagasta	Operación	BASE	SING
ANTOFAGASTA MINERALS	Michilla	Antofagasta	Operación	BASE	SING
BHP BILLITON	Escondida	Antofagasta	Operación	BASE	SING
FREEMPORT McMoRan	Candelaria	Atacama	Operación	BASE	SIC
MANTOS DE LA LUNA	Mantos de Luna	Antofagasta	Operación	BASE	SING
BHP BILLITON	Escondida OGP I	Antofagasta	En Ejecución	BASE	SING
CAPSTONE Mining	Santo Domingo	Atacama	Factibilidad	POSIBLE	SIC
CODELCO-CHILE	RT Sulfuros Fase II	Antofagasta	Factibilidad	POSIBLE	SING
DOÑA INÉS DE COLLAHUASI	Collahuasi Ampl. Fase III	Tarapacá	Pre-Factibilidad	POTENCIAL	SING
FREEMPORT McMoRan	Candelaria 2030	Atacama	Factibilidad	PROBABLE	SIC
GLENCORE-XSTRATA	Lomas Bayas Sulfuros	Antofagasta	Pre-Factibilidad	POTENCIAL	SING
GOLD CORP	El Morro	Atacama	Pre-Factibilidad	POTENCIAL	SIC
KGHM INT.	Sierra Gorda Concentrados	Antofagasta	En Ejecución	BASE	SING
TECK	Quebrada Blanca Hipógeno	Tarapacá	Factibilidad	POTENCIAL	SING
TECK	Relincho	Atacama	Factibilidad	POTENCIAL	SIC
COPEC	Diego de Almagro Sulf.	Atacama	Factibilidad	POSIBLE	SIC
ANTOFAGASTA MINERALS	Antucoya	Antofagasta	En Ejecución	BASE	SING
PAMPA CAMARONES	Pampa Camarones	Arica y Parinacota	En Ejecución	BASE	SING

Fuente: Cochilco, 2014



8.1.2. Detalle de la metodología de cálculo del consumo esperado de electricidad en plantas desaladoras y sistemas de impulsión

Por la naturaleza de la desalación de agua de mar y su impulsión, sus consumos tienen su propio tratamiento. La metodología implica una estimación de la potencia eléctrica requerida para la planta y para el sistema de impulsión. Luego, para el cálculo de la energía se asume una tasa promedio de horas diarias donde se aplica la potencia.

- a) Los supuestos usados en este ítem son los siguientes:
- Plantas en operación se mantienen hasta el año 2025.
 - El caudal de agua desalinizado e impulsado se ha tomado en base a lo informado por las empresas en estudios propios, estudios de impacto ambiental y/o en la prensa. Se considera el mismo caudal para la planta desaladora y para su sistema de impulsión.
 - Todos los proyectos en estudio o pre-factibilidad comienzan a operar en la fecha indicada.
 - Funcionamiento plantas generadoras de 360 días al año y 20 horas al día.
 - Energía por m³ necesaria para desalinizar : 4 KWh/m³.
 - Eficiencia bombas de 80%.
 - Eficiencia motores de 80%.

- b) Cálculo de la potencia:

Se calcula la potencia requerida por las plantas desaladoras y luego la potencia necesaria para la impulsión del agua utilizando las siguientes fórmulas:

Tabla 16: Cálculo de la potencia requerida en la desalación e impulsión de agua

Proceso	Potencia (MW)
Desalación de agua	$4 \frac{KWh}{m^3} \times Q \times \frac{3,6}{1.000}$
Impulsión de agua	$\frac{g \times \rho \times Q \times H}{1.000.000 \times \eta_b \times \eta_m}$

Fuente: Cochilco, 2013

Donde:

- g: Aceleración de gravedad, la cual es igual a 9,8 (m/s²).
- ρ: Densidad del agua, la cual es igual a 1000 (kg/m³).
- H: Altura (msnm).
- Q: Caudal en metros cúbicos por segundo (m³/s).
- η_b : Rendimiento de bombas (%).
- η_m : Rendimiento del motor (%).

c) Cálculo de la energía eléctrica a consumir, según la siguiente fórmula:

$$Energía (TWh) = \frac{Potencia \times días \times horas}{1.000.000}$$

Donde:

- *Potencia*: está expresada en MW, la cual se calcula con las fórmulas de la tabla 1.
- *días*: Se consideraron 360 días de operación en el año
- *horas*: Se consideraron 20 horas de funcionamiento diarias.

d) Generación de escenarios

Posteriormente se generan escenarios anuales para cada una de las plantas desadoras y sistemas de impulsión (tabla 15), aplicándoles los mismos ponderadores de los proyectos mineros (tablas 2, 3 y 4) y además un factor de 100%, 90% y 80% para los escenarios máximo, más probable y mínimo respectivamente, para agregarle variabilidad a la cantidad de días y horas de funcionamiento de las plantas y sistemas de impulsión.

Con los escenarios generados se aplica el método de Montecarlo explicado en la metodología, obteniendo una distribución probabilística del consumo de energía anual para cada una de las plantas desaladoras y sistemas impulsión. Posteriormente se procedió a calcular el valor esperado de cada una de las distribuciones probabilísticas, tal como se efectuó para la proyección de consumo de electricidad por parte de los procesos mineros.

El valor esperado del consumo eléctrico por este concepto es sumable al valor esperado del consumo minero propiamente tal.



8.2. Anexo con cifras de proyección de consumo esperado de electricidad 2014 – 2025 en diferentes categorías

8.2.1. Proyección global

Tabla 17: Consumo máximo, mínimo y esperado de la minería del Cobre 2014 - 2025, país.

Global (TWh)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Consumo máximo	23,28	26,89	27,32	28,25	30,79	33,66	34,95	38,21	42,25	44,46	46,10	46,25
Consumo esperado	21,86	25,11	25,56	26,47	27,15	28,64	29,92	32,14	33,66	36,85	38,96	39,47
Consumo Mínimo esperado	21,86	25,11	25,47	26,11	24,69	24,60	24,32	23,89	23,09	23,19	22,80	22,91

Fuente: Cochilco, 2013

Tabla 18: Consumo máximo, mínimo y esperado de la minería del Cobre 2014 - 2025, SING.

Global (TWh)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Consumo máximo	14,42	17,87	18,01	18,41	20,20	21,91	22,44	23,68	26,01	26,81	27,06	26,90
Consumo esperado	13,43	16,58	16,71	17,19	17,73	18,54	19,24	20,47	20,95	22,91	22,97	23,34
Consumo Mínimo esperado	13,43	16,58	16,62	17,04	16,53	16,28	16,00	15,56	14,82	14,83	14,35	14,22

Fuente: Cochilco, 2013

Tabla 19: Consumo máximo, mínimo y esperado de la minería del Cobre 2014 - 2025, SIC.

Global (TWh)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Consumo máximo	8,86	9,02	9,31	9,84	10,59	11,75	12,50	14,54	16,24	17,65	19,04	19,35
Consumo esperado	8,43	8,54	8,85	9,29	9,42	10,09	10,68	11,67	12,71	13,94	15,99	16,14
Consumo Mínimo esperado	8,43	8,53	8,85	9,06	8,16	8,32	8,31	8,33	8,27	8,35	8,45	8,69

Fuente: Cochilco, 2013

8.2.2. Proyección de consumo de electricidad según procesos

Tabla 20: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre por procesos, país

Procesos (TWh)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Concentradora	11,16	12,17	12,71	13,57	13,91	15,43	16,79	18,56	19,55	22,33	24,34	24,41
Desalinización e impulsión	1,23	3,39	3,29	3,44	4,02	4,38	4,76	5,28	5,68	6,06	6,10	6,65
Fundición	1,44	1,47	1,44	1,50	1,46	1,46	1,47	1,45	1,49	1,46	1,50	1,45
LXSXEW	5,23	5,10	5,08	4,92	4,74	4,25	3,75	3,58	3,51	3,31	3,15	2,96
Mina Rajo	0,97	1,03	1,04	1,05	1,05	1,07	1,07	1,11	1,15	1,23	1,26	1,30
Mina Subterránea	0,30	0,30	0,31	0,29	0,29	0,33	0,35	0,41	0,44	0,54	0,63	0,67
Refinería	0,49	0,58	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,60	0,59	0,60	0,59
Servicios	1,04	1,08	1,10	1,11	1,09	1,13	1,14	1,16	1,24	1,33	1,38	1,44
Total	21,9	25,1	25,6	26,5	27,2	28,6	29,9	32,1	33,7	36,9	39,0	39,5

Tabla 21: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre por procesos, SING.

Procesos (TWh)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Concentradora	5,40	6,32	6,62	7,17	7,33	8,15	9,05	10,11	10,23	11,90	12,03	12,13
Desalinización e impulsión	1,16	3,32	3,21	3,32	3,85	4,18	4,58	4,84	5,18	5,50	5,50	5,96
Fundición	0,45	0,46	0,43	0,46	0,45	0,44	0,46	0,44	0,46	0,45	0,46	0,45
LXSXEW	4,87	4,75	4,72	4,50	4,36	4,00	3,40	3,25	3,16	3,00	2,88	2,69
Mina Rajo	0,69	0,75	0,73	0,74	0,74	0,74	0,73	0,74	0,75	0,78	0,76	0,76
Mina Subterránea	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,04	0,11	0,13	0,21	0,26	0,27
Refinería	0,17	0,26	0,25	0,27	0,26	0,27	0,26	0,27	0,27	0,26	0,27	0,25
Servicios	0,67	0,72	0,71	0,72	0,72	0,73	0,72	0,72	0,76	0,81	0,81	0,82
Total	13,4	16,6	16,7	17,2	17,7	18,5	19,2	20,5	21,0	22,9	23,0	23,3

Tabla 22: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre por procesos, SIC.

Procesos (TWh)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Concentradora	5,76	5,85	6,09	6,40	6,57	7,28	7,74	8,46	9,32	10,42	12,31	12,28
Desalinización e impulsión	0,07	0,07	0,07	0,12	0,17	0,20	0,18	0,43	0,50	0,56	0,60	0,69
Fundición	0,99	1,01	1,01	1,03	1,01	1,01	1,01	1,01	1,03	1,01	1,04	1,00
LXSXEW	0,35	0,35	0,36	0,42	0,38	0,25	0,35	0,33	0,35	0,31	0,27	0,27
Mina Rajo	0,28	0,28	0,31	0,31	0,31	0,33	0,34	0,37	0,40	0,45	0,50	0,54
Mina Subterránea	0,29	0,29	0,30	0,28	0,27	0,30	0,30	0,30	0,31	0,33	0,37	0,40
Refinería	0,31	0,32	0,34	0,33	0,33	0,32	0,33	0,32	0,33	0,33	0,33	0,33
Servicios	0,36	0,36	0,38	0,39	0,37	0,40	0,42	0,44	0,48	0,53	0,57	0,63
Total	8,4	8,5	8,9	9,3	9,4	10,1	10,7	11,7	12,7	13,9	16,0	16,1

8.2.3. Proyección de consumo de electricidad según condición

Tabla 23: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre según condición, país.

Condición (TWh)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
BASE	21,86	25,11	25,47	26,11	24,69	24,60	24,32	23,89	23,09	23,19	22,80	22,91
PROBABLE	0,00	0,00	0,10	0,23	0,56	0,61	0,62	0,58	0,56	0,46	0,46	0,34
POSIBLE	0,00	0,00	0,00	0,14	1,70	2,41	3,25	3,92	5,12	6,22	7,31	7,67
POTENCIAL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	1,01	1,74	3,75	4,90	6,98	8,39	8,56
Total	21,86	25,11	25,56	26,47	27,15	28,64	29,92	32,14	33,66	36,85	38,96	39,47

Fuente: Elaborado por Cochilco

Tabla 24: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre según condición, SING

Condición (TWh)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
BASE	13,43	16,58	16,62	17,04	16,53	16,28	16,00	15,56	14,82	14,83	14,35	14,22
PROBABLE	0,00	0,00	0,09	0,14	0,34	0,35	0,35	0,31	0,28	0,17	0,18	0,06
POSIBLE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70	1,07	1,45	1,91	2,51	3,36	3,56	3,79
POTENCIAL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,84	1,45	2,68	3,35	4,54	4,88	5,27
Total	13,43	16,58	16,71	17,19	17,73	18,54	19,24	20,47	20,95	22,91	22,97	23,34

Fuente: Elaborado por Cochilco

Tabla 25: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre según condición, SIC.

Condición (TWh)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
BASE	8,43	8,53	8,85	9,06	8,16	8,32	8,31	8,33	8,27	8,35	8,45	8,69
PROBABLE	0,00	0,00	0,01	0,09	0,22	0,27	0,27	0,26	0,28	0,29	0,29	0,28
POSIBLE	0,00	0,00	0,00	0,14	1,00	1,33	1,80	2,01	2,61	2,86	3,75	3,88
POTENCIAL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,17	0,29	1,07	1,55	2,44	3,51	3,29
Total	8,43	8,54	8,85	9,29	9,42	10,09	10,68	11,67	12,71	13,94	15,99	16,14

Fuente: Elaborado por Cochilco

8.2.4. Proyección de consumo de electricidad por tipo de proyecto

Tabla 26: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre por tipo de proyecto, país.

Tipo (TWh)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Nuevo	1,22	2,14	2,59	3,22	4,98	6,59	8,30	10,77	12,26	14,48	15,53	15,10
Expansión	0,00	2,66	2,99	3,41	3,38	3,50	3,74	3,61	4,17	4,93	6,09	6,83
Reposición	0,00	0,00	0,10	0,29	0,77	1,09	1,27	1,64	1,99	2,58	2,77	3,22
Operando	20,64	20,31	19,88	19,55	18,02	17,45	16,61	16,12	15,24	14,86	14,57	14,32
Total	21,86	25,11	25,56	26,47	27,15	28,64	29,92	32,14	33,66	36,85	38,96	39,47

Fuente: Elaborado por Cochilco

Tabla 27: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre por tipo de proyecto, SING.

Tipo (TWh)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Nuevo	0,85	1,61	1,86	2,22	3,10	4,09	5,28	6,75	7,43	8,99	9,18	9,11
Expansión	0,00	2,66	2,98	3,41	3,37	3,43	3,61	3,51	3,84	4,14	4,20	4,73
Reposición	0,00	0,00	0,09	0,14	0,35	0,42	0,50	0,82	0,90	1,26	1,30	1,47
Operando	12,58	12,31	11,77	11,42	10,91	10,59	9,85	9,39	8,78	8,53	8,28	8,03
Total	13,43	16,58	16,71	17,19	17,73	18,54	19,24	20,47	20,95	22,91	22,97	23,34

Fuente: Elaborado por Cochilco

Tabla 28: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre por tipo de proyecto, SIC.

Tipo (TWh)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Nuevo	0,36	0,54	0,72	1,00	1,87	2,50	3,02	4,02	4,82	5,50	6,35	5,99
Expansión	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,07	0,13	0,11	0,33	0,79	1,89	2,10
Reposición	0,00	0,00	0,01	0,15	0,42	0,67	0,76	0,82	1,08	1,32	1,47	1,75
Operando	8,06	8,00	8,11	8,13	7,12	6,86	6,76	6,72	6,47	6,33	6,29	6,29
Total	8,43	8,54	8,85	9,29	9,42	10,09	10,68	11,67	12,71	13,94	15,99	16,14

Fuente: Elaborado por Cochilco

8.2.5. Proyección de consumo de electricidad por etapa de desarrollo

Tabla 29: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre por etapa de desarrollo, país.

Etapa de Desarrollo (TWh)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
En Ejecución	0,54	3,77	4,41	5,28	5,39	5,59	6,10	6,20	6,29	6,78	6,70	7,07
Factibilidad	0,00	0,00	0,10	0,37	2,26	3,67	5,07	7,31	9,01	11,40	12,96	12,85
Operación	21,32	21,35	21,05	20,82	19,30	19,01	18,22	17,69	16,80	16,41	16,10	15,84
Pre-Factibilidad	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,37	0,53	0,94	1,57	2,27	3,21	3,72
Total	21,9	25,1	25,6	26,5	27,2	28,6	29,9	32,1	33,7	36,9	39,0	39,5

Fuente: Elaborado por Cochilco

Tabla 30: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre por etapa de desarrollo, SING.

Etapa de Desarrollo (TWh)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
En Ejecución	0,54	3,77	4,40	5,21	5,22	5,26	5,72	5,75	5,62	5,86	5,63	5,74
Factibilidad	0,00	0,00	0,09	0,14	1,04	2,02	2,91	4,52	5,37	7,02	7,47	7,38
Operación	12,89	12,81	12,22	11,83	11,32	11,02	10,29	9,82	9,20	8,97	8,72	8,48
Pre-Factibilidad	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,24	0,33	0,38	0,77	1,06	1,15	1,74
Total	13,4	16,6	16,7	17,2	17,7	18,5	19,2	20,5	21,0	22,9	23,0	23,3

Fuente: Elaborado por Cochilco

Tabla 31: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre por etapa de desarrollo, SIC.

Etapa de Desarrollo (TWh)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
En Ejecución	0,00	0,00	0,01	0,07	0,17	0,32	0,38	0,45	0,67	0,92	1,07	1,33
Factibilidad	0,00	0,00	0,01	0,22	1,22	1,65	2,16	2,79	3,64	4,38	5,49	5,47
Operación	8,43	8,53	8,83	8,99	7,99	7,99	7,93	7,88	7,60	7,43	7,38	7,36
Pre-Factibilidad	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,13	0,20	0,56	0,80	1,20	2,06	1,98
Total	8,4	8,5	8,9	9,3	9,4	10,1	10,7	11,7	12,7	13,9	16,0	16,1

Fuente: Elaborado por Cochilco

Este trabajo fue elaborado en la
Dirección de Estudios y Políticas Públicas por

Sergio Verdugo Montenegro

Analista Minero

Vicente Pérez Vidal

Coordinador de Estrategias y Políticas Públicas

Jorge Cantallopts Araya

Director de Estudios y Políticas Públicas

Diciembre / 2014

