

# Minería

Guía Metodológica de Auditoría Energética

©Agencia de Sostenibilidad Energética, Ministerio de Energía  
Guía Metodológica de Auditoría Energética en Minería  
Primera Edición: Abril 2019

La “Guía Metodológica de Auditoría Energética en Minería”, es un proyecto desarrollado por la Agencia de Sostenibilidad Energética y el Ministerio de Energía en el marco del Programa Bienes Públicos para la Competitividad - Convocatoria Eficiencia Energética y fue financiado por CORFO, el Ministerio de Energía y la Agencia de Sostenibilidad Energética.

**Autores:**

Rodrigo Balderrama  
Sebastián Gopel  
José Manuel Lobo  
Patricio Meneses  
Katherina Pérez

**RODA Energía**  
**comunicaciones@rodaenergia.cl**  
**www.rodaenergia.cl**

**Revisión:**

Alejandro Silva, Ministerio de Energía  
Fernando Flores, SONAMI  
Juan Pablo Payero, Agencia de Sostenibilidad Energética  
Felipe Lagos, Agencia de Sostenibilidad Energética  
Robert Schacht, Agencia de Sostenibilidad Energética

**Diseño gráfico:**

El Despacho  
Víctor Vinagre, Agencia de Sostenibilidad Energética

Agradecimiento especial a las organizaciones y empresas que participaron en el desarrollo de las distintas instancias participativas de este programa y que con sus aportes contribuyeron a la creación de esta Guía: Compañía Minera Amalia, Compañía Minera Cerro Negro, Compañía Minera Pullalli, Ecometales Límite, ENAMI, Minera La Florida, Minera Tres Valles y Sociedad Punta del cobre.

# Índice

## 05

- 5 Auditoría Energética
- 5 Etapas de una Auditoría Energética
- 7 Niveles de Auditorías Energéticas
- 10 ¿Cómo usar la guía?

## 17

### 2. Etapa Planificación AE

- 17 2.1 Solicitud y recopilación de la información requerida
- 19 2.2 Recorrido inicial y reuniones de coordinación
- 19 2.3 Plan de trabajo en terreno

## 49

### 4. Reporte

- 49 4.1 Reporte(s) de avance
- 49 4.2 Reporte final

## 50

### Anexos

## 11

### 1. Etapa Preparación AE

- 11 1.1 Definición requerimientos de AE
- 12 1.2 Desarrollo de propuesta de AE
- 16 1.3 Selección de propuesta de AE

## 21

### 3. Etapa Ejecución AE

- 22 3.1 Trabajo en terreno
- 23 3.1.1 Levantamiento de información
- 25 3.1.2 Medición del uso de la energía
- 27 3.2 Tratamiento de información y análisis de situación actual
- 27 3.2.1 Análisis de equipos y sistemas
- 31 3.2.2 Distribución y balance energético
- 34 3.2.3 Línea base
- 35 3.2.4 IDE y análisis comparativo
- 36 3.2.5 Análisis de facturación
- 40 3.2.6 Análisis de calidad de energía
- 41 3.2.7 Demanda de Potencia Eléctrica (DPE) y Demanda de Potencia Térmica a nivel de Energía Útil (DPTEU)
- 42 3.3 Análisis de MMEE
- 42 3.3.1 Identificación de MMEE
- 44 3.3.2 Análisis técnico y económico
- 48 3.3.3 Plan de implementación para MMEE

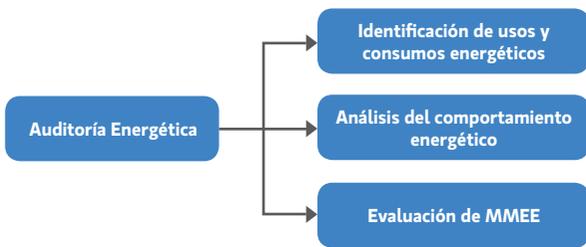
# Glosario

|                 |   |            |  |
|-----------------|---|------------|--|
| <b>AE</b>       | Auditoría Energética.   | <b>Sx</b>  | Extracción por solvente.                               |
| <b>AFS</b>      | Agua Fría Sanitaria.  | <b>THD</b> | Distorsión Armónica Total (Total Harmonic Distortion). |
| <b>AT</b>       | Alta Tensión.   | <b>TIR</b> | Tasa Interna de Retorno.                               |
| <b>BT</b>       | Baja Tensión.   | <b>VAN</b> | Valor Actual Neto.                                     |
| <b>DPE</b>      | Demanda de Potencia Eléctrica.  | <b>VDF</b> | Variador de Frecuencia                                 |
| <b>DPTEU</b>    | Demanda de Potencia Térmica a nivel de Energía Útil.  |            |  |
| <b>ERNC</b>     | Energías Renovables No Convencionales.  |            |  |
| <b>Ew</b>       | Electro-obtención.  |            |  |
| <b>FC</b>       | Factor de Carga.  |            |  |
| <b>FP</b>       | Factor de Potencia.   |            |  |
| <b>GE</b>       | Grupo Electrónico.  |            |  |
| <b>GEI</b>      | Gases de Efecto Invernadero.  |            |  |
| <b>GLP</b>      | Gas Licuado Petróleo.   |            |  |
| <b>GN</b>       | Gas Natural.  |            |  |
| <b>HH</b>       | Horas Hombre.   |            |  |
| <b>IDE</b>      | Indicador de Desempeño Energético.  |            |  |
| <b>IPMVP</b>    | Protocolo Internacional de Medida y Verificación (International Performance Measurement & Verification Protocol). |            |  |
| <b>Lx</b>       | Lixiviación.  |            |  |
| <b>M&amp;V</b>  | Medición y Verificación.  |            |  |
| <b>MMEE</b>     | Medidas de Mejora en Eficiencia Energética.   |            |  |
| <b>PAYBACK</b>  | Período de Retorno de la Inversión.   |            |  |
| <b>P&amp;ID</b> | Diagrama de Tuberías e Instrumentación (Piping and Instrumentation Diagram).                                      |            |  |
| <b>P80/F80</b>  | Índice o razón de reducción.  |            |  |
| <b>ROM</b>      | Run of Mine (Producto intermedio del mineral previo al preceso de conminución).                                   |            |  |
| <b>SEC</b>      | Superintendencia de Electricidad y Combustible.   |            |  |
| <b>SGE</b>      | Sistema de Gestión de la Energía.   |            |  |
| <b>SST</b>      | Sistema Solar Térmico.  |            |  |

# Auditoría Energética

La Auditoría Energética (AE) o Diagnóstico Energético, es una revisión, análisis y comprensión del uso y consumo de energía de las instalaciones que permiten identificar medidas de eficiencia energética, que representen oportunidades para mejorar el desempeño energético.

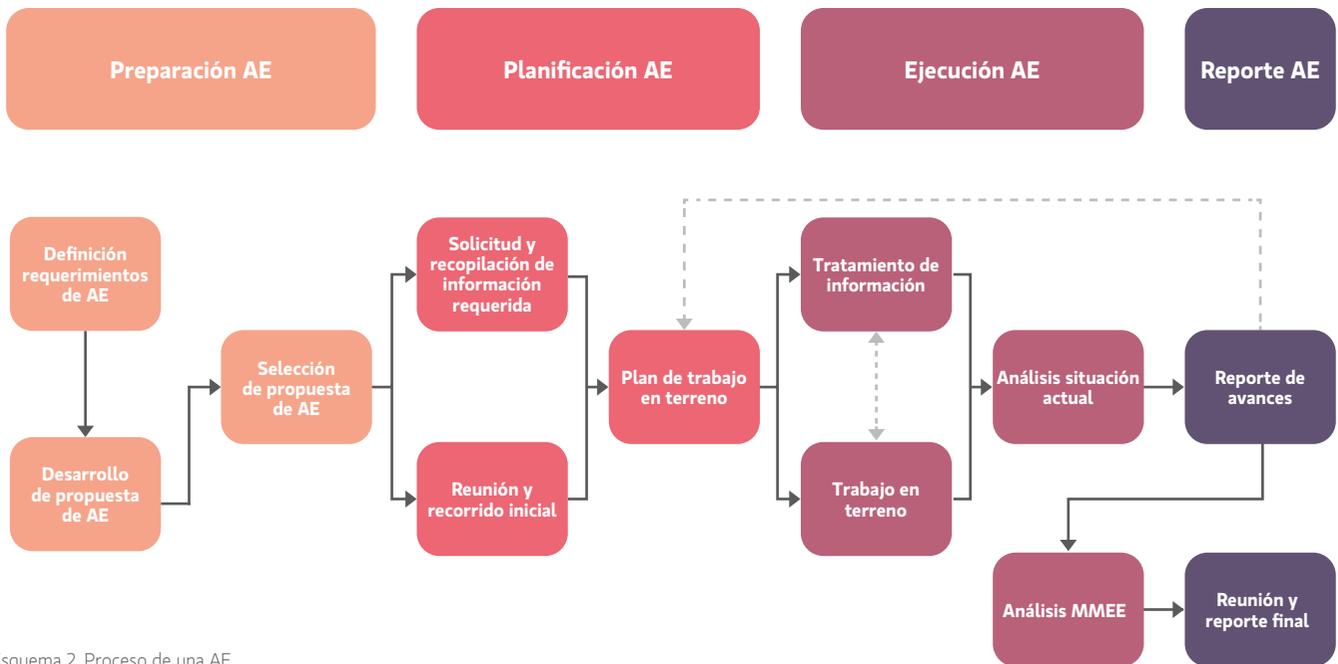
En el contexto de un SGE<sup>1</sup>, la AE es una herramienta clave para identificar los sistemas, equipos y procesos de uso significativo de energía y determinar el desempeño energético actual, permitiendo la elaboración de una línea base y la obtención de indicadores de desempeño energético.



Esquema 1. Objetivos de una AE

## Etapas de una Auditoría Energética

El proceso de una AE consta de 4 etapas principales, correspondientes a *Preparación, Planificación, Ejecución y Reporte*. Cada una de ellas está compuesta por actividades con objetivos particulares y que en su conjunto responden a los objetivos de la AE, de acuerdo al Esquema 2 y la descripción que se realiza a continuación. La secuencia presentada es representativa, por lo que pueden existir iteraciones entre las actividades o variaciones en el orden de su desarrollo para casos particulares.



Esquema 2. Proceso de una AE

1. Sistema de Gestión de Energía, Guía de Implementación de Sistema de Gestión de Energía basado en ISO50001, Agencia de Sostenibilidad Energética.

**1. Etapa Preparación AE:** Definición por parte de la organización de los elementos y características de la AE que se solicitará realizar a sus instalaciones, en base a los cuales uno o más candidatos a desarrollar la AE presentan propuestas para optar a ser seleccionados por la organización, para dar inicio así a las siguientes etapas de la AE.

**1.1 Definición de requerimientos de la AE:** Definición por parte de la organización de las instalaciones y/o áreas que se incluirán en el diagnóstico, profundidad de los análisis y evaluaciones de MMEE a realizar, los aspectos del equipo auditor que serán evaluados y las expectativas de recursos a asignar para la realización de la AE. Estos requerimientos son presentados al equipo auditor para la elaboración de las ofertas de AE.

**1.2 Desarrollo propuesta de AE:** Identificación y/o análisis por parte del equipo auditor candidato a desarrollar la AE, de los antecedentes y características de las instalaciones, para que en base a los requerimientos expuestos por la organización, les permitan generar una oferta de AE y recursos necesarios que se ajusten a lo solicitado.

**1.3 Selección de propuesta de AE:** Elección de propuesta y equipo auditor que mejor se ajuste a los requerimientos y expectativas de la organización, con lo cual se inicia el desarrollo de las siguientes etapas.

**2. Etapa Planificación AE:** Programación de los tiempos y tareas consideradas para el cumplimiento de los alcances y niveles de AE que fueron establecidos.

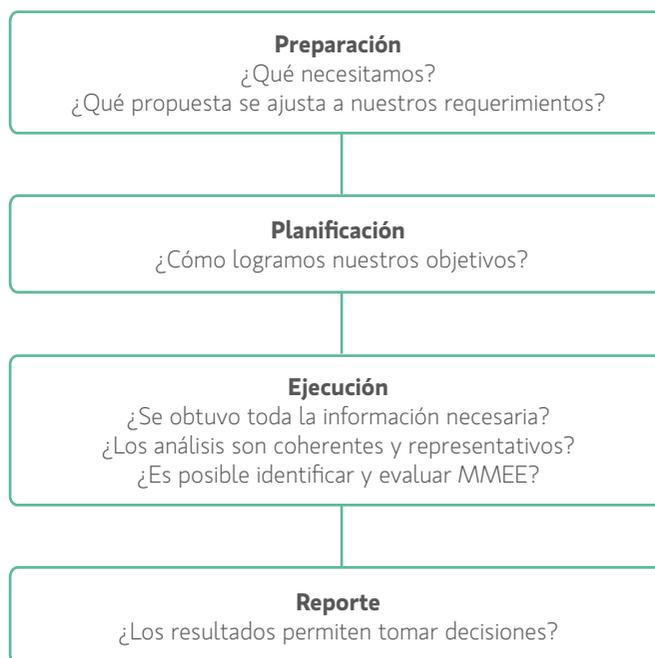
**2.1 Solicitud y recopilación de información requerida:** Solicitud y recopilación de información que ya maneja la organización y que sea de utilidad para los análisis de la AE, la que es complementada y validada junto con la información que se obtiene durante el *Trabajo en terreno*.

**2.2 Recorrido inicial y reuniones de coordinación:** Permite realizar un reconocimiento de la instalación que entregue información de utilidad para elaborar el *Plan de trabajo en terreno*.

**2.3 Plan de trabajo en terreno:** Planificación de las actividades que se desarrollarán para el *Levantamiento de información en terreno y mediciones del uso de la energía*, que permitan coordinar y optimizar los tiempos de *Ejecución de la AE*.

**3. Etapa Ejecución AE:** Obtención y recopilación de información, tratamiento y análisis requeridos para el cumplimiento de objetivos de acuerdo al alcance y nivel de AE.

**3.1 Trabajo en terreno:** Levantamiento de información y mediciones que permitan caracterizar los equipos, sistemas e instalaciones para el posterior *Tratamiento de información, análisis de situación actual y Análisis de MMEE*.



**3.2 Tratamiento de información y análisis de situación actual:** Procesamiento de la información entregada por la organización y la recopilada durante el *Trabajo en terreno*, para la obtención de distribución de consumos y otros análisis que se abordan en la guía.

**3.3 Análisis de MMEE (Medidas de Mejora en Eficiencia Energética):** Identificación de MMEE, aplicación de criterios para la evaluación técnica y económica y priorización de medidas de mayor conveniencia para la faena minera.

**4. Etapa Reporte AE:** Registro y clasificación de la información de utilidad para la entrega de resultados y conclusiones a la organización auditada.

**4.1 Reporte de avances:** Traspaso de información y validación de las primeras conclusiones obtenidas del *Análisis de situación actual* y MMEE identificadas.

**4.2 Reunión y reporte final:** Traspaso de información de todas las conclusiones obtenidas y las MMEE evaluadas de acuerdo al nivel de detalle definido en los alcances de la AE.

## Niveles de Auditorías Energéticas

De acuerdo a las expectativas y requerimientos de la organización, se puede desarrollar uno o más tipos de niveles de AE que se diferencian en el grado de detalle en que se realizan la identificación y análisis del comportamiento energético y, también, en qué tan exacta es la evaluación de MMEE, según el nivel de estudio que se desarrolle, como se resume en la Tabla 1. La definición por parte

de la organización del nivel de AE de interés, determina el grado de dedicación y el tipo de actividades que deben ser consideradas para cumplir con los objetivos del diagnóstico energético, lo cual influye directamente en los tiempos, costos y recursos necesarios para realizar la AE, como se ve reflejado en la Tabla 1.

Tabla 1. Niveles de AE

| Objetivo de la AE   | Se diferencia en                               | Nivel de AE |         |                 |                 |
|---|--|-------------|---------|-----------------|-----------------|
|   |  | Nivel 0     | Nivel 1 | Nivel 2         | Nivel 3         |
| Identificación de usos y consumos energéticos<br>Análisis del comportamiento energético | Nivel de detalle en que se obtienen resultados | General     | Básico  | Detallado       | Preciso         |
|   | Nivel de estudio de MMEE identificadas         | Idea        | Idea    | Perfil          | Prefactibilidad |
| Evaluación de MMEE  | Nivel de estudio de MMEE de mayor interés      |             | Perfil  | Prefactibilidad | Factibilidad    |

- + Costo, tiempo y recurso

La dedicación y asignación de recursos para cada nivel, también se relaciona con el tipo de información que se debe obtener de las instalaciones, ya que esta debe ser coherente con los resultados que entrega la auditoría en cuanto a la identificación y análisis del comportamiento energético, respaldando, además, los resultados de los estudios de las MMEE detectadas. Este requerimiento define la cantidad y detalle de información que debe ser recopilada y, en consecuencia, las fuentes de información que es adecuado utilizar para cada nivel, como se muestra en la Tabla 2. En ella se señala que, como base para todos los niveles, se debe utilizar información que se levante en terreno por inspección visual o

consultas al personal, diferenciando la cantidad de la información requerida por nivel de AE. Luego, desde el nivel 1, se considera aquella información que pueda entregar la organización de sus instalaciones. De forma particular para los niveles 2 y 3, se debe incluir como fuente de información la medición de variables energéticas, diferenciando de un nivel 2 a un nivel 3 una mayor cantidad de equipos o sistemas incluidos en los registros, una mayor extensión de tiempo en que se obtiene data de las variables y los tipos de instrumentos de medición utilizados. El detalle de la información a recopilar para la realización de las auditorías se aborda en las siguientes secciones de la guía.

Tabla 2. Fuentes de información requeridas por nivel de AE

| Fuentes de información requeridas por nivel de AE  |         |         |         |
|--|---------|---------|---------|
| Nivel 0  | Nivel 1 | Nivel 2 | Nivel 3 |
|  Levantamiento de información en terreno  |         |         |         |
|  Información con que ya cuenta la empresa |         |         |         |
|  Medición de variables energéticas       |         |         |         |

- + Detalle y cantidad de información requerida

A partir de las principales diferencias que fueron presentadas en la Tabla 1 y Tabla 2 para los distintos niveles de AE, se realiza una descripción más detallada para cada una de ellas considerando algunos de los principales aspectos del proceso de la auditoría.

**Nivel 0:** Revisión simple y rápida de las instalaciones para identificar los principales equipos y sistemas consumidores de energía. Se identifican oportunidades de mejora en base a las observaciones que se realicen durante el recorrido de las dependencias, para así presentar ideas de MMEE con resultados estimados, basados generalmente en la experiencia del equipo consultor o en información básica de algún equipo particular. Las distintas recomendaciones de MMEE, pueden servir como base para generar interés en la realización de análisis más detallados en auditorías de mayor nivel.

**Nivel 1:** Revisión de las instalaciones que permita levantar información sobre equipos principales, identificando oportunidades de mejora en base a la información levantada durante el recorrido de las dependencias y la información que sea solicitada a la organización. Los antecedentes recopilados permiten estimar una distribución representativa de consumo de los sistemas, y contar con antecedentes para evaluar las MMEE identificadas, estimando potenciales ahorros y costos a nivel de estudio de perfil. Los resultados del estudio permiten realizar una priorización de MMEE que indiquen en cuáles es conveniente recopilar antecedentes más detallados en auditorías de mayor nivel, para obtener evaluaciones de mejor precisión.

**Nivel 2:** Revisión y levantamiento de información de los equipos y sistemas incluidos en el alcance de AE, identificando oportunidades de mejora en base a la información levantada en terreno, la información recopilada por la organización y la caracterización del comportamiento de operación de equipos y sistemas, obtenida de la medición de variables energéticas principales de la instalación, lo que aporta nuevos antecedentes para reconocer oportunidades adicionales a las identificadas durante el levantamiento en terreno. Los datos recopilados permiten estimar una distribución y balance del consumo energético de los procesos y sistemas, y la evaluación de las MMEE a nivel de estudio de perfil, que entrega una priorización en base a la estimación de potenciales ahorros y costos, para luego estudiar, a nivel de prefactibilidad, las MMEE que resulten de mayor conveniencia, obteniendo resultados que suelen incluir cotización de los equipos principales para la cuantificación de los costos de la medida.

**Nivel 3:** Revisión y levantamiento de información de equipos y sistemas incluidos en los alcances de la AE, identificando oportunidades de mejora en base al *Trabajo en terreno*, la información que sea solicitada a la organización y la caracterización del comportamiento de operación de equipos y sistemas, obtenida de la medición de variables energéticas principales y específicas de los sistemas analizados; lo que aporta nuevos antecedentes para reconocer oportunidades adicionales a las identificadas durante el levantamiento en terreno. Los datos recopilados permiten calcular una distribución y balance de consumo energético de los procesos

y sistemas de forma más precisa, incluir análisis de DPE y DPTEU, y la evaluación de MMEE a nivel de estudio de prefactibilidad, que posibilita una priorización en base a la estimación de potenciales ahorros y costos, para luego estudiar a nivel de factibilidad las MMEE que resulten de mayor conveniencia, obteniendo como resultados los proyectos de mejora que responden a los requerimientos y condiciones de la organización, con antecedentes suficientes para continuar en los diseños de ingeniería para su implementación. Cabe mencionar que un análisis de factibilidad cuenta con cotizaciones de equipos principales y secundarios.

De esta forma, los niveles 0 y 1 son útiles para tener una primera orientación de hacia dónde podría ser adecuado enfocar los esfuerzos en revisiones más detalladas, para así identificar y evaluar medidas en diagnósticos de mayor nivel. Al elegir o avanzar a niveles 2 o 3, es posible obtener antecedentes e información técnica más detallada que facilite los próximos pasos, para realizar implementación de las MMEE más convenientes.

Para identificar con mayor claridad las diferencias y aspectos descritos para los niveles de AE, la Tabla 3 resume aquellas actividades que se desarrollan por tipo de auditoría para cada etapa del proceso del Esquema 2, indicando si está presente, en qué grado de detalle se considera su realización y recordando las fuentes de información que deben ser consideradas para cumplir con los objetivos del diagnóstico energético.

Tabla 3. Etapas y actividades por nivel de AE

| Preparación   |  | Definición requerimientos de AE  |  |  |  |
|---|--|--|--|--|--|
|   |  | Desarrollo de propuesta de AE  |  |  |  |
| Planificación   |  | Selección de propuesta de AE   |  |  |  |
|   |  | Reunión y recorrido inicial  |  |  |  |
| Trabajo en terreno  |  | Solicitud y recopilación de información requerida  |  |  |  |
|   |  | Plan de trabajo en terreno:  |  |  |  |
| Tratamiento de información y análisis de situación actual |  | Plan de levantamiento  |  |  |  |
|   |  | Plan de mediciones   |  |  |  |
| Análisis de MMEE  |  | Levantamiento de información   |  |  |  |
|   |  | Medición del uso de la energía   |  |  |  |
| Reporte   |  | Análisis de equipos y sistemas   |  |  |  |
|   |  | Distribución y balance energético  |  |  |  |
| Reporte de Avances  |  | Línea Base   |  |  |  |
|   |  | IDE y análisis comparativo   |  |  |  |
| Reporte Final   |  | Análisis de facturación  |  |  |  |
|   |  | Análisis de calidad de energía   |  |  |  |
|   |  | DPE y DPTEU  |  |  |  |
|   |  | Identificación de MMEE   |  |  |  |
|   |  | Análisis Técnico y Económico   |  |  |  |
|   |  | Plan de acción de MMEE   |  |  |  |
| Ejecución   |  | <p>Fuente de información:</p> <p>  Solicitud de información                         Levantamiento de información                         Mediciones                 </p>  |  |  |  |
|   |  | <p>Nivel de estudio:</p> <p>  Idea                         Estudio de perfil                         Estudio de prefactibilidad                         Estudio de Factibilidad                 </p> |  |  |  |

Nivel de detalle    ▸ General    ● Básico    ●● Detallado    ●●● Preciso

# ¿Cómo usar la guía?

Esta guía busca apoyar por medio de distintos criterios y herramientas, la realización de auditorías exitosas para la comprensión de los consumos energéticos y la evaluación de MMEE. Algunos de estos aspectos están dirigidos en forma particular a alguna de las partes que integran la realización de la AE, para identificarlos y hacer referencia a ellos, la guía utiliza los siguientes términos y simbologías:



**Organización auditada:** Instalaciones donde se desarrolla el servicio de AE, pudiendo ser la totalidad o una parte de las dependencias. Esta organización cuenta con encargados que lideran internamente el desarrollo de la AE y mantienen contacto directo con el equipo auditor.



**Equipo auditor:** Grupo de personas que desarrolla la AE, ya sean externas a la organización o que forman parte de ella. Este equipo cuenta con responsables del desarrollo de la AE que mantienen contacto directo con la organización auditada.

Ambas partes participan activamente en las distintas actividades de la auditoría, por lo que es fundamental la comprensión de las tareas que se realicen en función del nivel de AE que se desarrolle y el grado de precisión que se debe esperar de los análisis y evaluación de MMEE.

La guía realiza un recorrido por las etapas y actividades de la Tabla 3, por lo que, de acuerdo al nivel de AE de interés, se puede efectuar una revisión de las secciones particulares que deban ser incluidas de acuerdo a la información presentada. Para recordar esta diferenciación de actividades por nivel de AE en las secciones de la guía, se utiliza la simbología observada en la Tabla 3, por medio del siguiente recuadro tipo:

Nivel de detalle:

▸ General ● Básico ●● Detallado ●●● Preciso



En el recuadro tipo de ejemplo, la simbología indica que la actividad que se aborde en la sección de la guía, se desarrolla en los niveles 1, 2 y 3. Y que a mayor nivel, la realización de la actividad considera mayor detalle para obtener los resultados acorde a las características de la AE.

Luego, al llegar a la sección *Tratamiento de información y análisis de situación actual*, se utilizan recuadros para indicar la informa-

ción que es requerida para realizar los análisis descritos, la que puede provenir de los datos recopilados en terreno, los entregados por la organización o de resultados de análisis previos, acorde al nivel de auditoría que se esté desarrollando, como se muestra en el siguiente recuadro:

| Información requerida   |  |
|---|--|
| Nivel 1   | Niveles 2 y 3  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Facturación energéticos</li> <li>• Información requerida de variables del consumo eléctrico</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Facturación energéticos</li> <li>• Información requerida de variables del consumo eléctrico</li> <li>• Mediciones variables del consumo energético</li> </ul> |

Para una persona que por primera vez deba realizar la contratación o el desarrollo de una AE, se recomienda recorrer todas las secciones de la guía, teniendo siempre en cuenta identificar las diferencias en los nivel de la auditoría, recordando que a mayor nivel, mayor será la dedicación de todas las partes, para lo cual también se deben considerar las áreas de las instalaciones que serán incluidas en la AE.

Dicho lo anterior, para aquella organización que desee contar con una AE desarrollada por personal interno o empresas externas, el capítulo 1 es esencial, ya que es la organización quien define los límites y el grado de detalle que solicitará. Para ello será de utilidad analizar el capítulo 3, lo que le permitirá tener claridad de las diferentes actividades que podrá solicitar y la cantidad de información que será necesaria reunir. Para esta misma organización, el capítulo 4 muestra los elementos que deberá considerar solicitar para el reporte de resultados.

Por otra parte, para el equipo auditor, el capítulo 1 presenta una caracterización del sector bajo análisis para orientar la identificación de los procesos y sistemas que la organización solicite incluir en la AE. Luego, el capítulo 2 le entregará lineamientos para la planificación de las tareas a realizar durante la ejecución de la auditoría. A continuación, el capítulo 3 se enfoca en las actividades que se deberán desarrollar para la obtención de análisis y evaluación de MMEE y, finalmente, el capítulo 4 presentará maneras en que se pueden entregar los resultados.

Como se mencionó anteriormente, lo fundamental para un trabajo conjunto de las partes, es la definición del alcance de la AE, y por tanto, el entendimiento mutuo de los productos asociados a cada uno de los niveles de AE.

A continuación se inicia la descripción de cada una de las etapas y actividades presentadas en la Tabla 3.

# 1. Etapa Preparación AE

En este capítulo se presentan criterios para orientar a la organización en la definición de los requerimientos para solicitar el desarrollo de una AE a un equipo auditor y, una vez realizado el contacto entre las partes, se entregan lineamientos para guiar al equipo auditor en la definición de la propuesta para el desarrollo de la auditoría. El cierre de esta etapa se realiza por medio de la elección, por parte de la organización, de la propuesta y equipo auditor que más se ajusta a sus requerimientos y expectativas para la realización de la AE.

## 1.1 Definición requerimientos de AE



El éxito del desarrollo de una auditoría depende, en gran parte, de definir con claridad los principales aspectos y características que estructuran su realización. Para lograrlo, el primer paso para la organización es establecer cuáles son los requerimientos y expectativas para el desarrollo del diagnóstico energético en sus instalaciones.

Los aspectos que deben evaluar y definir quienes lideren la AE en la organización, y que permiten establecer los requerimientos que serán expuestos al equipo auditor, corresponden a:

• **Áreas de interés a incluir en la AE:** Se debe establecer cuáles son los equipos, sistemas y/o procesos energéticos que serán incluidos en los análisis de la auditoría, de acuerdo a si se requiere una revisión que abarque la mayor parte de sus dependencias, o si se desea enfocar los recursos a evaluar secciones específicas, considerando los siguientes criterios:

- **Instalaciones:** Todas o algunas de las zonas de la instalación.
- **Procesos, sistemas y/o equipos:** Todos o algunos de los procesos, todos o algunos de los energéticos, todos o algunos de los equipos generadores, de transformación y/o uso final que estén presentes en las instalaciones incluidas.

• **Nivel de AE requerido para las áreas de interés:** La organización debe identificar qué tan detallado espera que se realicen los análisis de la auditoría y qué tipo de evaluaciones desea obtener de las MMEE que sean identificadas. Para ello, la organización puede optar por un único nivel de AE para todas las áreas que sean incluidas o elegir un nivel distinto para secciones específicas. Para orientar la elección del nivel de AE, el Anexo 1 entrega criterios que pueden ser evaluados por la organización para identificar el tipo de auditoría que responda a sus requerimientos y expectativas.

Para orientar a la organización auditada en la elección del nivel de AE, el Anexo 1 entrega criterios de evaluación que permiten identificar el Nivel de AE que mejor se ajuste a sus requerimientos

• **Cantidad de MMEE a estudiar y criterios de evaluación:** Del total de MMEE que pueden ser identificadas durante el desarrollo de la AE, la organización debe definir el número de MMEE que son de interés incluir a nivel de estudio, los indicadores a utilizar para la evaluación económica de estos y los criterios que deban ser aplicados para la elaboración del ranking de las MMEE estudiadas (*Análisis de MMEE*).

• **Características de los reportes de avance y finales:** Durante el desarrollo y al finalizar la AE, el equipo auditor realiza traspaso de información de avances y conclusiones a la organización. Para estas instancias, es importante definir:

- Necesidad y cantidad de reportes y/o reuniones de avances.
- Tipo de información a incluir en los reportes.
- Formato de reporte de avance y final. Estos pueden ser informes, presentaciones ejecutivas, planillas de evaluación, entre otros.
- Forma o instancia de entrega de resultados.

• **Aspectos a evaluar del equipo auditor:** Además de establecer los requerimientos para el desarrollo de la auditoría, la organización debe definir aquellos aspectos que evaluará del equipo auditor para ser considerados candidatos a desarrollar la auditoría solicitada. Algunos de estos aspectos pueden ser:

- Pertenencia al registro de consultores<sup>2</sup>.
- Posesión de certificaciones validadas nacional o internacionalmente.
- Experiencia y conocimientos de los sistemas y procesos de minería.
- Posesión de la instrumentación requerida en base al nivel de AE definido.
- De acuerdo a las políticas y reglamento interno de la organización, puede ser necesario considerar elementos profesionales de forma contractual con el equipo auditor, tales como confidencialidad, integridad de la información, transparencia, entre otros.



• **Expectativas de recursos a asignar:** Finalmente, la organización debe evaluar los recursos disponibles a asignar para realizar la auditoría, que implica el tiempo total para su desarrollo, el tiempo que la misma organización deba destinar y el valor económico que se espera pagar por el servicio solicitado. Estas expectativas deben ser acorde a los requerimientos que fueron definidos con anterioridad, considerando que mientras mayor es el nivel de AE, mayor dedicación requiere su realización, lo que también involucra mayores costos. Además, si la ubicación y características de las instalaciones implican dificultades de acceso, desplazamiento y/o disposición de servicios básicos que el propio equipo auditor pueda cubrir durante la ejecución en terreno de la AE, es adecuado que estos aspectos sean considerados tanto en la cuantificación de recursos, como en las consideraciones a ser expuestas al equipo auditor para definir cómo serán abordadas.

Luego de evaluar y establecer cada uno de los puntos descritos, la organización cuenta con los requerimientos y expectativas para la realización de la auditoría. Con ello define, de acuerdo a sus políticas internas, si estos serán expuestos en una instancia de licitación o serán comunicados directamente a equipos consultores que sean de interés para realizar un proceso de cotización.

Una vez que la organización de inicio a una de estas instancias, los equipos consultores que decidan participar de la licitación o respondan a la solicitud de cotización, requerirán realizar una caracterización preliminar de las instalaciones y otros aspectos de la organización, que les permita cuantificar adecuadamente los recursos que considerarán en la propuesta de AE a elaborar para responder a los requerimientos indicados.

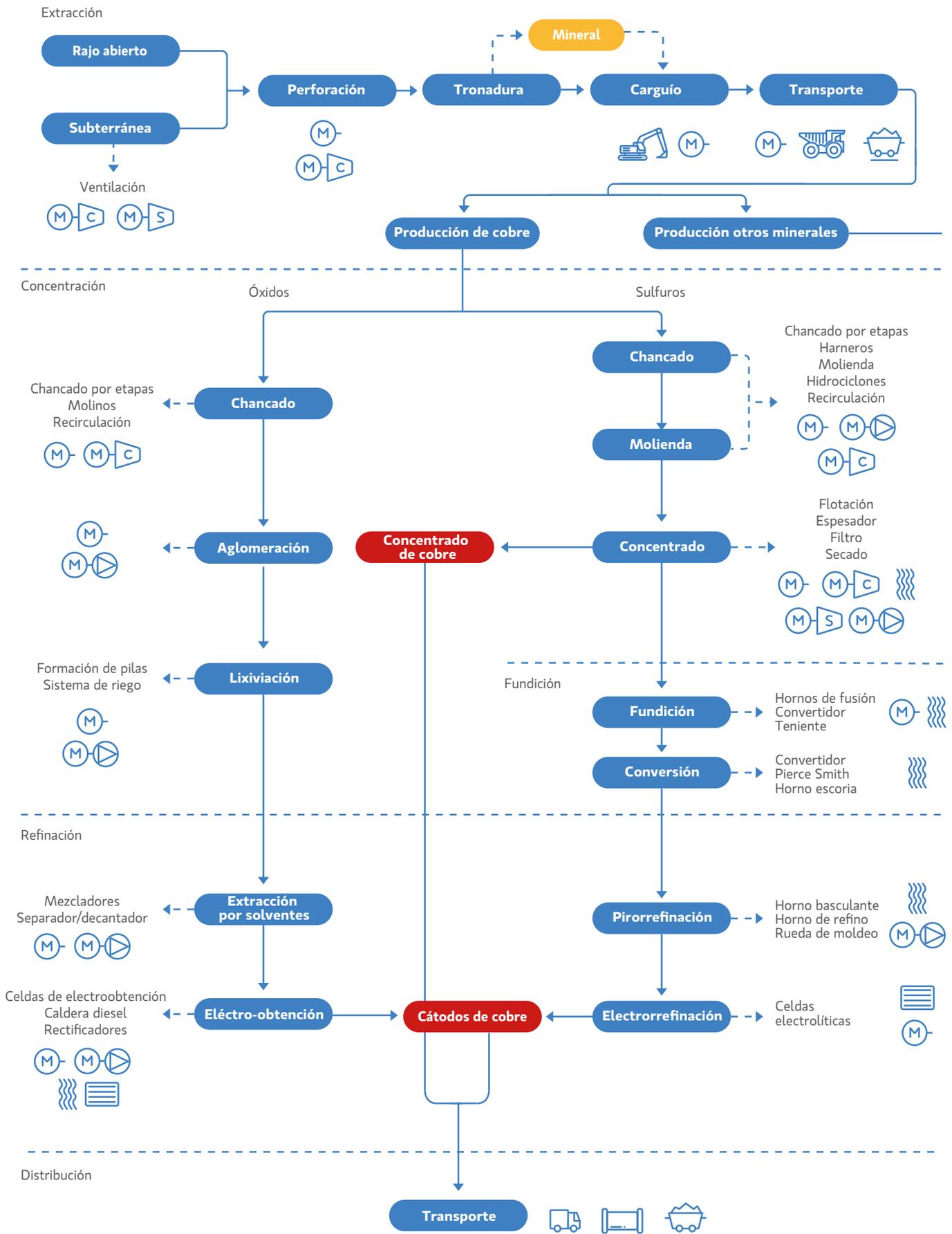
## 1.2 Desarrollo de propuesta de AE

 Para elaborar una propuesta para el desarrollo de la auditoría, el equipo auditor candidato a su realización, debe identificar aspectos relevantes de las instalaciones que impacten en la definición de recursos que sean necesarios para responder a los requerimientos expuestos por la organización.

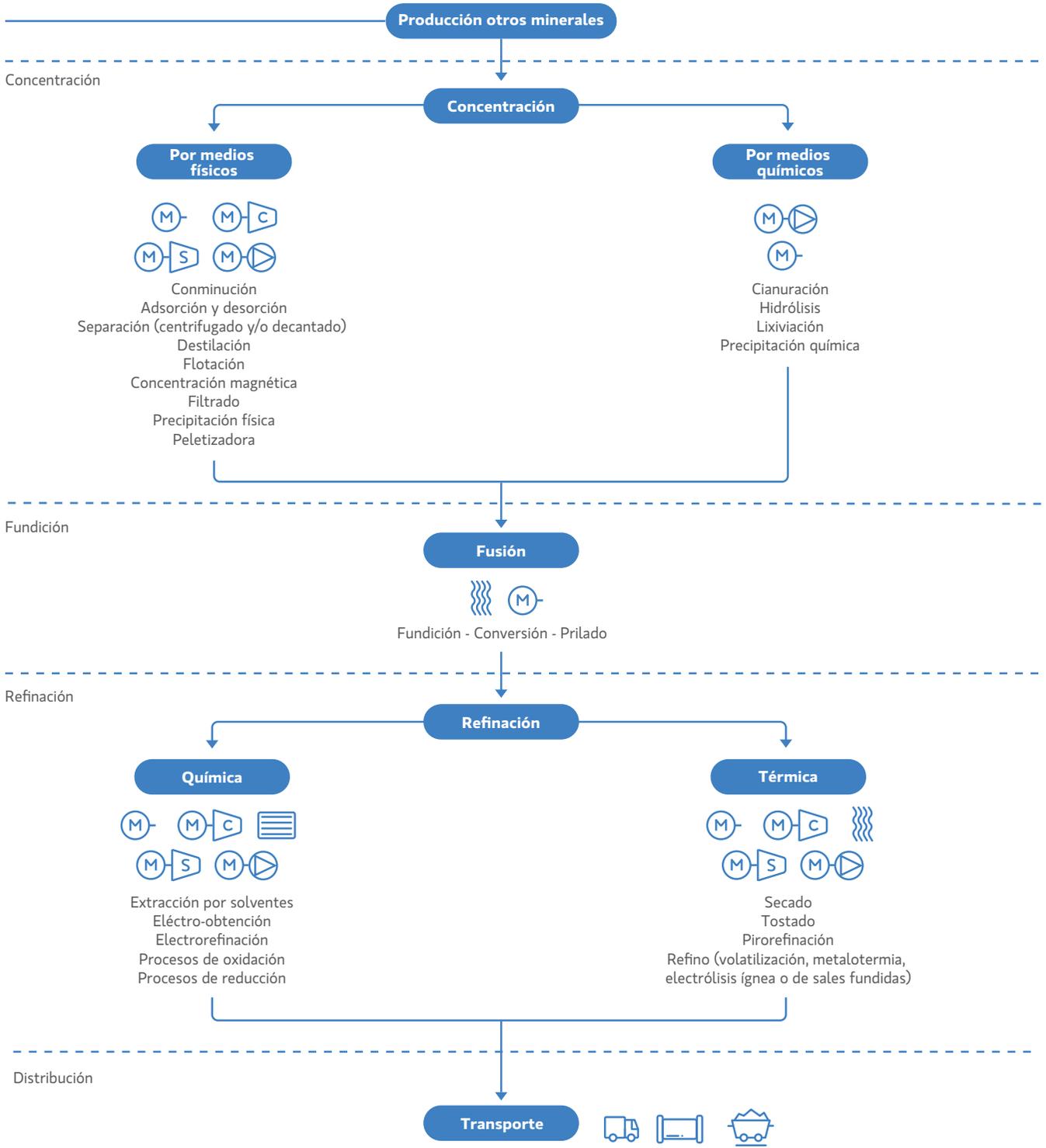
Esta instancia puede ser desarrollada en espacios de consulta y/o visitas previas, en el caso de licitaciones, o por medio de comunicaciones y/o visitas coordinadas con la organización en caso de que el contacto se haya realizado directamente entre las partes. El objetivo es identificar las principales características de las instalaciones y de los equipos, procesos y sistemas incluidos, ya que con ello se podrá realizar una cuantificación más acertada de los recursos que serán requeridos por el equipo auditor, para realizar el diagnóstico energético en base a los requerimientos, los alcances definidos por la organización y las actividades que serán necesarias incluir para cumplir con ellos.

Para orientar la identificación de los elementos de la faena minera que la organización solicita incluir en la auditoría, se presentan los Esquemas 3, 4 y 5 que muestran diagramas de los principales sistemas presentes en el rubro<sup>3</sup>. El Anexo 2 entrega una breve descripción de estos sistemas y un listado de los equipos que pueden estar presentes en las instalaciones.

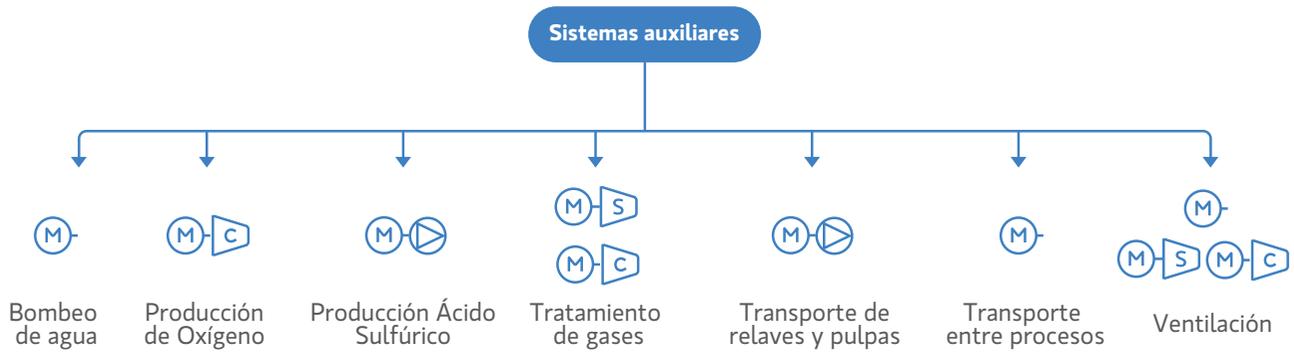
3. Si la organización auditada desea incluir edificios con usos administrativos y/o vehículos de transporte en la auditoría, se sugiere revisar *Energuías del rubro Edificación y Transporte*, respectivamente.



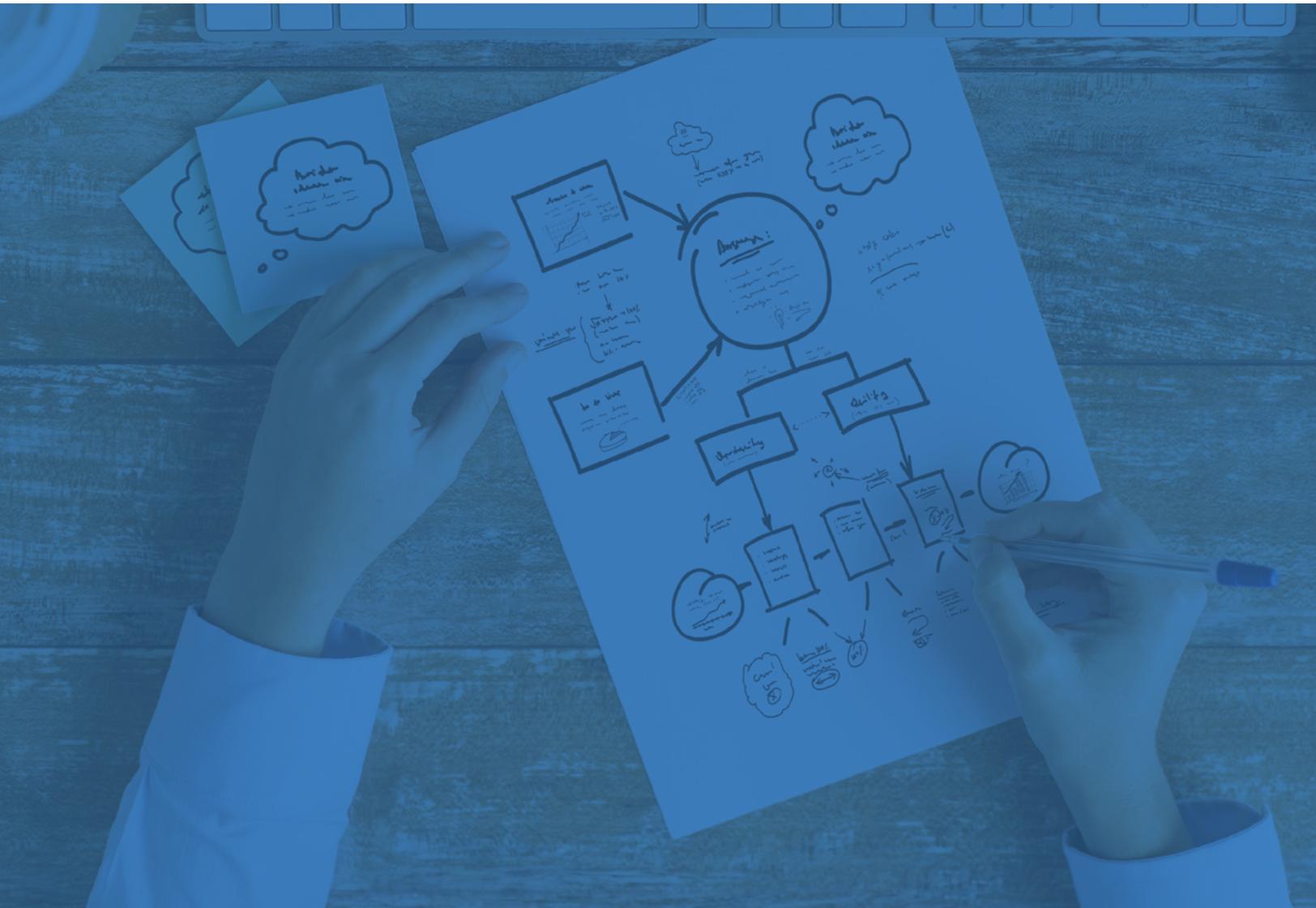
Esquema 3. Diagrama de procesos de minería del cobre.



Esquema 4. Diagrama de procesos de minería de otros minerales.



Esquema 5. Diagrama de procesos auxiliares de minería.



Una vez realizada la verificación de los alcances considerados en la AE y la identificación de los principales aspectos de las instalaciones y sistemas que serán auditados, el equipo auditor contará con antecedentes para definir las tareas a desarrollar durante el diagnóstico, estimar los tiempos necesarios para su realización y cuantificar los costos de su ejecución.

Las definiciones realizadas por el equipo auditor se presentan en una propuesta u oferta a la organización auditada para su evaluación. Algunos de los puntos que deben estar incluidos en este documento corresponden a:

- Equipo de trabajo que desarrollará la auditoría, que deberá contar con un jefe de proyecto e ingenieros y/o técnicos para su desarrollo.
- Extensión de tiempo necesario para la realización de la AE.
- Metodología del desarrollo de la AE.
- HH que dedicará el equipo auditor por actividad y por tipo de profesional.
- HH requeridas de la organización auditada y el tipo de apoyo necesario del personal para la realización de consultas, intervención de equipos, mediciones, etc.
- Información que será solicitada de las áreas a incluir en la AE.

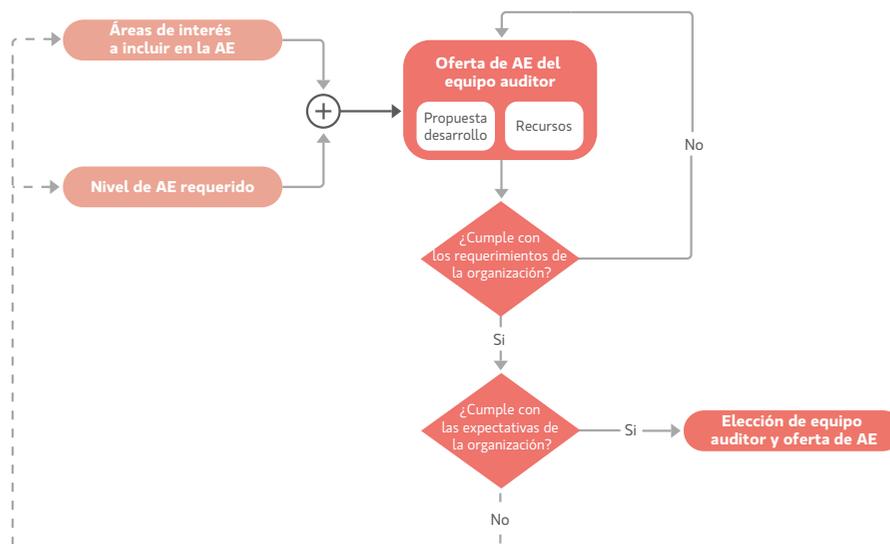
### 1.3 Elección de propuesta de AE



Durante la recepción y evaluación de las ofertas para el desarrollo de la AE, la organización define si estas responden a los requerimientos que fueron definidos y si se ajusta a las expectativas de recursos que deberá asignar para su realización.

El flujo de información que se desarrolla en este proceso se presenta en el Esquema 6, donde a partir de los requerimientos de la organización el equipo auditor presenta la propuesta del desarrollo de la auditoría y los recursos para su realización. Si esta no cumple con lo requerido, la organización puede definir si solicita al equipo auditor revisar su oferta o evaluar a otros candidatos. Si se presentan propuestas que cumplen con lo requerido, pero no se ajustan a las expectativas de recursos, la organización podría realizar una redefinición de los requerimientos expuestos que permita impactar en los costos de la auditoría solicitada, principalmente reevaluando las áreas de interés a incluir en la AE y/o el nivel de auditoría requerido.

Finalmente, cuando la organización define que cuenta con una propuesta que cumple con sus requerimientos y expectativas de recursos, realiza la elección de la oferta y equipo auditor para el desarrollo de las siguientes etapas de la AE.



Esquema 6. Flujo de información para elección de oferta y equipo auditor

## 2. Etapa Planificación AE

Para desarrollar la programación de los tiempos y tareas consideradas para el cumplimiento de los alcances y niveles de AE que fueron establecidos, este capítulo detalla la información que debe ser solicitada a la organización, la utilidad y principales objetivos de realizar visitas iniciales y reuniones de coordinación, y aborda aquellos criterios relevantes para elaborar la planificación del *Trabajo en terreno*. El cierre de esta etapa permite al equipo auditor y a la organización auditada contar con fechas y horarios definidos para la ejecución de actividades en terreno. Posibilitando al equipo auditor optimizar los tiempos de trabajo, y a la organización auditada, la comunicación a su personal de las actividades que se desarrollarán.

### 2.1 Solicitud y recopilación de información requerida

Para un correcto análisis es de gran importancia recopilar la información con que ya cuenta la organización auditada y que permita respaldar su comportamiento energético. Su requerimiento se encuentra asociado al nivel de AE que se haya establecido en la etapa de preparación, tal como se muestra en la Tabla 4, donde se indica si la información a solicitar es deseable o necesaria.

La recopilación de esta información, permite obtener resultados de mayor utilidad, al comparar, validar y complementar aquella que se obtenga en el *Trabajo en terreno*.



Tabla 4. Información requerida según nivel de AE

| INFORMACIÓN REQUERIDA             | DESCRIPCIÓN  | Nivel de AE |    |    |    |
|-----------------------------------|--|-------------|----|----|----|
|                                   |  | 0           | 1  | 2  | 3  |
| Zonificación                      | Nombre y delimitación de espacios  |             | ●● | ●● | ●● |
| Facturación energéticos           | Facturas eléctricas y de combustibles de 36 meses (mínimo 12 meses). Si aplica incluir contrato de cliente libre o condiciones con proveedor.  |             | ●● | ●● | ●● |
| Información de equipos            | Cantidad y especificaciones técnicas   |             | ●● | ●● | ●● |
|                                   | Horas de uso, lógica de operación  |             | ●● | ●● | ●● |
| Variables del consumo energético  | Data de 36 meses (mínimo 12 meses) anteriores de producción que indiquen tipo de producto procesado (idealmente por proceso)   |             | ●● | ●● | ●● |
|                                   | Historial de la ley y dureza del mineral procesado de los últimos 24 meses   |             | ●  | ●● | ●● |
|                                   | Caracterización del mineral chancado de mínimo 12 meses (tamaños de partículas, distribución granulométrica, porcentaje de humedad, entre otros)   |             |    | ●  | ●● |
|                                   | Data de variables de operación de procesos específicos <sup>4</sup> de los últimos 24 meses que sean registrados por la organización (P80/F80, razón de concentración del mineral, tasa de flujo del mineral, porcentaje de recirculación del mineral, densidad de corriente, temperaturas de operación, entre otros). |             |    |    | ●● |
|                                   | Historial de condiciones meteorológicas en la faena minera de los últimos 12 meses (temperaturas, humedades, precipitaciones, entre otros)   |             |    |    | ●  |
| Indicadores de consumo energético | Indicadores de desempeño energéticos previos si existieran   |             | ●  | ●● | ●● |
| Información de sistemas           | Planos y diagramas de sistemas energéticos   |             | ●  | ●● | ●● |
|                                   | Instrumentos existentes o equipos de mediciones que permiten levantar información relevante para la AE   |             | ●  | ●● | ●● |
| Información complementaria        | Data de producción, impulsión y tratamiento de agua para procesos mineros  |             |    | ●● | ●● |
|                                   | Proyectos con impacto en el consumo energético   |             |    | ●● | ●● |
|                                   | Mediciones o auditorías energéticas previas  |             |    | ●● | ●● |
|                                   | Planos y diagramas otras especialidades  |             |    | ●  | ●● |
|                                   | Mantenimiento de equipos   |             |    | ●  | ●● |
|                                   | Certificaciones  |             |    | ●  | ●● |

**Simbología:** Requerimiento de información. ● Deseable ●● Necesario

4. Que permitan ajustar las variables energéticas además de identificar puntos de operación óptimos de los procesos incluidos en la AE.

En el proceso de solicitud y recopilación de esta información, se presentan las siguientes responsabilidades listadas en la Tabla 5.

Tabla 5. Responsabilidades en la solicitud y recopilación de información

|  <b>Equipo Auditor</b>  |  <b>Organización Auditada</b>  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comunicar a la organización auditada la información requerida y el tiempo idóneo de entrega</li> <li>• Precisar la información que sea necesaria antes de la ejecución del <i>Trabajo en terreno</i></li> <li>• Revisar la información entregada e informar cuando esta no se encuentre completa o no responda a lo solicitado</li> <li>• Proponer cómo trabajar aquella información necesaria que presente dificultades para su obtención</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dar prioridad a su recopilación</li> <li>• Realizar entregas parciales a medida que se recopile cada ítem solicitado</li> <li>• Efectuar consultas necesarias al equipo auditor sobre los detalles o especificaciones de la información requerida en que existan dudas</li> <li>• Comunicar al equipo auditor sobre aquella información que no se encuentre disponible</li> </ul> |

## 2.2 Recorrido inicial y reuniones de coordinación

De acuerdo al nivel de complejidad de las instalaciones que se identificó durante la preparación de la AE de la faena minera, el equipo auditor debe definir si es necesario realizar un recorrido inicial en las instalaciones con el objetivo de evaluar aspectos técnicos que influyan en las definiciones del *Plan del trabajo en terreno*.

El recorrido inicial permite:

- Establecer contacto entre los actores que participarán en el *Trabajo en terreno*.
- Precisar detalles de la información entregada durante la preparación de la AE.
- Reconocer la zonificación, sistemas y/o equipos que serán auditados.
- Realizar consultas generales de horarios y operación de los sistemas.
- Identificar ciclos representativos de operación de los sistemas.
- Identificación de equipos de difícil acceso como equipos en altura, espacios confinados, entre otros.
- Identificar instrumentación de medición existente.
- Evaluar las condiciones para instalar equipos de medición.
- Identificar las áreas de acceso restringido para gestionar permisos de acceso.
- Identificar aspectos de seguridad que deben ser considerados.

Si las partes, en conjunto, establecen que no es necesario realizar un *Recorrido inicial*, el equipo auditor puede desarrollar el *Plan de trabajo en terreno* de acuerdo a los antecedentes de la caracterización preliminar, la *Información requerida* que entregue la organización auditada y consultas específicas que contribuyan a la definición detallada de las tareas a desarrollar en terreno.

La reunión de coordinación permitirá establecer fechas y horarios en que se pueda visitar la faena minera para ejecutar el *Trabajo en terreno*. Esta actividad puede ser presencial, si se realiza el *Recorrido inicial* o por los medios de contacto que se hayan definido entre el equipo auditor y la organización auditada.

## 2.3 Plan de trabajo en terreno

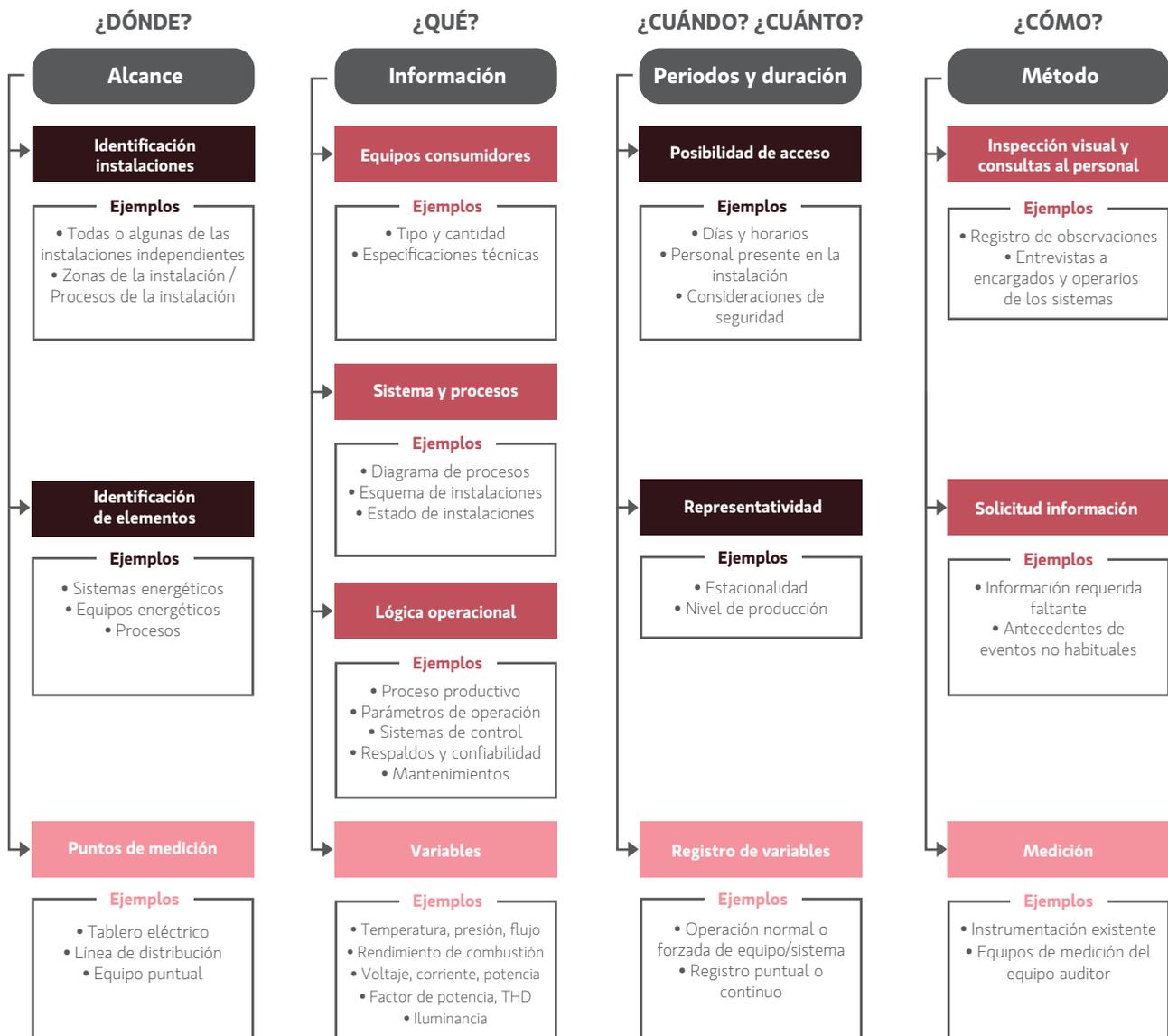
Generar un plan de trabajo en terreno permite estructurar tareas, tiempos y fechas que faciliten la coordinación entre las partes y optimicen los tiempos de *Ejecución de la AE*. Este plan se puede separar en las secciones de *Levantamiento de información y medición del uso de la energía*, de acuerdo al nivel de AE.

En primer lugar, se debe identificar los objetivos del trabajo en terreno que permitan orientar la definición de tareas particulares para su desarrollo, las cuales deben ser planificadas respondiendo a las preguntas de ¿dónde se realizarán?, ¿qué información se busca obtener?, ¿cuándo y por cuánto tiempo? y ¿cómo se obtendrá?

El Esquema 7 en la próxima página, presenta criterios que pueden ser considerados para responder a cada una de estas preguntas.

## Objetivo del trabajo en terreno

- Comprensión de procesos
- Evaluación de equipos energointensivos
- Revisión de consumo energético
- Factibilidad técnica
- Estimación de ahorros



**Simbología:** ■ Criterio común ■ Criterio de medición del uso de la energía ■ Criterio de levantamiento de información

Esquema 7. Criterios para la planificación del trabajo en terreno

Adicional a los criterios presentados, es de importancia para una correcta planificación considerar los siguientes aspectos:

- La *Información requerida* que no pueda ser entregada por la organización auditada, y que es necesaria para el cumplimiento de objetivos de la AE, debe ser evaluada en conjunto con la organización buscando establecer un plan de acción que puede incluir realizar tareas durante el *Trabajo en terreno* para su obtención o establecer criterios para su tratamiento durante el *Análisis de situación actual*.
- Cuando un equipo o sistema de interés ya cuenta con instrumentos de medición que permitan levantar datos de utilidad para los análisis de la AE, se debe verificar que estos operan correctamente por medio de las consultas al personal pertinente o evaluar los requerimientos de comprobación por medio de equipos de medición del equipo auditor.
- La representatividad define el periodo en que, considerando los factores que condicionan el consumo energético, se obtiene información concluyente de este. Para las mediciones, define el ciclo de menor tiempo que abarque las principales fluctuaciones de las variables a registrar y que permiten extrapolar los resultados al periodo de evaluación requerido.
- De acuerdo al tamaño, complejidad de las instalaciones y nivel de AE acordado, el auditor puede requerir realizar más de una visita a terreno.

La planificación deberá ser entregada a la organización auditada, para que esta comunique de forma oportuna las visitas a terreno al personal que debe estar presente durante su desarrollo y dé aviso al equipo auditor en caso de presentarse eventos que dificulten o impidan la realización de estas, para ser reprogramadas siempre que se esté dentro de los plazos establecidos del desarrollo de la AE.

Es importante que la organización auditada informe a sus integrantes del desarrollo de la AE y las actividades que se llevarán a cabo para comprometer su participación y colaboración



# 3. Etapa Ejecución AE

Durante la ejecución de la AE se obtienen los antecedentes en terreno de los sistemas y equipos energéticos incluidos en la AE, que permitan identificar la situación actual del consumo energético por medio del *Tratamiento de información*, e identificar las oportunidades para mejorar la eficiencia por medio del *Análisis de MMEE*. A lo largo de este capítulo se entregan criterios y lineamientos para la realización de cada una de estas actividades. Al finalizar esta etapa, se cuenta con los resultados procesados y validados que respondan al nivel de AE desarrollado y los requerimientos particulares de la organización auditada.

## 3.1 Trabajo en terreno

El *Trabajo en terreno*, se realiza por medio del *Levantamiento de información y medición del uso de la energía*. Ambas actividades se deben enfocar en caracterizar equipos, sistemas y prácticas de operación. Además, se analizan los aspectos que puedan incidir en la evaluación de medidas a implementar como el estado de instalaciones, espacios disponibles, entre otros.

La Tabla 6 entrega aspectos que se deben determinar durante el trabajo en terreno y que son aplicables a todo tipo de equipo y sistema que se incluya en la AE. Destaca la relevancia de identificar los equipos que constituyen un sistema, sus características particulares y la interacción que existe entre ellos para el posterior *Análisis de situación actual*.

Durante las tareas del trabajo en terreno existen riesgos para el personal involucrado, que pueden estar presentes al realizar mediciones en tableros eléctricos, exposición a altas temperaturas o tareas que deban desarrollarse en condiciones naturales de riesgo (altura, espacios confinados, entre otros). Para abordar esto la organización auditada debe informar claramente sus requerimientos de seguridad, mientras que el equipo auditor deberá presentar los procedimientos que utiliza para el desarrollo de estas actividades, utilizando los elementos de protección personal que apliquen en cada caso.

Tabla 6. Información requerida para la caracterización de equipos, sistemas e instalaciones

| OBJETIVO  | INFORMACIÓN  |
|---|--|
| Caracterizar equipo                                 | Datos técnicos   |
|   | Uso final y sistema al que pertenece                       |
|   | Horas de uso (factor de uso)                               |
|   | Punto de operación y factor de carga                       |
|   | Lógica operacional particular del equipo                   |
|   | Nivel de mantenimiento                                     |
| Caracterizar sistema<br>(Interacción entre equipos) | Perfil de demanda  |
|   | Equipos que lo integran                                    |
|   | Lógica operacional del sistema                             |
|   | Sistema de control   |
| Caracterización de instalaciones y otros            | Medios de distribución y acumulación                       |
|   | Estado   |
|   | Espacios físicos disponibles                               |
|   | Tableros eléctricos generales y de distribución existentes |

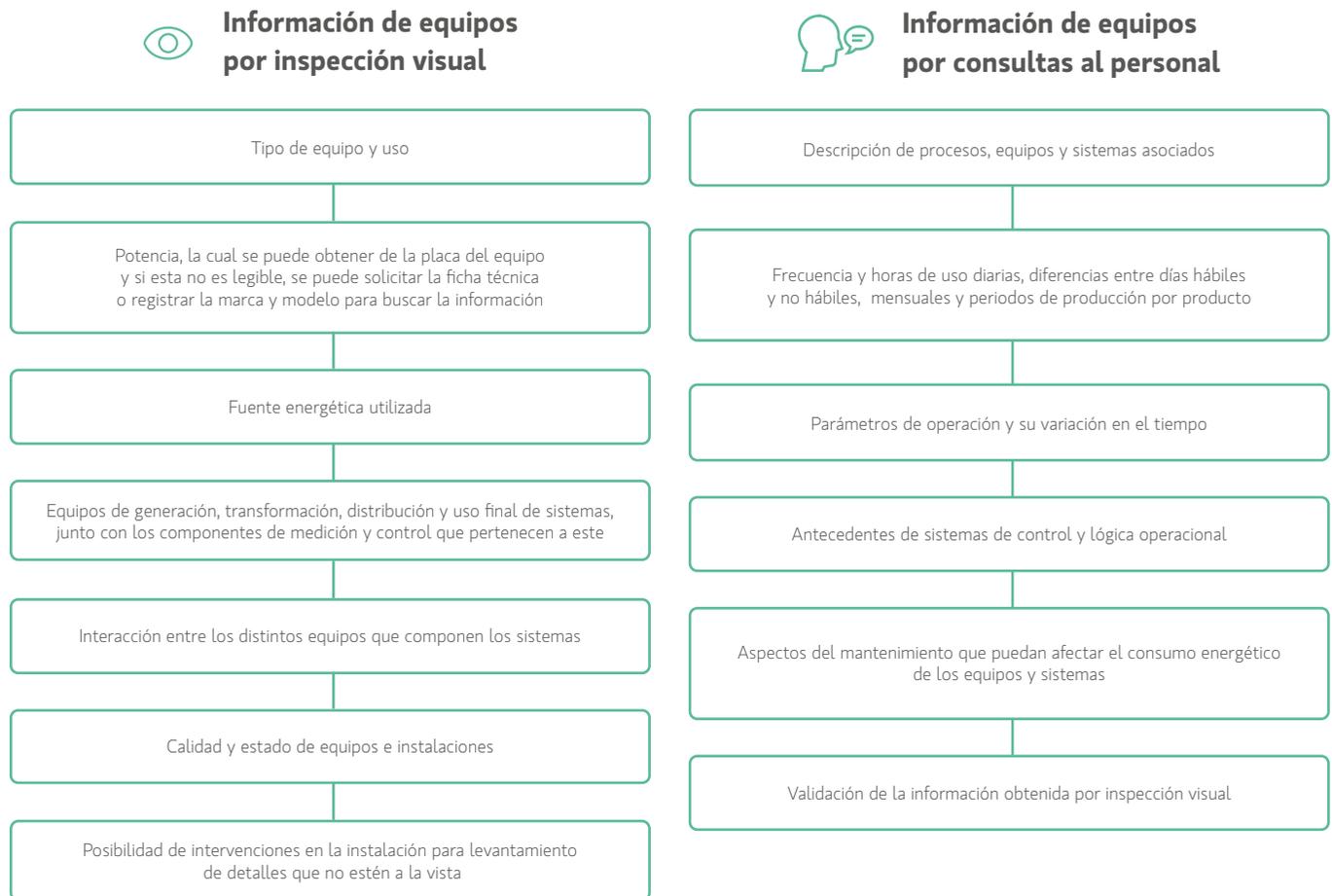
### 3.1.1 Levantamiento de información



Esta actividad permite obtener información para la caracterización de equipos, sistemas y procesos por medio de inspecciones visuales o consultas al personal de la organización auditada. La información que se debe obtener durante el levantamiento de información para los equipos, procesos y sistemas incluidos en la AE se muestra en la Tabla 7.

Esta información se debe levantar para todos los equipos y sistemas incluidos en los alcances de la AE, la que será contrastada con la información enviada por la organización auditada, con el fin de verificar su coherencia e identificar diferencias a considerar durante los análisis. Teniendo como base la información a levantar indicada en la Tabla 6 y Tabla 7, que listan aspectos transversales a cualquier equipo y sistema, es importante dar énfasis a datos particulares de los sistemas y procesos de la industria minera que permitan un acabado levantamiento de los antecedentes de las instalaciones. Algunos de estos aspectos se indican en la página siguiente:

Tabla 7. Consideraciones del levantamiento de información



### Extracción

- Sistemas de control y parámetros utilizados en el sistema de ventilación en minas subterráneas, variación en el tiempo de las longitudes de túneles a ventilar.
- Herramientas de gestión y control de tonelaje transportado en maquinaria minera.
- Distancias de transporte de materias primas y tecnología utilizada.
- Identificar aspectos de gestión de flota minera, nivel de utilización, tiempos de ralentí, etc.

### Concentración

- Existencia de ajustes de operación en base a ley y dureza del mineral.
- Identificación de F80/P80 en procesos físicos de reducción de tamaño.
- Tiempos de residencia del material en procesos
- Planificación y operación de equipos acorde a su capacidad nominal de producción.
- Identificación de tecnologías de lixiviación utilizadas.

### Fundición

- Identificación de tecnologías de hornos utilizadas.
- Existencia de recuperación de calor a partir de gases de escape o rueda de moldeo.

### Refinación

- Tecnología utilizada para calentar electrolito.
- Ocurrencia de cortocircuitos y pérdidas a tierra en cubas electrolíticas y de electroobtención.

### Transporte entre procesos

- Tecnologías utilizadas de acuerdo a las características del material.
- Identificar prácticas operacionales en el manejo de materiales (tolvas y silos golpeados, problemas de flujos, etc.).
- Operación de equipos en base a la demanda.

### Bombeo de agua

- Identificar fuente, requerimiento de suministro y usos finales.
- Identificar operación en base a demanda, dimensionamiento de equipos y distancias requeridas de transporte.

### Transporte de relaves y pulpas

- Tecnologías y dimensionamiento de equipos.
- Características del material transportado
- Distancia a tanques de relave, puertos de embarque, etc.

En el Anexo 3 se presentan planillas de ejemplo para el levantamiento de información.

En mina a rajo abierto el principal consumo corresponde a combustible y en mina subterránea el mayor consumo es eléctrico

En minería los procesos de conminución y electroobtención concentran el mayor consumo eléctrico

### 3.1.2 Medición del uso de la energía



Las mediciones tienen como objetivo evaluar el desempeño de los sistemas energéticos con mayor precisión, de acuerdo al alcance acordado con la organización auditada y el *Plan de trabajo en terreno*. La Tabla 8 muestra algunas mediciones que aplican a los distintos sistemas de consumo presentes en la faena minera.

Según se definió previamente en el *Plan de trabajo en terreno*, se puede identificar un ciclo representativo que diferencie entre días hábiles y no hábiles, meses de producción, el producto a procesar, variabilidad de operación del equipo y sistema a caracterizar, determinando mediciones diarias o semanales con frecuencias de registro de horarios o quinceminutales, de acuerdo a los requerimientos definidos en los alcances de la AE.

Identificar este ciclo del consumo de energía como referencia para definir los periodos de medición de las variables, permite obtener data representativa que se pueda procesar en base a un sistema de extrapolación para llevarlo a consumos mensuales y anuales. Para lo anterior, es adecuado complementar los análisis con los registros que puedan existir de la organización auditada sobre las variables de operación relacionadas a los equipos y sistemas en estudio.



Tabla 8. Instrumentos, variables y finalidad de las mediciones

| Equipos y/o sistema a caracterizar                  | Variable a medir  | Instrumentos o sistema de medición a utilizar   | Punto sugerido de medición  | Tipo de registro  | Uso de la medición  |
|---|---|---|---|---|---|
| Equipos, sistemas y/o procesos de consumo eléctrico | Voltaje y/o corriente   | Amperímetro   | Tablero eléctrico general, protección en tablero eléctrico del equipo o sistema | Puntual   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterización de potencia y consumo energético de equipos con operación de potencia constante</li> </ul>   |
|   | Voltaje, corriente, potencia y FP                               | Registrador de consumo  |   | Continuo  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterización de potencia y consumo energético de equipos o sistemas</li> <li>• Análisis de facturación</li> <li>• Medición para análisis de calidad de energía</li> </ul> |
|   | Voltaje, frecuencia, corriente, potencia, FP, armónicos y/o THD | Analizador de redes   |   | Continuo  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterización de potencia y consumo energético de equipos o sistemas</li> <li>• Análisis de facturación</li> <li>• Medición para análisis de calidad de energía</li> </ul> |
| Equipos y sistemas térmicos para procesos           | Caudal  | Flujómetro  | Salida y/o retorno por equipo y/o sistema, tramos de piping                     | Continuo  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterización de potencia y consumo energético</li> </ul>  |
|   | Temperatura   | Termómetro infrarrojo   | Salidas y retornos a consumo  | Puntual   |   |
|   |   | Termómetro de contacto  |   | Puntual/continuo  |   |
|   |   | Cámara termográfica   |   | Puntual   |   |
|   | Cámara termográfica   | Superficie equipos de generación, acumulación y/o consumo de calor                          | Puntual   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Detección de irregularidades térmicas por degradación de material refractario, incrustaciones, deficiencia de aislación o filtraciones</li> <li>• Análisis de pérdidas de energía térmica</li> </ul> |   |
|   |   | Pirómetro   |   |   |   |
| Presión   | Manómetro   | Salidas, retorno de consumo y línea de distribución, además en succión y descarga de bombas | Puntual   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificación de condiciones óptimas de operación para equipos consumidores y generadores</li> <li>• Verificación de pérdidas en circuitos</li> </ul>   |   |
| Equipos de combustión                               | Composición de gases de escape                                  | Analizador de gases   | Ducto de emisión de gases del equipo  | Puntual/continuo  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluación de cumplimiento con normativa</li> <li>• Eficiencia de combustión</li> </ul>  |
| Equipos y sistemas de renovación de aire            | Velocidad del aire  | Anemómetro  | Zona a verificar  | Puntual   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluación de caudal de aire de ventilación</li> <li>• Evaluación de cumplimiento con normativa</li> <li>• Evaluación de confort higrotérmico</li> </ul>                     |
|   | Temperatura ambiental   | Termómetro  |   | Puntual   |   |
|   | Humedad ambiental   | Higrómetro  |   | Puntual   |   |
|   | Medición calidad de aire (PPM CO, CO <sub>2</sub> )             | Medidor calidad del aire  |   | Puntual   |   |
| Sistema de iluminación                              | Iluminancia   | Luxómetro   | Puestos de trabajos, pasillos, oficinas, etcétera                               | Puntual   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluación de confort lumínico</li> <li>• Evaluación de cumplimiento con normativa</li> </ul>  |
|   | Potencia  | Amperímetro   | Conexión eléctrica luminaria que incluya equipo auxiliar                        | Puntual   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Obtención de factor de equipo auxiliar</li> </ul>  |
| Aire comprimido y/o vacío                           | Presión   | Manómetro   | Línea de distribución   | Puntual   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterización de potencia y consumo energético</li> <li>• Evaluación de pérdidas en la línea</li> </ul>  |
|   |   | Vacuómetro  |   |   |   |
| Motores   | Aceleración y velocidad en distintos ejes                       | Medidor de vibraciones  | Eje del motor   | Puntual   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluación del nivel de mantenimiento y pérdidas por falta de alineación de ejes</li> </ul>  |
|   | Velocidad   | Tacómetro   | Eje motor   | Puntual   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluación de la velocidad a rotación en operación nominal de los motores</li> </ul>   |
|   | Temperatura   | Cámara termográfica   | Superficie de equipo  | Puntual   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Detección de irregularidades mecánicas o eléctricas</li> </ul>   |
| Conexión interno en tableros eléctricos             | Temperatura   | Cámara termográfica   | Tablero general y de distribución   | Puntual   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Detección de irregularidades en conexiones o sobrecarga de componentes</li> </ul>  |
| Espacio físico y distribución de equipos            | Longitudes  | Distanciómetro /odómetro  | Zona a caracterizar   | Puntual   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Realización de planimetría básica</li> </ul>   |
|   | Longitudes  | Escaner 3D o similar  | Zona a caracterizar   | Continuo  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Realización de planimetría detallada</li> </ul>  |

### 3.2 Tratamiento de información y análisis de situación actual

En esta actividad se procesa toda la información entregada por la organización y obtenida durante el *Trabajo en terreno* para determinar el escenario actual del consumo energético.

Durante el tratamiento de información, el conocimiento de las instalaciones por parte de la organización auditada será clave para identificar errores u omisiones en los datos trabajados, identificando brechas que se deban abordar por medio de nuevas visitas a terreno, mediciones o comprobación de antecedentes, según sea requerido.

Para la obtención de conclusiones consistentes respecto a la situación actual del consumo energético, es necesario definir el periodo de tiempo que será utilizado para todos los análisis de información, el que habitualmente corresponde a un periodo correlativo de 12 meses.

#### 3.2.1 Análisis de equipos y sistemas



##### a. Caracterización de demanda y consumo energético

| Información requerida  |  |
|--|--|
| Nivel 1  | Niveles 2 y 3  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Datos técnicos de equipos</li> <li>Horas de uso</li> <li>Factor de carga</li> <li>Lógica operacional</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Datos técnicos de equipos</li> <li>Horas de uso</li> <li>Factor de carga</li> <li>Lógica operacional</li> <li>Mediciones</li> </ul> |

La caracterización de la demanda energética es la determinación del nivel de potencia requerida e instalada. Es de utilidad para la obtención del *Consumo energético* de los equipos y la evaluación técnica de MMEE.

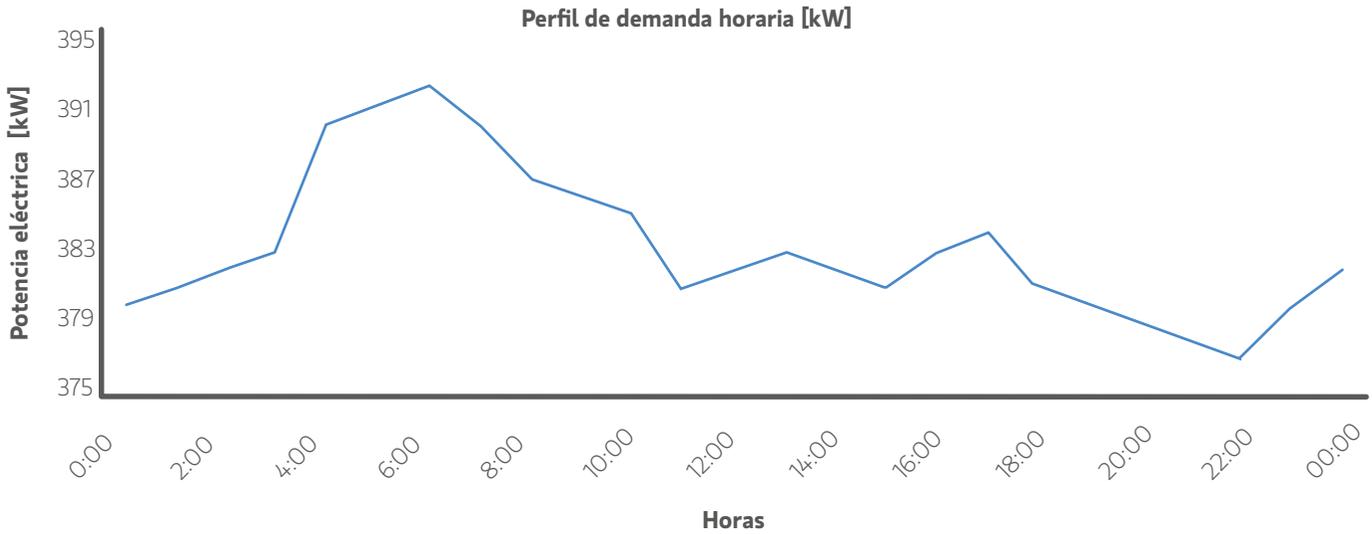
Por otra parte, la caracterización del consumo energético es la obtención de la cantidad de energía consumida por cada equipo o sistema. Es de utilidad para el *Análisis de distribución de potencia, energía y balance de energía*.

Para desarrollar la caracterización de la demanda, se debe diferenciar el tipo de operación del equipo, dando prioridad a los equipos que representen un uso significativo de la energía para la institución.

El tipo de operación puede ser:

- Operación a potencia nominal:** Solo cuenta con accionamiento de encendido y apagado. El valor a utilizar es la potencia indicada en los datos técnicos, o para casos más detallados (como auditorías nivel 2 y 3), corresponde al punto de operación de consumo que se obtiene por medio de mediciones.
- Operación a potencia modulada:** El equipo tiene accionamiento de encendido, apagado y regulación de potencia. El factor de carga (FC) puede mantenerse constante o cambiar durante la operación por regulación directa o indirecta. El valor a utilizar se obtiene a partir de:
  - Estimación de los FC en base a los antecedentes recopilados durante el *Trabajo en terreno*, definiendo si son valores constantes durante la operación o existen variaciones que puedan caracterizarse bajo rangos o promedios. En este caso se deben asociar horas de operación para cada FC estimado.
  - Obtención directa por medio de *Medición del consumo de energía* en un intervalo de tiempo representativo. Con ello se obtiene con precisión un *Perfil de demanda*, que detalla el FC en el tiempo, como en la Ilustración 1. Suele utilizarse para equipos con un uso significativo de la energía y es de utilidad para conocer la demanda mínima, máxima, promedio, evaluando la presencia de irregularidades respecto del consumo esperado, de acuerdo a los antecedentes de la *Caracterización del equipo*.

Ilustración 1. Perfil de carga de un equipo con operación a potencia modulada



Luego, para determinar el consumo energético se debe utilizar la caracterización de la demanda y las horas de operación totales del equipo durante el periodo de tiempo seleccionado para los análisis.

La Tabla 9 muestra un ejemplo donde se sistematiza y procesa la información previamente descrita para obtener los consumos energéticos de un sistema de conminución.

Si es necesario, se pueden realizar ajustes del consumo diferenciando horas de operación o niveles de FC para distintos ciclos de uso, que se identifiquen dentro del periodo de tiempo total del consumo, por ejemplo, diferenciando entre periodos de producción o parada de planta, o según estacionalidad.

Tabla 9. Ejemplo obtención de consumo anual

| Sistema de conminución                 | Detalle de sector | Equipo                | Potencia [MW] | Cantidad | Potencia total [MW] | Horas de uso [h/día]                   | Factor de carga | Consumo anual [MWh/año] |
|--|-------------------|-----------------------|---------------|----------|---------------------|--|-----------------|-------------------------|
| Molienda 1                             | SAG 1             | Molino SAG 1          | 13,1          | 1        | 13,1                | 24                                     | 85%             | 89.525,4                |
| Impulsión a hidrociclones 1            | Hidrociclones 1   | Bombas de impulsión 1 | 1,4           | 1        | 1,4                 | 24                                     | 83%             | 9.342,5                 |
| Impulsión a hidrociclones 2            | Hidrociclones 2   | Bombas de impulsión 2 | 1,4           | 1        | 1,4                 | 24                                     | 81%             | 9.117,4                 |
| <b>Potencia total sistema [MW/año]</b> |                   |                       |               |          | <b>15,9</b>         | <b>Energía total sistema [MWh/año]</b> |                 | <b>107.985,2</b>        |

**b. Análisis de procesos y sistemas**

| Información requerida   |   |
|---|---|
| Nivel 1   | Niveles 2 y 3   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterización de equipos</li> <li>• Caracterización de sistemas</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterización de equipos</li> <li>• Caracterización de sistemas</li> <li>• Mediciones</li> </ul> |

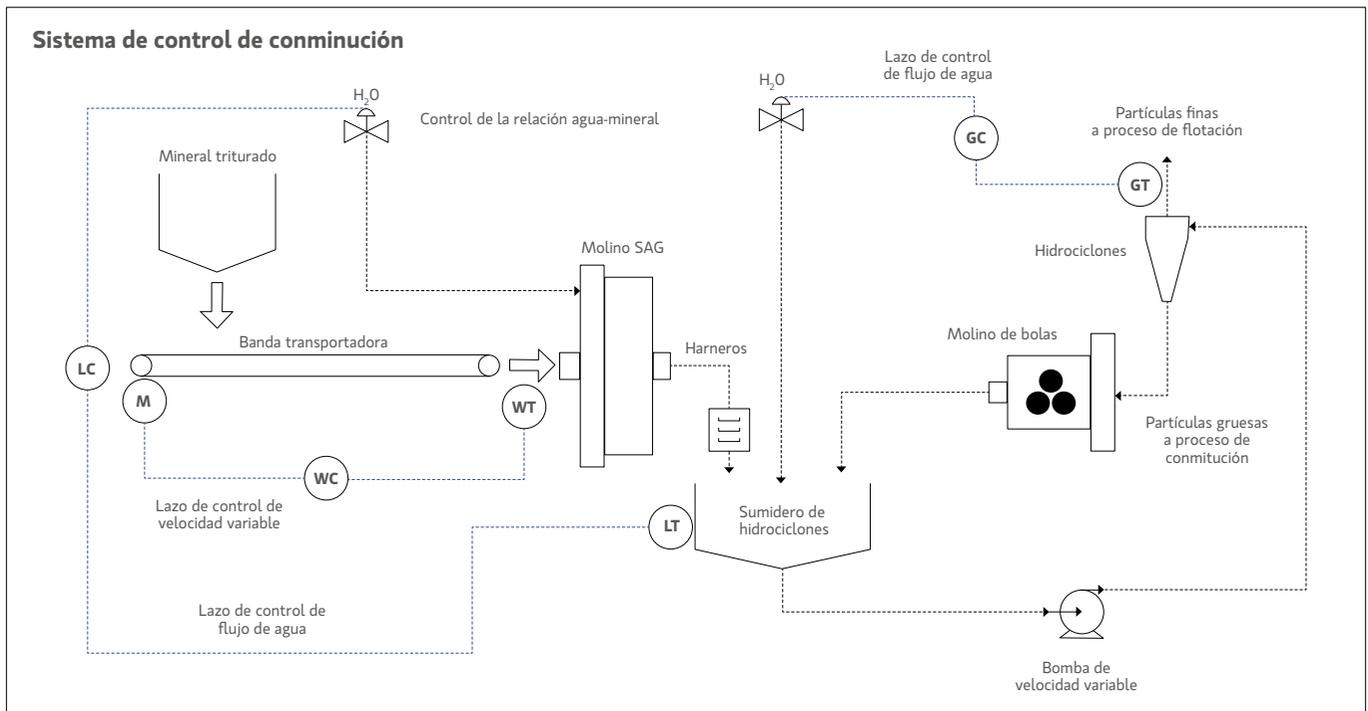
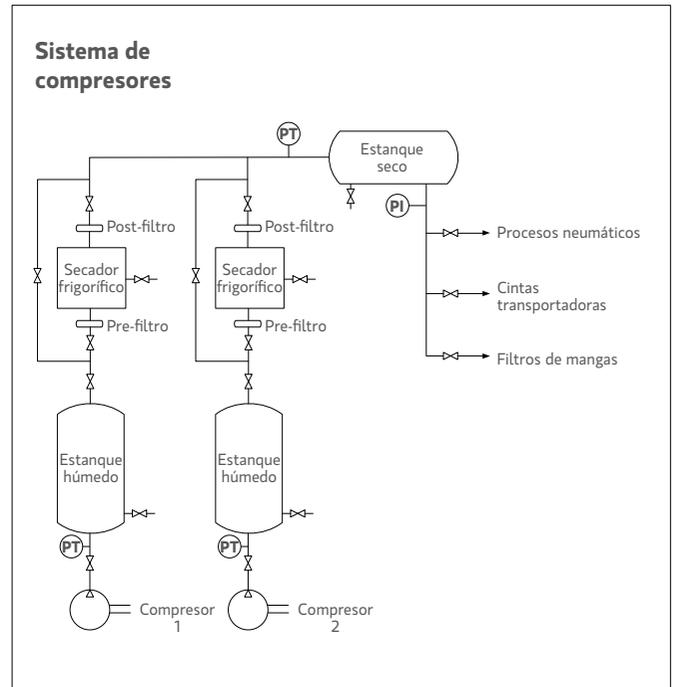
Es la representación de las instalaciones por medio de esquemas, planimetrías y/o diagramas que permitan identificar los aspectos específicos en cuanto a interacción de equipos y componentes, y/o distribución en el espacio. Es útil desarrollar este análisis de equipos y sistemas cuando la organización auditada no cuenta con el detalle de esta información o no está actualizada, y es necesaria para realizar la *Evaluación técnica* de las MMEE que se prioricen para estudios de mayor nivel de detalle, o haya sido acordado su levantamiento entre ambas partes durante la preparación de la AE.

Estos pueden abarcar todas las instalaciones, sistemas particulares o secciones de sistemas que sean de interés y utilidad para los objetivos de la auditoría.

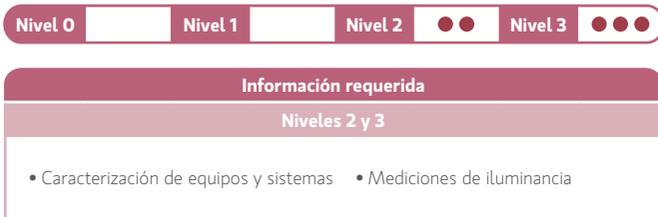
El nivel de detalle e información que incluyan debe ser coherente con los objetivos de la AE y su utilidad para el *Análisis de situación actual y evaluación de MMEE*.

La Ilustración 2 muestra un ejemplo de diagrama P&ID de un sistema de aire comprimido y un diagrama de control de la etapa de conminución.

Ilustración 2. P&ID sistemas aire comprimido y diagrama de control del procesos en conminución



**c. Análisis de normativas y referencias de buenas prácticas**



Según los requerimientos de la organización auditada, se pueden incluir análisis de las brechas que existen entre las instalaciones de la faena minera y lo exigido en normativas nacionales o las recomendaciones que aplican a algunos de los siguientes sistemas:

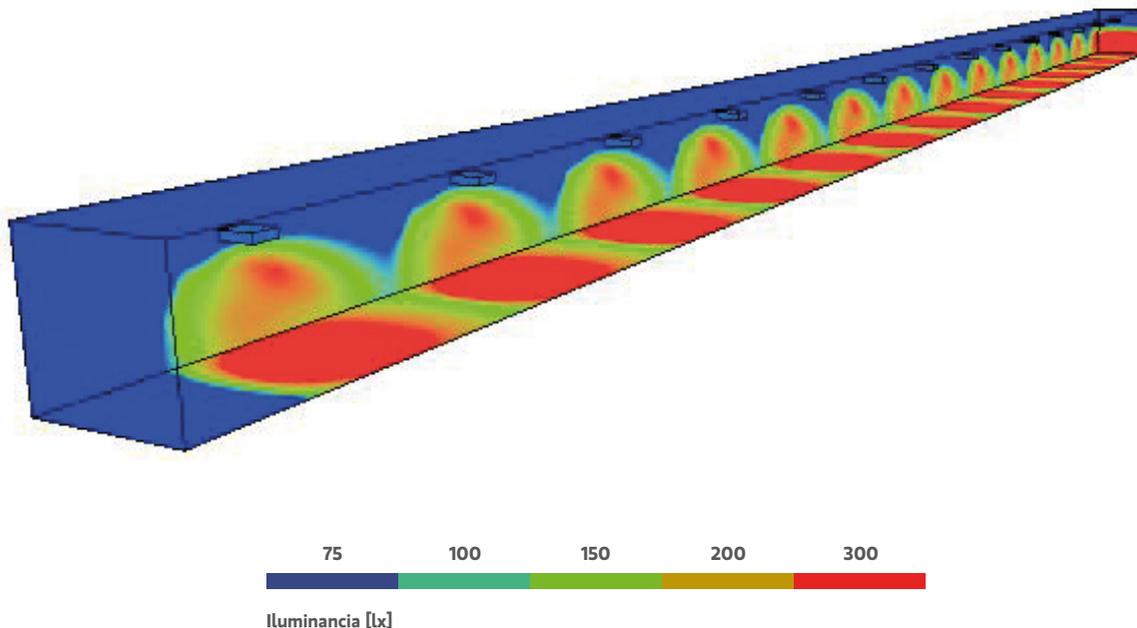
**Renovación de aire:** Se puede realizar un análisis de parámetros de ventilación y concentración de gases de acuerdo a las especificaciones del Decreto Supremo N°132 y de manera complementaria, se puede realizar análisis de confort higrotérmico comparando con las especificaciones del Decreto Supremo N° 594, utilizando las *mediciones de velocidad y calidad de aire, junto con las de temperatura y humedad ambiental*. Lo anterior tiene por objetivo verificar el correcto suministro de oxígeno para los trabajadores, la proporción de volumen de aire para los equipos de combustión, prevenir la formación de mezclas explosivas, diluir y extraer los gases tóxicos y polvos en suspensión; principalmente en la minería subterránea.

**Salas de calderas/instalaciones térmicas:** Se puede realizar un análisis de cumplimiento de normativa de instalaciones térmicas utilizando la inspección visual del *levantamiento de información de equipos*. En particular, en caso de generación de vapor, con el D.S. N° 10 (reglamento de equipos que utilizan vapor de agua) y del D.S. N° 66, en caso que la instalación cuente con suministro de gas como energético.

**Iluminación:** Se puede realizar un análisis lumínico contrastando la inspección visual del *Levantamiento de información de equipos*, y las *Mediciones de iluminancia realizadas con luxómetro*, con el Decreto Supremo 594. Para niveles más avanzados y según los alcances de la AE, se pueden realizar simulaciones para sistemas lumínicos que permiten analizar con mayor precisión los niveles de iluminancia. Un ejemplo de ello se muestra en la Ilustración 3.

De acuerdo a la conformidad existente respecto a la normativa o referencia para la evaluación del sistema, se pueden determinar los requerimientos de mejora particulares a cada sistema. Para otras referencias de normativas o guías, se puede revisar en Anexo 4. De ser requerido, se recomienda realizar análisis de brechas para el cumplimiento de las exigencias y/o recomendaciones de estos documentos.

Ilustración 3. Ejemplo de simulación lumínica



### 3.2.2 Distribución y balance energético



#### a. Distribución de potencia y energía

| Información requerida   |   |
|---|---|
| Nivel 1   | Niveles 2 y 3   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Facturación energéticos</li> <li>• Consumo energético equipos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Facturación energéticos</li> <li>• Consumo energético equipos</li> <li>• Mediciones</li> </ul> |

La cuantificación de la potencia instalada de los sistemas de la faena minera permite obtener la proporción de potencia de cada sistema respecto la potencia instalada total. Esta distribución es útil para la evaluación de MMEE en el dimensionamiento de equipos.

En base a la *Distribución de potencia* de los sistemas, y en conjunto con *Caracterización de los equipos y sistemas* se obtiene la *Distribución de energía*, que es útil para la identificación de los sistemas de mayor impacto en el consumo total de la faena minera, para dar prioridad a su revisión y análisis en la identificación de MMEE.

El consumo energético se analiza generalmente para un período anual. Algunos criterios y ejemplos para la agrupación de consumos son los siguientes:

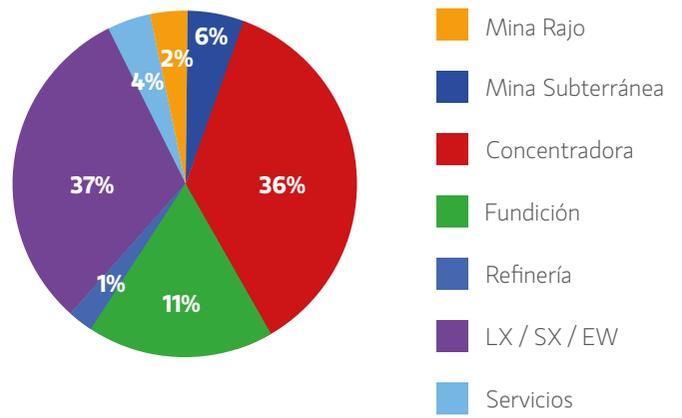
- **Suministro energético:** Electricidad, gas natural, petróleo combustible N° 6 y diésel.
- **Zonificación:** Faena 1, faena 2, faena 3, mina, planta de beneficio, pilas 1 y pilas 2.
- **Procesos:** Mina a rajo abierto, mina subterránea, proceso de concentración, proceso de fundición, proceso de lixiviación y proceso de refinería.
- **Equipos de cada proceso:** Chancadores, molinos, hidrociclones, bandas transportadoras y bombas de impulsión.

Esta distribución se puede presentar gráficamente, como en el ejemplo de la Ilustración 4, barras apiladas u otros de conveniencia.

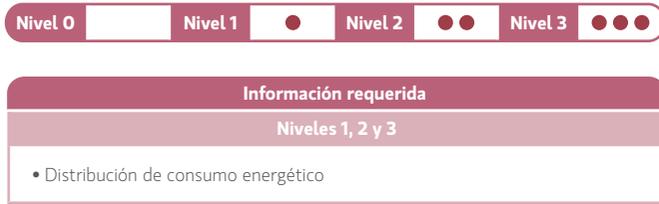
Para validar estos resultados, es conveniente realizar una comparación con los consumos obtenidos de la facturación energética, para así calcular el porcentaje de error existente y diagnosticar errores u omisiones en el *Análisis de sistemas y equipos*.

Ilustración 4. Gráfico de distribución de energía eléctrica

#### Distribución de energía eléctrica



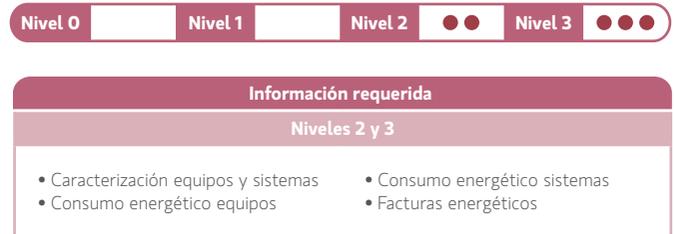
### b. Diagrama de Pareto



El diagrama de Pareto es una forma gráfica de representar la *Distribución de consumo energético*, que organiza datos en forma decreciente, indicando el porcentaje acumulado (de izquierda a derecha) de los sistemas consumidores de la faena minera. Este análisis es útil para conocer los sistemas que representan aproximadamente el 80% del consumo, donde las oportunidades de MMEE generan mayores ahorros energéticos. El análisis puede desarrollarse bajo diversas consideraciones. Por ejemplo, para analizar el costo energético, se puede presentar el diagrama en base a los sistemas que representen el mayor gasto financiero en la faena minera. Se muestra un ejemplo del diagrama de Pareto en la Ilustración 5.

De este ejemplo, se aprecia que los primeros tres sistemas (Lx/Sx/Ew, Concentradora y Fundición) corresponden al 84% del consumo energético total de la faena minera, por lo que, en primera instancia, el enfoque de la AE se centraría en su revisión para la identificación de MMEE.

### c. Balance de energía



Es la estimación de los flujos de energía desde la fuente hasta el uso final, incluyendo los procesos de generación, transformación, eficiencia de equipos y las pérdidas de energía, de manera tal que la entrada y salida de energía sean iguales. Se debe considerar el total de suministros energéticos del periodo de referencia y luego el aporte de cada energético al consumo final de equipos y/o sistema, cuantificando además las pérdidas por transformación o transporte de energía requeridas para el uso final. Por el detalle de información que debe ser utilizada para su desarrollo, es conveniente su realización en AE nivel 2 y 3 ya que se incluyen mediciones que entreguen información para elaborar un balance más preciso de todos los consumos, sistemas o equipos particulares de interés.

Una herramienta útil para reflejar los resultados de un balance de energía es un diagrama Sankey, el cual representa, mediante barras de anchos proporcionales, la energía suministrada, transformada y consumida por cada uno de los sistemas energéticos analizados, incluyendo los flujos de energía desde las fuentes hasta los usos finales y las pérdidas generadas en el proceso, como se muestra en el ejemplo de la Ilustración 6.

Ilustración 5. Gráfico de Pareto para consumos por sistema

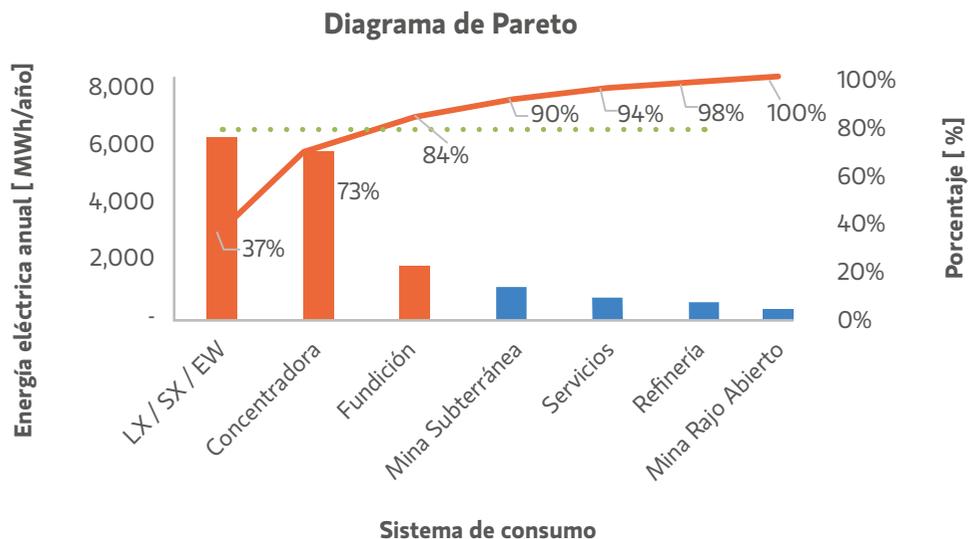
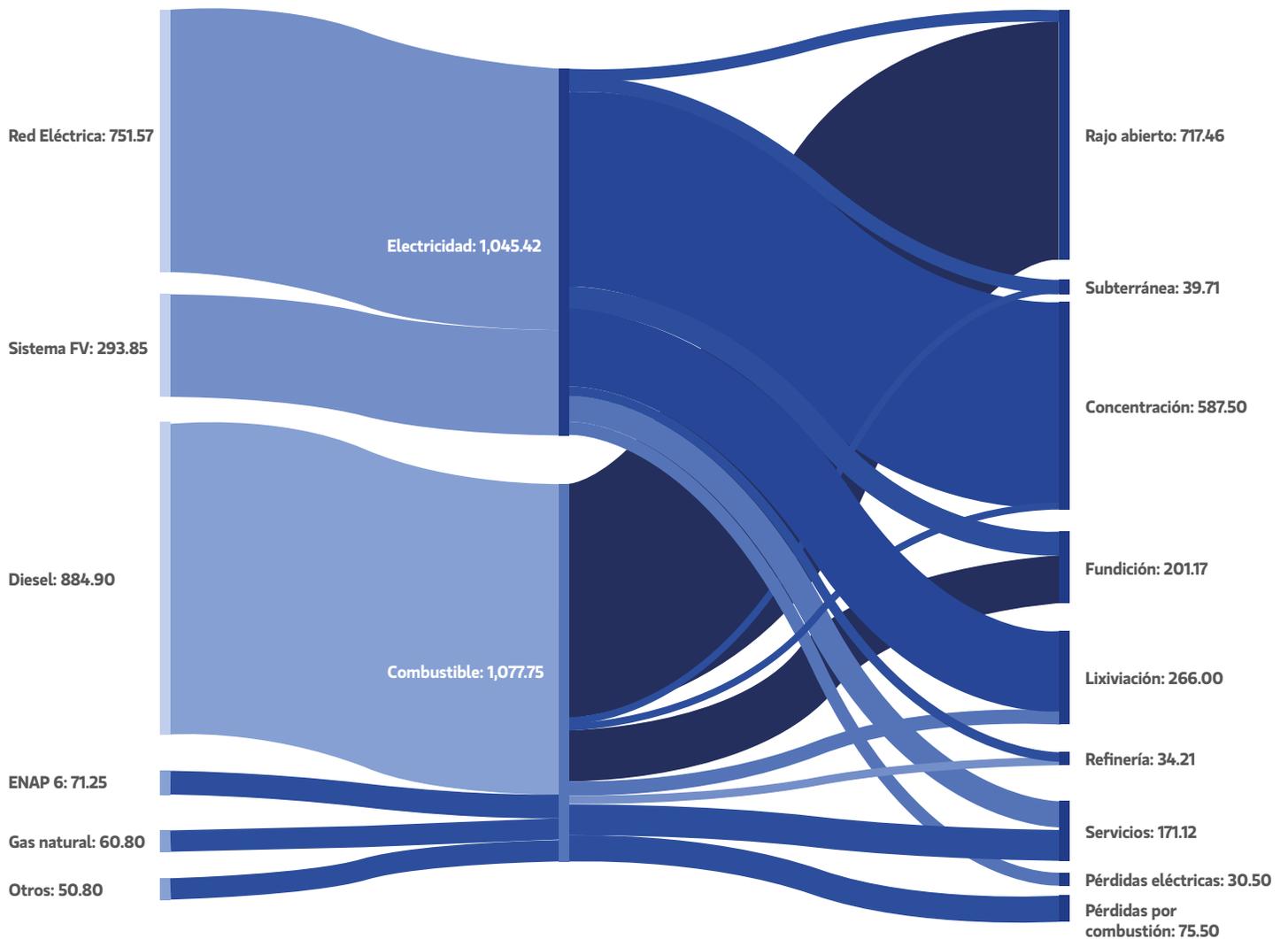


Ilustración 6. Ejemplo de diagrama de Sankey [MWh/año]



### 3.2.3 Línea base



| Información requerida  |   |
|--|---|
| Nivel 1  | Niveles 2 y 3   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Facturación energéticos</li> <li>• Información requerida de variables del consumo energético</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Facturación energéticos</li> <li>• Información requerida de variables del consumo energético</li> <li>• Mediciones variables del consumo energético</li> </ul> |

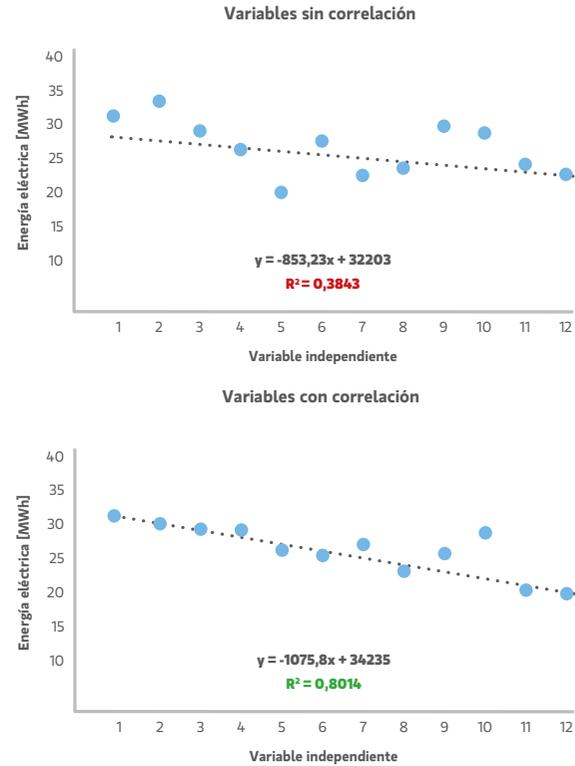
La línea base busca establecer un comportamiento y nivel de consumo referencial frente a las futuras modificaciones. En términos generales, se desarrolla una correlación entre el consumo energético y una o más variables que expliquen su comportamiento, lo anterior a partir de la situación actual para evaluar el consumo energético en periodos futuros. Para esta correlación se suelen usar 12 meses convenientes y representativos del consumo, en términos de que no exista una gran distorsión por factores ajenos al modelo definido, o sean fácilmente aislables del análisis. Esto se define como el periodo de referencia de la línea base.

Es de utilidad para realizar el seguimiento y la proyección del consumo energético, y, además, permite la verificación de ahorros cuando se implementan MMEE. Lo anterior puede ser necesario para toda la faena minera, para un proceso o sistema particular de esta, y en función de ello se define el límite de medida de la línea base.

El análisis debe incluir un periodo completo de funcionamiento, que refleje las variaciones máximas y mínimas del consumo energético del límite de medida, por lo que es habitual que al realizar una línea base del total de la faena minera se utilicen los datos de facturación de 12 meses consecutivos. Adicionalmente, es necesario contar con data suficiente de las variables que podrían explicar el nivel de consumo energético dentro de ese mismo periodo de tiempo.

Con lo anterior, se realiza un diagrama de dispersión, como en la ilustración 7, donde el consumo energético se grafica como la variable dependiente en el eje y, luego la variable independiente que explica el consumo se grafica en el eje x. Cuando el análisis de correlación es adecuado, como en el segundo ejemplo de la Ilustración 7, se obtiene una función, que al ingresar data de la variable estudiada entrega el consumo energético bajo esas condiciones. En pocas ocasiones se puede obtener una línea base con el estudio de solo una variable, por lo que es necesario realizar análisis correlación multivariable<sup>5</sup>, lo que también permite tener una línea base más representativa.

Ilustración 7. Gráficos de dispersión para el análisis de correlación



En minería, las principales variables usadas son los niveles de producción de acuerdo a toneladas de material procesado (extraído, movido, chancado, tratado y/o producido) y el grado de dureza del mineral. También se pueden considerar variables estáticas como tipo de equipo, tiempo de trabajo, entre otros.

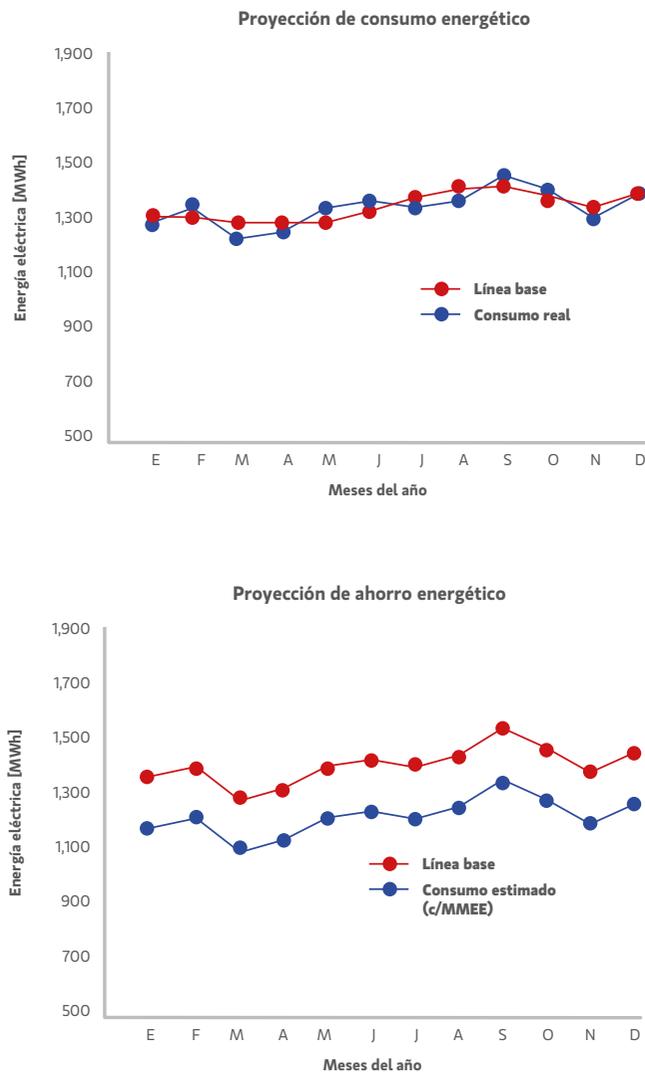
Un ejemplo de línea base se muestra en la Ilustración 8, visualizándose en el primer gráfico el consumo real en un periodo de tiempo, y el estimado a partir de la fórmula obtenida en el análisis de correlación de línea base y la data de la variable que condiciona el consumo energético. En el segundo gráfico se visualiza el consumo proyectado a partir de la línea base y el consumo estimado al implementar una MMEE, lo cual muestra los ahorros obtenidos en base a la diferencia entre ambas.

En la implementación de MMEE se suele desarrollar un plan de medición y verificación en base al Protocolo Internacional de Medida y Verificación (IPMVP), ya que permite realizar un seguimiento exhaustivo y revisión de los cambios que puedan afectar la línea base obtenida, y así realizar los ajustes necesarios para verificar los ahorros generados luego de la implementación.

5. Se recomienda seguir protocolo de Análisis de Correlación Multi Variable del IPMVP

La elaboración de la línea base debe contar con un adecuado tratamiento estadístico de la información utilizada que permita asegurar la trazabilidad de los consumos analizados.

Ilustración 8. Línea base para proyección de consumo y para estimación de ahorros



### 3.2.4 IDE y análisis comparativo



| Información requerida   |   |
|---|---|
| Nivel 1   | Niveles 2 y 3   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Facturación energéticos</li> <li>• Información de instalaciones</li> <li>• Información requerida de variables del consumo energético</li> <li>• Variables identificadas en línea base</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Facturación energéticos</li> <li>• Información de instalaciones</li> <li>• Información requerida de variables del consumo energético</li> <li>• Medición de variables del consumo energético</li> <li>• Variables identificadas en línea base</li> </ul> |

Son datos numéricos a modo de ratio o indicador, que permiten cuantificar el desempeño energético actual respecto a variables que influyen en este para determinar su evolución en periodos futuros.

Es útil para identificar rápidamente potenciales de mejora, al comparar el desempeño energético de la organización auditada con estándares de mineras de similares características, otras instalaciones de la organización, y otras organizaciones de su sector. Junto con esta comparación, su simpleza permite hacer seguimiento del comportamiento de consumo y de MMEE que se implementen.

Para la obtención de indicadores de desempeño energético se deben identificar:

- Los elementos que serán parte del estudio de desempeño, que puede abarcar aspectos generales de toda la faena minera o indicadores específicos para procesos, sistemas o equipos.
- Las variables que determinan o condicionan el consumo energético del elemento en estudio y de los cuales se cuenta con data para realizar el análisis. Es útil incluir, para el desarrollo de indicadores, las variables obtenidas en la *Línea base*.
- Los ratios que den cuenta del desempeño energético respecto a las variables identificadas. Los más comunes para la industria minera son:
  - Energía sobre toneladas de material movido en mina a rajo abierto **[MWh/Ton material movido• km eq.]**.
  - Energía sobre toneladas de mineral extraído en mina subterránea **[MWh/Ton mineral extraído]**.
  - Energía sobre toneladas de mineral concentrado **[MWh/Ton mineral tratado]**.
  - Energía sobre toneladas de mineral procesado en línea de proceso, proceso, subproceso o equipo **[MWh/Ton mineral procesado]**.
  - Consumo de agua por toneladas de mineral producido **[m³/Ton mineral producido]**

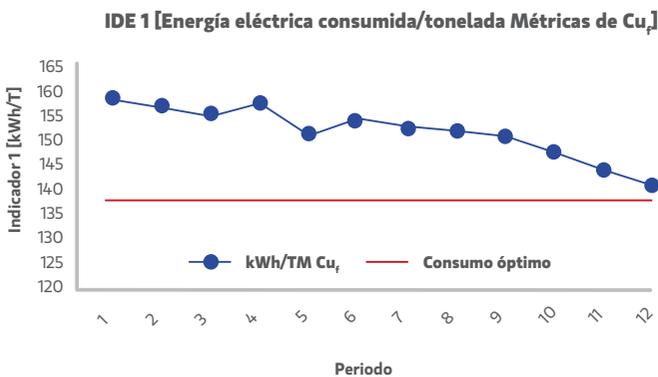
Cuando se identifican variables útiles para la obtención de indicadores, pero no existe data suficiente, se puede sugerir a la organización auditada que inicie el registro de la variable de interés que permita generar posteriormente el IDE requerido.

Por su parte, el análisis comparativo se puede desarrollar de acuerdo a:

- Estándares internos, basados en indicadores ya existentes de la misma faena minera o de otras instalaciones de la organización auditada con similares características. Para indicadores desarrollados a partir de la línea base se desarrollan los siguientes análisis:
  - **Indicador de desempeño energético en base 100:** Indica mes a mes la desviación del valor real de consumo versus el valor de la línea base. Si el valor es mayor a 100% indica mejora en eficiencia y valores por bajo, empeoramiento de la eficiencia.
  - **Indicador de tendencia de desempeño energético (CUSUM<sup>6</sup>):** Es un indicador acumulativo, donde cada mes se calcula la diferencia entre los consumos reales y la línea base, para visualizar los efectos de mejora y empeoramiento del desempeño.
- Estándares externos, a través de información de entidades pertinentes.

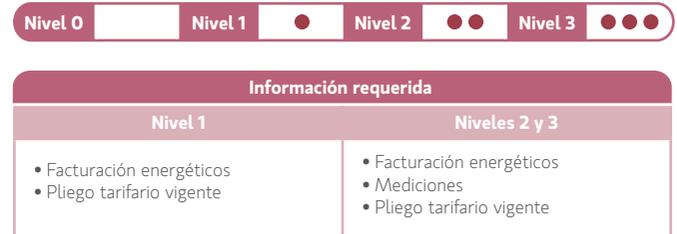
Para llevar un control del desempeño energético en el tiempo por medio de los IDE desarrollados, se debe sugerir el registro de data de las variables incluidas en estos para lograr un seguimiento adecuado de su evolución, que permita tomar acciones frente a los resultados que se obtengan en el tiempo. En la Ilustración 9 se muestra un ejemplo de IDE, que refleja el comportamiento del consumo energético por superficie construida.

Ilustración 9. Ejemplo de IDE 1



6. Gráficos de control de sumas acumuladas

### 3.2.5 Análisis de facturación



El objetivo de este análisis es caracterizar el consumo energético de la organización auditada en base a los registros de facturas eléctricas y de combustible, identificando el nivel de consumo asociado a periodos definidos y los costos de los energéticos utilizados en la faena minera.

Para los análisis siguientes se debe verificar que se cuenta con la facturación de mínimo 12 meses de los distintos puntos de suministro de energético que se identificaron durante la *Caracterización de sistemas*. Para identificar tendencias anuales es recomendable contar con 24 o 36 meses correlativos de facturación.

#### a. Revisión de facturación combustible

Corresponde a la revisión de los antecedentes de consumo de combustible. En la facturación se puede encontrar la siguiente información:

- Volumen o masa de consumo del combustible.
- Costo del combustible [\$/volumen o masa del combustible].
- Factores de corrección (para el caso de GN se debe considerar el factor de ajuste de la medición de volumen por efectos del uso de un medidor de consumo).

Se debe tener en cuenta que para algunos formatos de suministro, el abastecimiento se realiza por medio de repostaje de estanques de acumulación, por lo que la facturación dependerá de la demanda particular de abastecimiento y puede no ser constante en el tiempo. También se debe identificar qué puntos de abastecimiento se encuentran asociados a cada facturación y cuáles son los equipos de consumo asociados a cada estanque de acumulación, con objeto de precisar las demandas de combustible de equipos y sistemas específicos.

#### b. Revisión de facturación de suministro eléctrico para cliente libre

Corresponde a la revisión de la facturación y algunos antecedentes sobre las condiciones de los contratos de clientes libres, con el objetivo de identificar las condiciones de consumo que pueden res-

tringir la factibilidad de MMEE de interés, junto con definir el costo actual del energético para la evaluación económica de las MMEE que se identifiquen. La información que es de utilidad del contrato corresponde a:

- Período de facturación: Lapsos de tiempo comprendidos para cada facturación.
- Potencia y energía convenida: Niveles de consumo energético máximos y/o mínimos permitidos por contrato.
- Precio de la energía y potencia: Revisión de la valorización del costo monetario del energético y sus principales factores de ajustes en el tiempo.
- Modalidad de facturación de potencia y energía (activa y reactiva): Revisión de la forma de aplicación de los precios de la energía y potencia, acorde a los consumos de cada período de facturación.
- Inicio y término del suministro: Fecha de inicio y término del contrato.
- Condiciones de cláusula: Condiciones que se deben cumplir para dar término anticipado del contrato.
- Antecedentes referidos a las energías renovables que pueden afectar o limitar las MMEE del tipo ERNC.

Cuando las condiciones del contrato de cliente libre no permiten que este sea revisado por el equipo auditor, se pueden llegar a acuerdos contractuales de confidencialidad en que la organización pueda entregar la información que es de utilidad para el contexto de la evaluación técnica y económica de MMEE.

### **c. Revisión de facturación de suministro de cliente regulado y análisis de tarifa eléctrica**

Para los casos particulares en que se cuente con tarifa eléctrica de cliente regulado, se puede encontrar la siguiente información en la facturación:

- Tipo de tarifa eléctrica para clientes regulados.
- Consumo de energía mensual [kWh/mes].
- Consumo de potencia mensual, según tarifa en demanda máxima leída en hora de punta, demanda máxima de potencia suministrada o leída, potencia contratada [kW/mes].
- Costo de la energía [\$/kWh/mes].
- Costos asociados a las diversas potencias [\$/kW/mes].
- Multas por mal uso del factor de potencia o sobreconsumo de energía reactiva [\$/mes].

- Cargos por incumplimiento de consumos mínimos o máximos [\$/mes].
- Cargos del tipo fijos, reliquidaciones, ajustes por cobros de no lectura, por uso del sistema de transmisión y servicios públicos [\$/carga].

A partir de esta información, se puede realizar un análisis de tarifa, que corresponde a una evaluación de los costos por consumo eléctrico que se tendrían para las distintas opciones de tarifa reguladas que existen, utilizando los parámetros de consumo de energía y potencia eléctrica que registran las últimas 24 facturas eléctricas.

Es útil para identificar si existe una tarifa regulada de menor costo económico para la organización auditada, en base al consumo de referencia en comparación a la utilizada actualmente.

Cuando la facturación actual no entrega el detalle necesario para la evaluación de tarifas, como el valor de potencia dentro y fuera de horario punta, es necesario realizar supuestos sobre la información faltante que deben ser comunicados a la organización auditada. Si no están disponibles las 24 últimas facturas consecutivas, se puede realizar un análisis con un mínimo de las últimas 12. Si se efectuaron mediciones en tableros de distribución se utiliza el registro de estas variables para el análisis tarifario.

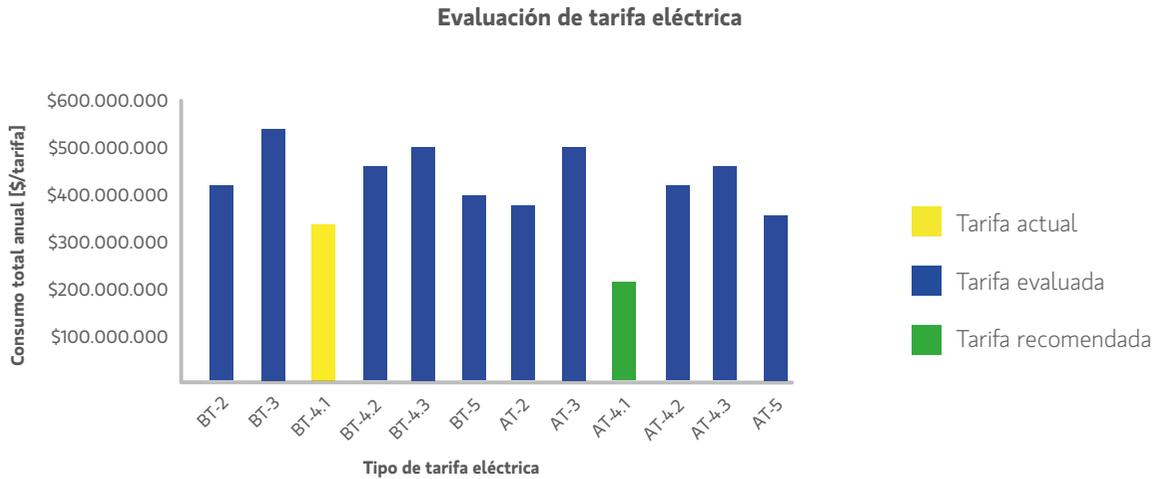
Las opciones tarifarias son las siguientes:

- BT-2 y AT-2
- BT-3 y AT-3
- BT-4.1 y AT-4.1
- BT-4.2 y AT-4.2
- BT-4.3 y AT-4.3
- BT-5 y AT-5

En cada una de las tarifas se define bajo qué parámetros se realizan los cobros a los clientes que las utilizan, y a partir de esta regulación cada empresa distribuidora genera su pliego tarifario en que se indican los costos que perciben los usuarios a los que se suministra energía.

El resultado del análisis se puede presentar como en la Ilustración 10, donde se concluye que existe una tarifa más conveniente que la contratada actualmente. En caso de que el cambio de tarifa incluya un cambio de BT a AT, como en el ejemplo, se deben considerar los costos del proyecto eléctrico para la implementación de un transformador para el nuevo nivel de tensión en que se suministrará la electricidad.

Ilustración 10. Gráfico de análisis tarifario

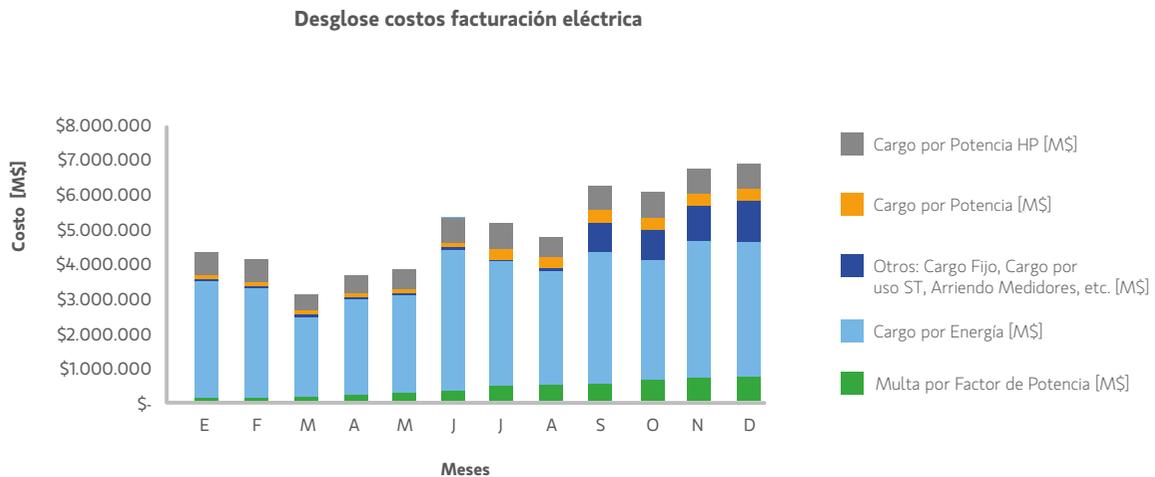


Si se cumplen los requisitos que impone el marco legal en términos de potencia conectada al empalme, existirá la opción de optar por un régimen de tarifa de cliente libre, que corresponde a una negociación entre el cliente y las empresas suministradoras (generadores y distribuidores de electricidad), donde se establece una nueva metodología de cobro por consumo de energía eléctrica y registros de potencia. Esta negociación permitirá acceder a un costo total menor a los que permiten las tarifas reguladas. Para considerar esta alternativa la organización auditada debe cumplir con las condiciones señaladas en la Ley General del Servicio Eléctrico, Ley 20.805, artículo N° 149 del DFL N°4/06.

#### d. Desglose de costos de facturación eléctrica

Es la representación gráfica de los costos que incluye la facturación que permite evaluar su comportamiento en el tiempo y la relevancia de cada uno dentro del costo total de energía, como se muestra en la Ilustración 11 para una facturación eléctrica. Aquí se observa, por ejemplo, que los principales cargos son por consumo de energía y que se ha presentado una multa por mal factor de potencia, que ha ido en aumento.

Ilustración 11. Gráfico de costos de facturación eléctrica



Es de utilidad para identificar si la mayor parte del costo se atribuye al cargo por energía o potencia y si existen cobros por concepto de multas. Con lo anterior, se pueden evaluar acciones que permitan disminuir los cargos o evitar multas existentes.

### e. Precio monómico de la energía eléctrica

Es la valorización del consumo eléctrico en un precio único, por medio del cociente entre el costo total por la compra de la energía y potencia, dividido por la energía total consumida y se expresa en unidad monetaria/energía [\$/kWh]. Un ejemplo de su elaboración se presenta en la Tabla 10.

Es de utilidad para la evaluación económica de MMEE, que éstas se vean reflejadas en ahorros económicos para casos donde se reducen los consumos de energía y potencia de la faena minera.

Tabla 10. Ejemplo obtención del precio monómico

| Mes         | Consumo [kWh] | Cargo por Energía [\$/] | Cargo por Potencia FHP [\$/] | Cargo por Potencia HP [\$/] | Precio Monómico [\$/kWh/mes] | Precio de la energía [\$/kWh/mes] |
|-------------|---------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| Enero       | 49.350        | \$ 3.436.141            | \$ 269.969                   | \$ 663.998                  | \$ 88,6                      | \$ 69,6                           |
| Febrero     | 46.200        | \$ 3.216.814            | \$ 218.567                   | \$ 664.501                  | \$ 88,7                      | \$ 69,6                           |
| Marzo       | 34.050        | \$ 2.385.833            | \$ 248.376                   | \$ 483.950                  | \$ 91,6                      | \$ 70,1                           |
| Abril       | 40.500        | \$ 2.845.934            | \$ 149.215                   | \$ 520.534                  | \$ 86,8                      | \$ 70,3                           |
| Mayo        | 40.800        | \$ 2.916.822            | \$ 129.375                   | \$ 603.343                  | \$ 89,4                      | \$ 71,5                           |
| Junio       | 58.950        | \$ 4.234.570            | \$ 110.066                   | \$ 745.893                  | \$ 86,4                      | \$ 71,8                           |
| Julio       | 51.150        | \$ 3.678.494            | \$ 286.249                   | \$ 786.941                  | \$ 92,9                      | \$ 71,9                           |
| Agosto      | 46.950        | \$ 3.387.046            | \$ 285.733                   | \$ 610.693                  | \$ 91,2                      | \$ 72,1                           |
| Septiembre  | 51.400        | \$ 3.722.615            | \$ 291.076                   | \$ 635.072                  | \$ 90,4                      | \$ 72,4                           |
| Octubre     | 52.150        | \$ 3.790.409            | \$ 322.367                   | \$ 729.379                  | \$ 92,9                      | \$ 72,7                           |
| Noviembre   | 51.900        | \$ 3.810.126            | \$ 289.888                   | \$ 635.081                  | \$ 91,2                      | \$ 73,4                           |
| Diciembre   | 63.750        | \$ 4.742.220            | \$ 321.409                   | \$ 775.946                  | \$ 91,6                      | \$ 74,4                           |
| Total anual | 587.150       | \$ 42.167.024           | \$ 2.922.290                 | \$ 7.855.331                |                              |                                   |
|             |               |                         |                              | Promedio                    | \$ 90,1                      | \$ 71,7                           |

### 3.2.6 Análisis de calidad de energía



| Información requerida  |   |
|--|---|
| Nivel 2  | Nivel 3   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Medición básica frecuencia, voltaje y FP</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Medición avanzada frecuencia, voltaje, FP y THD</li> </ul> |

Esté análisis corresponde a una verificación del cumplimiento de los parámetros de suministro y consumo eléctrico, de acuerdo a la Ley General de Servicios Eléctricos, Decreto 237. Se puede diferenciar en calidad de energía suministrada y consumida, la primera es responsabilidad de la empresa distribuidora y la segunda de la empresa minera.

Para evaluar la energía suministrada se estudia la frecuencia y voltaje, para la consumida se evalúa el FP y THD. Se pueden representar gráficamente estableciendo los límites de acuerdo a la norma junto con el registro de la medición de esa variable, para visualizar si sobrepasan estos parámetros o se encuentran cercanos a ellos. Un ejemplo de lo anterior se muestra en la ilustración 12.

Si los datos son obtenidos de una medición con un registrador de consumo se puede definir si las variables registradas se encuentran dentro de la norma, y en el caso que se evidencie incumplimiento de esta, solo se podrá informar al respecto, pero no se cuenta con información necesaria para la evaluación de medidas que permitan corregir o identificar el problema.

En una evaluación con medición de un analizador de redes, si el factor de potencia se encuentra fuera de norma, los datos obtenidos permiten el dimensionamiento de la solución, como la instalación de un banco de condensadores, lo que permite compensar la energía reactiva para evitar las multas por mal factor de potencia. En el caso de alteración en THD, es de utilidad la revisión de mediciones de armónicos, ya que estos valores permiten dimensionar soluciones como filtros pasivos, aislamiento para transformadores, filtros R-L-C, entre otros.

El THD cuantifica la distorsión que generan en el suministro eléctrico, las cargas conectadas a este. Valores altos causan perturbaciones indeseadas en equipos y componentes del sistema eléctrico

Ilustración 12. Ejemplo de Análisis de calidad de energía

#### Voltaje:

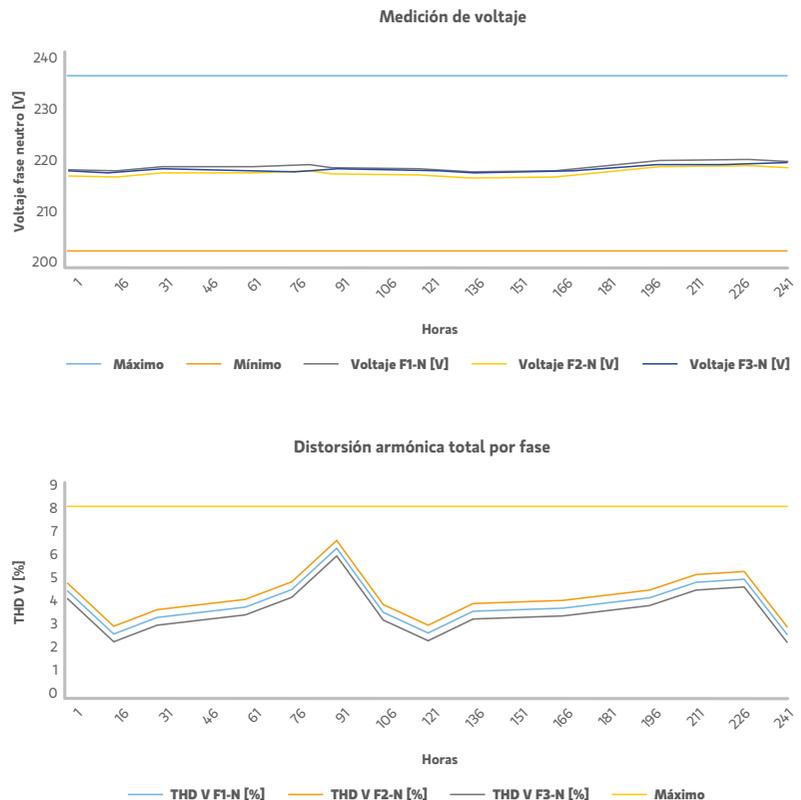
Rango permitido:  $\pm 7,5\%$  respecto al valor nominal (220V)

- El voltaje se encuentra dentro de lo que exige la normativa
- No existen irregularidades en el comportamiento del voltaje

#### THD Voltaje:

Rango permitido: THD V menor a 8%

- La distorsión armónica de voltaje se encuentra dentro de lo que exige la normativa
- Existe un peak de THD que se aproxima a los 8% que permite la norma, se recomienda evaluar anomalía



### 3.2.7 Demanda de Potencia Eléctrica (DPE) y Demanda de Potencia Térmica a nivel de Energía Útil (DPTEU)



| Información requerida   |  |
|---|--|
| Nivel 3   |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Línea base</li> <li>• Facturaciones energéticos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mediciones</li> </ul> |

Es la obtención de la curva de potencia eléctrica y térmica horario a nivel anual de la faena minera. Es de utilidad para el dimensionamiento de equipos, ya que describe las condiciones de operación y el perfil de uso que este tendrá de manera detallada.

Para construir el *Perfil de demanda*, se utilizan mediciones que caractericen las variaciones en el consumo para un ciclo de menor tiempo, como día hábil y no hábil en periodo de producción, el cual depende de la estacionalidad de los productos. En caso de operación continua durante la semana, se pueden realizar mediciones que caractericen

el consumo base por periodo de producción. Posteriormente se proyectan los consumos de acuerdo a la *Línea base*, la cual refleja los cambios en el consumo para el ciclo completo. Lo anterior permite llevar el perfil de demanda a un periodo mensual, y luego a un anual.

En las ilustraciones 13 y 14 se muestra de manera gráfica un ejemplo de demanda eléctrica y térmica, donde cada una se diferencia entre día hábil y no hábil.

Ilustración 13. Demanda eléctrica diaria para cada mes según proyección de línea base

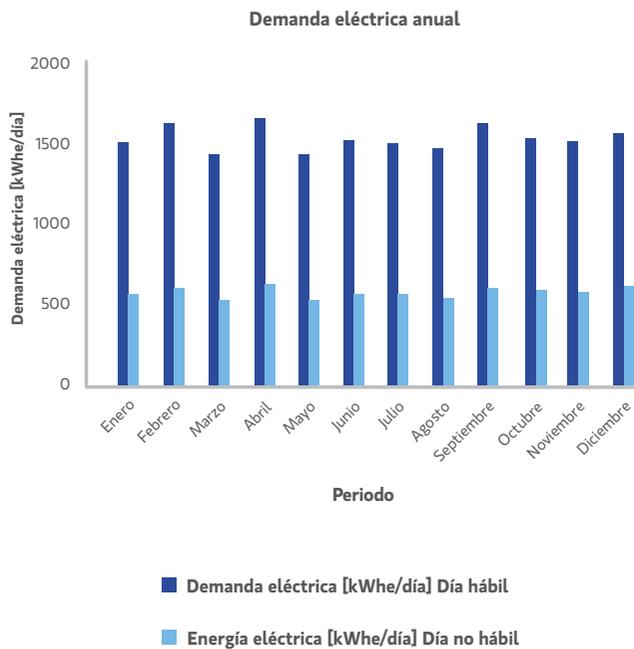
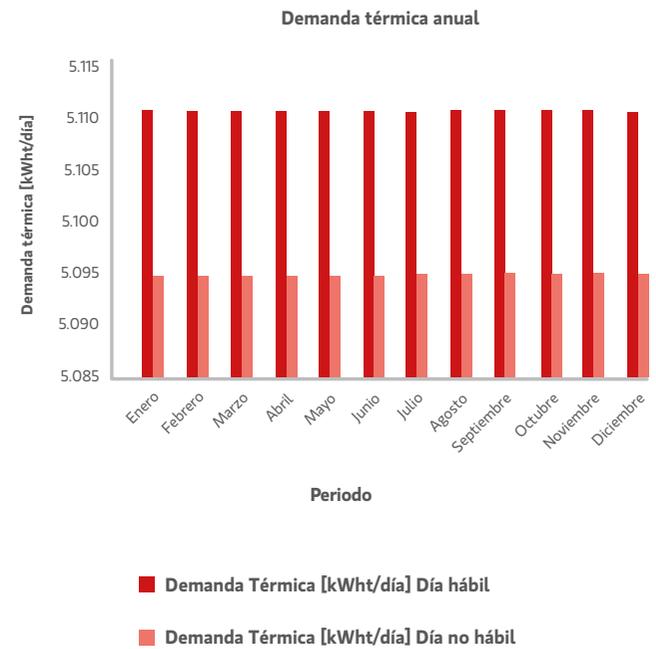


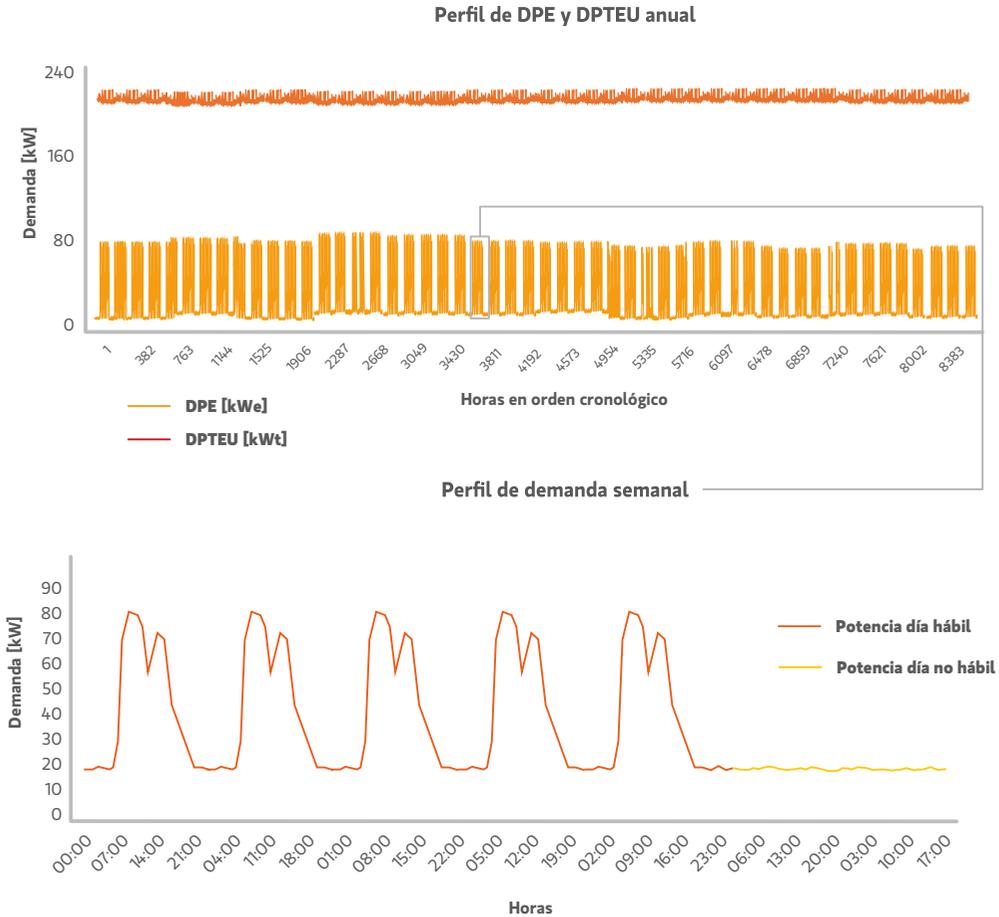
Ilustración 14. Demanda térmica diaria para cada mes según proyección de línea base



A partir del ejemplo anterior, en la Ilustración 15 se muestra la extrapolación de la demanda de potencia térmica y eléctrica a nivel anual, en la cual se detalla su conformación en base al

perfil semanal, el cual es ajustado de forma anual de acuerdo a las gráficas antes presentadas.

Ilustración 15. Demanda eléctrica y térmica anual (arriba) y Perfil de demanda semanal (abajo)



### 3.3 Análisis de MMEE

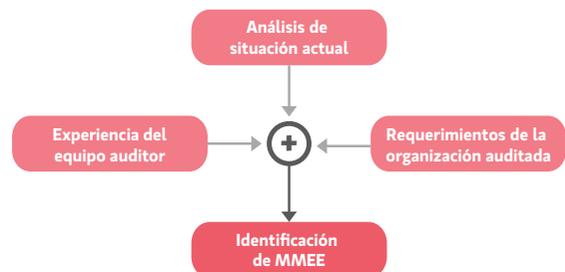
Este análisis consiste en la aplicación de criterios para identificar y evaluar técnica y económicamente MMEE para la faena minera.

Esquema 8. Flujo de información para identificación de MMEE

#### 3.3.1 Identificación de MMEE

Nivel 0  Nivel 1  Nivel 2  Nivel 3

Para la identificación de MMEE, se deben considerar todos los antecedentes obtenidos en el *Análisis de situación actual*. De esta forma, la revisión se enfoca a los equipos y sistemas con mayor potencial de ahorro energético, donde también se deben incluir los requerimientos particulares de la faena minera. Lo anterior se resume en el Esquema 8.



Una forma conveniente de analizar los antecedentes para la identificación de MMEE es iniciar la evaluación desde la demanda y operación (comportamiento de consumo), para luego continuar con tecnologías de equipos y sistemas y, finalmente, los energéticos utilizados, respondiendo a las preguntas que se plantean en la Tabla 11. Esta metodología se puede aplicar para cada sistema incluido en los alcances de la AE.

Durante la aplicación de las preguntas presentadas, se pueden identificar algunas de las MMEE que se detallan en el Anexo 5.

Tabla 11. Metodología para identificación de MMEE

| ¿Dónde se evalúa?   | ¿Qué se evalúa?   |
|---|---|
| <p><b>Demanda y operación</b><br/>¿La energía demandada es la que efectivamente se necesita?</p>      | ¿Los parámetros de operación utilizados son los adecuados?  |
|   | ¿Existen hábitos del operario que aumenten innecesariamente la demanda? ¿Se pueden regular factores externos que afecten la demanda de energía? |
|   | ¿Opera cuando no existe demanda?<br>¿Se regula adecuadamente en base al nivel de demanda?<br>¿Es posible reducir el tiempo de uso?              |
| <p><b>Tecnología</b><br/>¿Es posible mejorar el desempeño de los equipos?</p>                         | ¿Existe tecnología más eficiente que la actual?   |
|   | ¿El dimensionamiento del equipo se ajusta a su uso final?   |
|   | ¿Es posible disminuir el consumo de energía incorporando sistemas de control?   |
|   | ¿Es posible disminuir el consumo de energía incorporando sistemas de acumulación?   |
|   | ¿Es posible disminuir pérdidas de energía?  |
|   | ¿Es posible recuperar energía residual?   |
| <p><b>Energético</b><br/>¿Las fuentes utilizadas se adaptan a las necesidades de la faena minera?</p> | ¿Es confiable el suministro con las fuentes actuales?   |
|   | ¿La combinación de fuentes utilizadas entrega el menor costo energético anual?  |
|   | ¿Es posible cambiarse a, o incluir una fuente energética de menor nivel de emisiones GEI?   |

### 3.3.2 Análisis técnico y económico



A partir de las MMEE identificadas es necesario realizar una evaluación técnica y económica para determinar los ahorros energéticos y monetarios. La metodología de esta evaluación se muestra en el Esquema 9.

Para el nivel de AE 0 lo anterior se desarrolla hasta ideas de MMEE, mientras que para un nivel 1 las medidas identificadas se estudian y priorizan a nivel de perfil.

Para el nivel 2 la evaluación de las MMEE identificadas se desarrolla a nivel de estudio de perfil. Luego, para las mejor evaluadas del ranking obtenido se realiza el estudio técnico y económico a nivel de prefactibilidad.

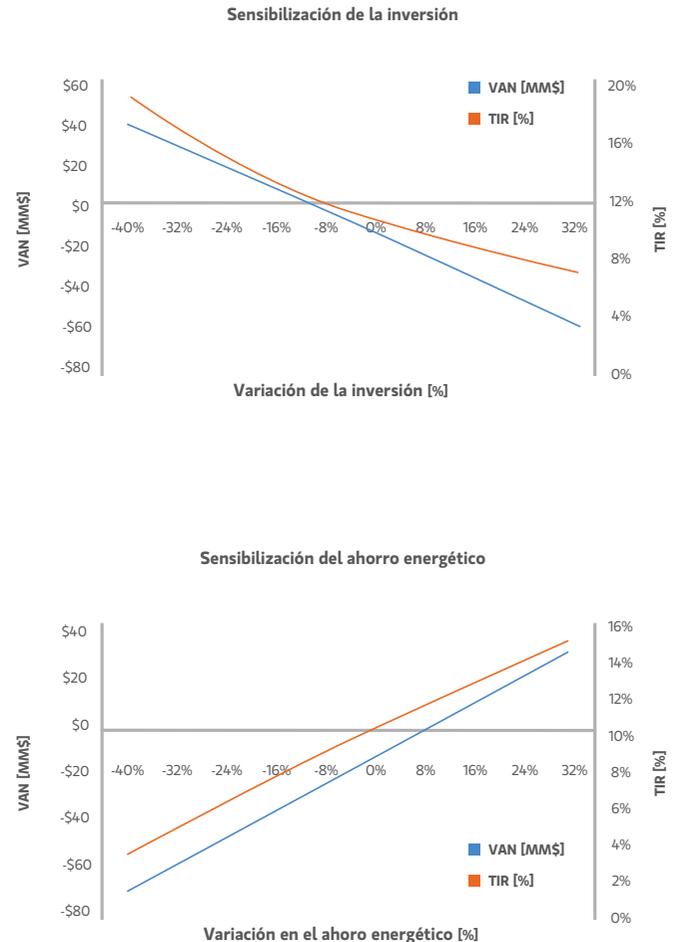
Finalmente, para el nivel 3, la aplicación de la metodología se desarrolla a nivel de estudio de prefactibilidad, y, posteriormente, para las mejor evaluadas del ranking obtenido se realiza el estudio técnico y económico a nivel de estudio de factibilidad.

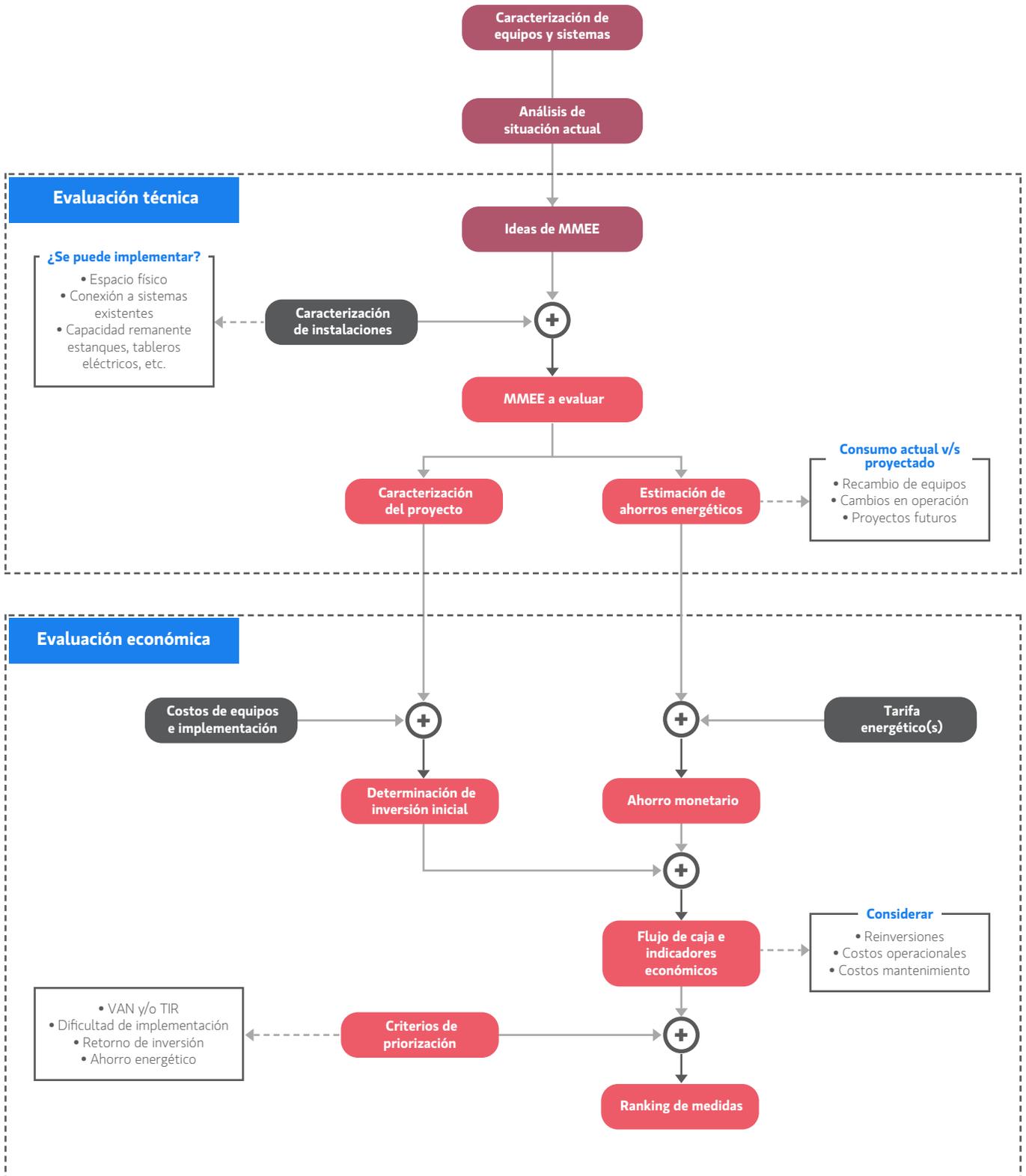
En consideración del nivel de estudio que se quiere lograr en cada auditoría, se deben abordar las siguientes actividades en distintos grados de detalle:

- El primer paso de la metodología consiste en una evaluación técnica que estudia la posibilidad de implementación en base a la *Caracterización de las instalaciones*, respecto al espacio disponible para la instalación y posibilidades de conexión con los sistemas existentes, cumplimiento de los requerimientos interno de la organización auditada, además de la normativa vigente (revisar Anexo 4).
- Cuando existe la factibilidad de instalación, se debe evaluar la MMEE en base a la estimación de ahorros energéticos entre la situación actual y la situación propuesta. Adicionalmente, se caracterizan los aspectos técnicos de la implementación que permitan definir costos referenciales que son utilizados en la evaluación económica.
- Los ahorros estimados se cuantifican monetariamente según el costo del energético. De manera particular, cuando la MMEE genera impactos en la potencia y energía eléctrica, se utiliza el *Precio monómico*. Lo anterior, y en conjunto con la determinación de la inversión inicial, permite generar flujo de caja que debe considerar la tasa de descuento y un horizonte de evaluación acordado con la organización auditada. A partir de lo anterior, se obtienen los indicadores económicos como VAN, TIR, retorno de inversión u otros de interés para la organización.

Con la finalidad de evaluar la solidez de las recomendaciones derivadas del análisis económico, se puede realizar un análisis de sensibilidad, el que consiste en modificar las variables con mayor peso sobre el análisis y obtener los indicadores económicos para el nuevo escenario planteado. A modo de ejemplo, la Ilustración 16 muestra dos casos: la variación del VAN y el TIR ante cambios en la inversión y los ingresos del proyecto.

Ilustración 16. Análisis de sensibilidad. Variación del VAN y TIR en función de cambios en la inversión (arriba) y los ingresos (abajo)





Esquema 9. Metodología para la evaluación técnica económica de MMEE

Otra forma de visualizar el análisis anterior es por medio de una matriz de sensibilización como en el ejemplo de la Tabla 12, donde se observa la variación en el *payback* de la MMEE evaluada de acuerdo a los porcentajes de variación de la inversión y el ahorro energético, indicando con colores, del verde al rojo, del escenario más favorable al más crítico.

Si bien los criterios cuantitativos suelen ser preponderantes en la toma de decisiones, los proyectos energéticos suelen tener externalidades atractivas para la alta gerencia y otras partes interesadas.

Tabla 12. Matriz de sensibilización

|                          |      | Ahorro energético [%] |      |      |     |    |    |     |
|--------------------------|------|-----------------------|------|------|-----|----|----|-----|
|                          |      | payback               | -15% | -10% | -5% | 0% | 5% | 10% |
| Inversión de la MMEE [%] | -15% | 4                     | 3    | 2    | 1   | 1  | 1  | 1   |
|                          | -10% | 5                     | 4    | 3    | 2   | 1  | 1  | 1   |
|                          | -5%  | 6                     | 5    | 4    | 3   | 2  | 1  | 1   |
|                          | 0%   | 7                     | 6    | 5    | 4   | 3  | 2  | 1   |
|                          | 5%   | 8                     | 7    | 6    | 5   | 4  | 3  | 2   |
|                          | 10%  | 9                     | 8    | 7    | 6   | 5  | 4  | 3   |
|                          | 15%  | 10                    | 9    | 8    | 7   | 6  | 5  | 4   |

Para comparar entre las distintas MMEE e identificar las de mayor conveniencia es útil generar un ranking en base criterios como ahorro energético, ahorro económico, tasa de retorno, dificultad de implementación, beneficios medio ambientales, entre otros, según los acordados con la organización auditada. Un ejemplo para realizar un ranking de MMEE es el siguiente:

- Dar prioridad a las MMEE de bajo o nulo costo detectadas, como las medidas de gestión.
- Definir presupuesto máximo de inversión y luego priorizar en base a uno o más factores.
- Asignar un factor de importancia a cada indicador económico y/o técnico obtenido, realizando un ranking basado en ponderaciones, como se presenta en el ejemplo de la Tabla 13.

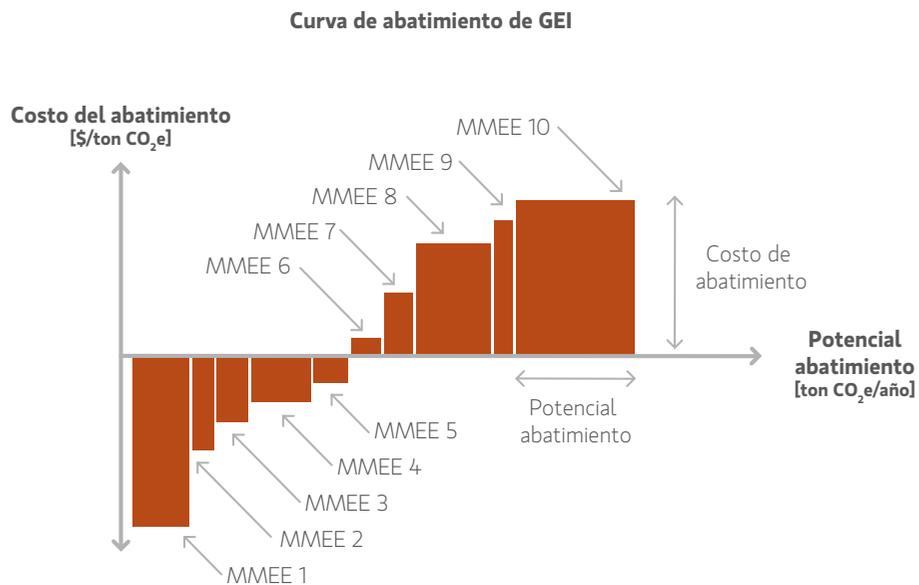
Otro método para la priorización de MMEE, es la elaboración de una Curva de costo marginal de abatimiento, que prioriza MMEE según sus costos y potenciales de reducción de energía o de emisiones de GEI (toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes anuales). Para su elaboración se considera el VAN obtenido para cada medida y la variación en la cantidad de energía o emisiones en caso de implementarse, para obtener su costo unitario de abatimiento. Con lo anterior se ordenan las MMEE evaluadas desde un menor a mayor costo, reflejando en el ancho de cada barra el potencial de abatimiento para el criterio evaluado, como se muestra en el ejemplo de la Ilustración 17.

La definición de criterios es un elemento clave para la confección del Plan de acción.

Tabla 14. Ejemplo ponderaciones para obtener ranking de MMEE

| Criterio evaluado del 0 al 10 | Inversión inicial | Ahorro energético | Retorno de inversión | Dificultad de implementación |         |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|----------------------|------------------------------|---------|
| Ponderación                   | 40%               | 25%               | 20%                  | 15%                          | Puntaje |
| MMEE 1                        | 10                | 9                 | 8                    | 1                            | 8,00    |
| MMEE 2                        | 8                 | 7                 | 3                    | 6                            | 6,45    |
| MMEE 3                        | 6                 | 2                 | 6                    | 10                           | 5,60    |

Ilustración 17. Curva de costo marginal de abatimiento de GEI



### 3.3.3 Plan de implementación para MMEE

Nivel 0    Nivel 1    Nivel 2    Nivel 3

De acuerdo al nivel de auditoría, se debe presentar un plan de acción de las medidas identificadas. En caso de niveles 1 y 2, este implica recomendaciones generales de las etapas para lograr la implementación de las medidas priorizadas, y los tiempos estimados para cada una de ellas.

En los niveles 2 y 3, junto a lo anterior se presentarán alternativas de modelos de negocio para la implementación. El mayor nivel de detalle en el nivel 3 está dado en consecuencia de la profundidad en la etapa de *Análisis de MMEE*, donde como resultado se tienen tanto costos como plazos de ejecución más precisos para las etapas de implementación.



## 4. Etapa Reporte

En este capítulo se presentan algunos lineamientos para la realización de los reportes de la AE que permiten el traspaso de información desde el equipo auditor a la entidad auditada, entregando detalles de las actividades realizadas, hallazgos, análisis y conclusiones.

### 4.1 Reporte(s) de avance

El alcance del reporte de avance se debe definir en las reuniones iniciales, dado que es parte del alcance de la auditoría y sirve para mostrar resultados de manera parcial. Según el nivel de AE, este puede ser opcional, o también reemplazado por una reunión intermedia.

En esta instancia se pueden validar los resultados intermedios del *Tratamiento de información y análisis de situación actual* y presentar ideas de MMEE identificadas durante este proceso, para conocer cuáles pueden resultar de mayor interés para la organización auditada, enfocando en estas la *Evaluación técnica y económica*.

### 4.2 Reporte final

El informe final tiene que resumir el estado actual del consumo energético, la metodología usada para el levantamiento y mediciones, las MMEE identificadas y los supuestos utilizados para llegar a ellas, y recomendaciones de próximos pasos. El principal objetivo del reporte final es traspasar todos los antecedentes a la organización auditada, que le permitan tomar decisiones respecto a su actual comportamiento energético y las MMEE de mayor conveniencia a implementar. Debe contener como mínimo las siguientes secciones y contenidos:

- **Resumen ejecutivo:** Resumen de usos y consumos de energía del recinto y nombrar las MMEE más relevantes.
- **Contexto:** Resumen de la entidad auditada y descripción general de la AE realizada, con los alcances y objetivos.
- **Resultados de la AE:** En esta sección se detallan los resultados del análisis de la información recibida, levantamiento en terreno y mediciones. Los análisis a contener fueron detallados en su sección respectiva.

- **MMEE:** Se debe detallar cada MMEE identificada, precisando supuestos utilizados y metodología de cálculo. Debe incluir tanto la evaluación técnica como económica, y entregar un ranking de medidas de acuerdo a los criterios convenidos entre el equipo auditor y la entidad auditada. Deben entregarse recomendaciones generales de implementación.

- **Conclusiones.**

- **Anexos (si aplica).**

Hay que destacar que se debe consensuar entre ambas partes el formato y contenido del informe. Esta adecuación puede ser desde una presentación ejecutiva hasta un informe técnico. Por otra parte, se deben acordar también los anexos a entregar, donde se puede considerar la información recopilada, mediciones, memorias de cálculo, etc.

# Anexos

## Anexo 1. Elección del nivel de AE

Para orientar la elección del nivel de AE, es importante identificar los requerimientos y expectativas que la organización busca resolver con la realización de la auditoría. Esto define el grado de detalle en que les es útil obtener los análisis del actual consumo y comportamiento energético, como también define qué tan precisos deben ser los resultados de los estudios de MMEE identificados, según se encuentren en definiciones preliminares o en los pasos previos a implementar medidas.

Como ha sido mencionado en las primeras secciones de esta guía, existe una relación directa entre el nivel de AE y los recursos que sean necesarios para su realización, reflejándose aquello en los tiempos del equipo auditor, los tiempos de la organización, el detalle y cantidad de información que se debe recopilar, requerimientos técnicos, entre otros, lo que impacta finalmente en los costos económicos que la organización deba cubrir para su realización.

Por lo anterior, la organización debe definir el nivel de AE, considerando siempre los recursos disponibles para su realización. Cuando existen altas expectativas en el desarrollo de la AE, pero no es posible llevarlas a cabo en la realización de un único diagnóstico, por los costos que este implica, puede ser práctico considerar la realización parcializada de auditorías, planificando de un periodo a otro diagnósticos que avancen en nivel de detalle o que amplíen la cobertura de las instalaciones, lo cual dependerá de los objetivos y prioridades específicas de cada organización, ya que es esta la que determina el enfoque de estos aspectos de acuerdo a sus requerimientos particulares.

Dicho lo anterior, para orientar a la organización en la elección del nivel de AE, se presenta la siguiente herramienta, que apoya la identificación de los resultados, usos o productos que son de interés para la organización, definiendo con ello qué nivel de AE es conveniente elegir para cumplir con estos requerimientos. La tabla de evaluación se divide en dos tipos de resultados de la AE, uno de ellos corresponde a la *Comprensión del consumo energético*, que abarca todos los aspectos y análisis enfocados a la situación energética actual de la organización, y el siguiente tipo de resultado corresponde a la *Identificación y evaluación de MMEE*, que incluye los análisis de las oportunidades de mejora que se pueden trabajar en el desarrollo de la AE. El objetivo es que la organización indique, del listado total de resultados, cuáles son de su interés, espera obtener o usar, una vez realizada la AE.

Para algunos de los resultados de la lista se podrá observar que la realización de más de un nivel aplica para su obtención, para lo cual se debe recordar que los niveles van avanzando en cantidad y detalle de la información trabajada, por lo que los niveles más altos incluyen los resultados de los niveles anteriores, pero estos se obtienen con mayor precisión al ejecutarse con más dedicación de recursos, como fue explicado en las primeras secciones de la guía.

A continuación, se encuentra la tabla de evaluación para ser usada por la organización.

| ¿Son de interés o espera usar estos resultados de la AE?  | Si / No | Nivel de AE que aplica para el resultado seleccionado <sup>7</sup> |   |   |   |
|---|---------|--|---|---|---|
|   |         | 0  | 1 | 2 | 3 |
| <b>Comprensión del comportamiento energético</b>  |         |  |   |   |   |
| Obtener lineamientos para orientar un futuro análisis de mayor detalle  |         | ✓  | ✓ | ✓ |   |
| Conocer alternativas de suministro y facturación energética   |         |  | ✓ | ✓ | ✓ |
| Reportar el consumo energético a actores internos o externos  |         |  | ✓ | ✓ | ✓ |
| Elaborar la Revisión Energética de un SGE   |         |  | ✓ | ✓ | ✓ |
| Mejorar el análisis de comportamiento en equipos de mayor consumo energético  |         |  | ✓ | ✓ | ✓ |
| Planificar el suministro y uso futuro de la energía conociendo los flujos energéticos desde las fuentes hasta su uso final                    |         |  |   | ✓ | ✓ |
| Caracterizar el perfil de demanda energética de la instalación a partir de mediciones generales   |         |  |   | ✓ | ✓ |
| Asegurar la correcta operación al identificar el comportamiento y anomalías en equipos específicos  |         |  |   |   | ✓ |
| <b>Identificación y evaluación de MMEE</b>  |         |  |   |   |   |
| Identificar medidas de mejora generales en base a las características de la instalación   |         | ✓  | ✓ | ✓ | ✓ |
| Aplicar mejoras de bajo o nulo costo en base a recomendaciones generales  |         | ✓  | ✓ | ✓ | ✓ |
| Tomar decisiones en base a perfiles técnicos y económicos de las medidas generales priorizadas  |         |  | ✓ | ✓ | ✓ |
| Trabajar en base a un plan de acción para las medidas evaluadas   |         |  |   | ✓ | ✓ |
| Tomar decisiones basadas en la prefactibilidad técnica y económica de mejoras específicas, en base al comportamiento operacional y energético |         |  |   | ✓ | ✓ |
| Evaluar resultados de distintos modelos de negocio para la ejecución de las medidas priorizadas   |         |  |   |   | ✓ |
| Evaluar la factibilidad técnica y económica para avanzar en la ingeniería de detalles e implementación de medidas priorizadas                 |         |  |   |   | ✓ |

7. Para una mejor comprensión de la evaluación, es útil revisar las definiciones de cada nivel de AE, realizadas en la sección Niveles de AE.

Para interpretar los resultados obtenidos de la tabla se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Deben ser consideradas todas las opciones marcadas con si, donde aquella en que menos niveles de AE apliquen, definirá los niveles menores de AE que ya no son útiles para los intereses de la organización y entregará los niveles más altos que aún podrían ser realizados.
- Si el resultado seleccionado con menos niveles que aplican incluye más de un nivel de AE, se debe discriminar cuál elegir de acuerdo a las definiciones entregadas de cada nivel, para elegir cuál es más adecuado considerando el nivel de detalle en que se requiere ese resultado en particular.
- Cuando la selección de algunos resultados está enfocada en el interés particular para secciones específicas de la instalación, se puede diferenciar en un nivel de AE que aplique de forma general para todas las áreas que sean incluidas, de acuerdo a los criterios ya descritos, y precisar para qué secciones en particular se espera lograr los resultados más específicos que indican niveles de AE más altos.



Anexo 2. Detalle de uso final y tecnologías para sistemas y procesos de la industria minera.

| Sistema  | Uso final                           | Tecnologías   |
|--|-------------------------------------|---|
| <b>Sistema Eléctrico</b><br>Equipos y componentes para la generación, distribución y regulación de energía eléctrica   | Generación de electricidad          | Grupos electrógenos, sistema solar fotovoltaico, turbina eléctrica, cogenerador, etcétera   |
|  | Otros equipos del sistema eléctrico | Tableros eléctricos de distribución, fuerza, control y alumbrado, transformadores de tensión, inversores, empalmes eléctricos, VDF, banco de condensadores, filtro de armónicos   |
| <b>Extracción</b><br>Obtención de la materia prima de una faena minera de rajo abierto y/o subterránea, para posterior tratamiento en una planta de procesamiento del mineral  | Preparación tronadura               | Perforadora con martillo en cabeza, con martillo en fondo, con taladro neumático manual, rotativa; cargador de bajo perfil; rotopala; pala eléctrica; camión minero; compresores; motores de inducción; bombas hidráulicas; motores combustión interna; generadores |
|  | Transporte mineral ROM              | Camiones mineros, ferrocarril, correas transportadoras, huinches, motores de combustión interna, motores eléctricos, compresores, bombas hidráulicas, generadores   |
| <b>Beneficio</b><br>Reducción de tamaño y separación del mineral útil de los componentes estériles, o gangas, por medio de métodos físicos y/o químicos<br><br><b>Concentración</b><br>Chancado: Proceso que permite disminuir y homogenizar el tamaño de la roca mineralizada que ha sido extraída de la mina hasta dimensiones de media pulgada<br><br>Molienda: Proceso para reducir la granulometría de la roca a tamaños menores a los 2 [mm] de acuerdo a los requerimientos de las siguientes etapas<br><br>Flotación: las celdas de flotación se hace burbujear aire desde el fondo de manera que las partículas de mineral de cobre presenten en la pulpa se adhieran a la burbuja de aire y suban con ellas acumulándose en la espuma<br><br><b>Lixiviación (lx)</b><br>Proceso hidrometalúrgico que consiste en la disolución en ambiente ácido de uno o más elementos del sólido que se lixivía, para ser recuperado en etapas posteriores | Reducción de tamaño mineral         | Chancador de mandíbula, de cono, giratorios, de rodillos de alta presión, de impacto; molinos SAG, de bolas, de barras; harnero rotativo, vibratorio, grizzly, sieve bend; prensa de rodillos, motores eléctricos   |
|  | Aumento concentración mineral       | Concentrador magnético, pilas de lixiviación, celdas de flotación, agitador, espesador, aglomerador, hidrociclones, centrifugas, filtros de vacío, filtros de presión, discos peltizadores, bombas, soplador, compresor, motor eléctrico.                           |
| <b>Fundición</b><br>Proceso que, por medio de energía térmica, lleva al concentrado de mineral a estado líquido, con el objetivo de separar el mineral útil de elementos no deseados y moldear el producto al formato requerido. Se puede presentar aguas arriba o abajo de la etapa de refinación   | Fusión de concentrados              | Hornos de fusión flash, de fusión en baño o suspensión, de inyección en baño líquido, de inducción; puentes grúas; rueda de moldeo; motores.  |



| Sistema   | Uso final                   |   |
|---|-----------------------------|---|
| <p><b>Refinación</b></p> <p>Proceso destinado a separar las impurezas de un producto metálico obtenido por fundición, ya sea mediante procesos térmicos o electroquímicos</p> <p><b>Extracción por solvente (Sx)</b></p> <p>Método de separación de un elemento en específico desde una solución que lo contiene mediante el uso de solventes y procesos de agitación</p> <p><b>Electro-obtención (Ew)</b></p> <p>Proceso electrometalúrgico que se realiza en celdas electrolíticas, donde se disponen ánodos y cátodos dentro de una solución electrolítica previamente concentrada, donde por medio de corrientes eléctricas de baja intensidad, se producen concentraciones de mineral de elevado nivel de pureza</p> | Conversión                  | Hornos de calentamiento directo, de suspensión en torre de reacción, inyección en baño líquido; convertidores discontinuos, continuos; puentes grúas; combustible |
|   | Refinación a fuego          | Horno basculante, horno anódico; puentes grúas; combustible; motores  |
|   | Tratamiento térmico         | Horno rotatorio, de parrilla; enfriador anular; combustible; motores  |
|   | Electro-refinación          | Cubas electrolíticas, rectificador de corriente, transformadores  |
|   | Electro-obtención           | Cubas electro-obtención, rectificador de corriente, transformadores   |
| <p><b>Procesos auxiliares</b></p>   | Transporte entre procesos   | Correas transportadoras, rodillos transporta ferrocarril, puentes grúa, tornillos transportadores; motores eléctricos, de combustión interna, moto-reductores     |
|   | Impulsión de agua           | Bombas de agua  |
|   | Ventilación                 | Ventiladores radiales, axiales, de flujo mixto (para inyección o extracción de aire a baja, media o alta presión); compresor                                      |
|   | Transporte relaves y pulpas | Mineroducto, bombas sumergibles   |
|   | Tratamiento de gases        | Filtro de mangas, filtros de aire, precipitadores electroestáticos, lavador de gases  |
|   | Producción ácido sulfúrico  | Convertidor catalítico, intercambiadores de calor, absorbedor, bombas   |
|   | Producción oxígeno          | Filtros, compresores, intercambiadores de calor, torre de enfriamiento, purificadores, columna de destilación, bombas, ventiladores                               |

Anexo 3. Planillas de ejemplo para el levantamiento de información en terreno

| Detalle de equipos eléctricos, consumos y condición de operación |          |                    |                      |          |                  |                      |                       |                                   |                   |
|--|----------|--------------------|----------------------|----------|------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------------------|-------------------|
| Sector   | Equipo   | Punto de operación | Potencia nominal [W] | Cantidad | Factor de carga* | Horas de uso [h/día] | Factor de operación** | Días de funcionamiento por semana | Uso de la energía |
| Zona 1   | Equipo 1 |                    |                      |          |                  |                      |                       |                                   | Sistema 1         |
| Zona 2   | Equipo 2 |                    |                      |          |                  |                      |                       |                                   | Sistema 1         |
| Zona 3   | Equipo 3 |                    |                      |          |                  |                      |                       |                                   | Sistema 2         |

\* Porcentaje de potencia a la que opera el equipo respecto de su potencia nominal

\*\* Porcentaje de horas en que el equipo opera a potencia máxima respecto del total de horas de uso

| Detalle de equipos térmicos, consumos y condición de operación |          |                    |                      |          |                        |                      |                     |                                   |                   |                   |
|--|----------|--------------------|----------------------|----------|------------------------|----------------------|---------------------|-----------------------------------|-------------------|-------------------|
| Sector   | Equipo   | Punto de operación | Potencia nominal [W] | Cantidad | Rendimiento Eficiencia | Horas de uso [h/día] | Factor de operación | Días de funcionamiento por semana | Uso de la energía | Fuente de energía |
| Zona 1   | Equipo 1 |                    |                      |          |                        |                      |                     |                                   | Sistema 1         | Energético 1      |
| Zona 2   | Equipo 2 |                    |                      |          |                        |                      |                     |                                   | Sistema 1         | Energético 2      |
| Zona 3   | Equipo 3 |                    |                      |          |                        |                      |                     |                                   | Sistema 2         | Energético 2      |

\* La potencia térmica puede ser obtenida de la placa, ya sea como tal, o como área de calefacción, BTU, Kcal/h, kg de vapor por hora, etc.

\* La potencia eléctrica de equipos auxiliares, tales como quemadores y bombas debe ir en la sección electricidad

| Detalle de equipos de iluminación, consumos y condición de operación |          |              |                         |          |                      |                       |                                   |
|--|----------|--------------|-------------------------|----------|----------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| Sector   | Equipo   | Potencia [W] | Factor equipo auxiliar* | Cantidad | Horas de uso [h/día] | Factor de operación** | Días de funcionamiento por semana |
| Zona 1   | Equipo 1 |              |                         |          |                      |                       |                                   |
| Zona 2   | Equipo 2 |              |                         |          |                      |                       |                                   |
| Zona 3   | Equipo 3 |              |                         |          |                      |                       |                                   |

\*Ballast, arrancadores, condensadores, entre otros

\*\*Depende de sensores u control del equipo

Anexo 4. Aspectos legales y recomendaciones para la evaluación e implementación de MMEE

| Norma/decreto           | Institución   | Descripción   | Aplicabilidad   |
|-------------------------|---|---|---|
| <b>D.S N° 594</b>       | Ministerio de salud   | Nivel de iluminación óptimo para tareas/zonas   | Evaluación de confort lumínico actual y evaluación para recambio de luminarias      |
| <b>Decreto 59</b>       | Ministerio Secretaría General de la Presidencia; Comisión Nacional del Medio Ambiente | Establece norma de calidad primaria para material particulado respirable MP10, en especial de los valores que definen situaciones de emergencia | Evaluación de MMEE que afecten directamente procesos emisores y al control de estas |
| <b>NCh Elec. 4/2003</b> | SEC   | Directrices para instalaciones eléctricas de baja tensión   | Requisitos para implementación de MMEE con consumo eléctrico                        |
| <b>D.S. N° 66</b>       | SEC   | Reglamento de instalaciones interiores de gas   | Requisitos para implementación de MMEE con consumo de gas                           |
| <b>NCh3000 Of2006</b>   | Ministerio de energía   | Ley de etiquetado de EE   | Consideración para compra de equipos de consumo eléctrico y térmico                 |
| <b>Decreto 11 y 11T</b> | Ministerio de energía   | Antecedentes de tarifas eléctricas para clientes regulados  | Consideraciones para análisis de facturación y tarifario                            |

Anexo 5. MMEE tipo para sistemas y procesos de la industria minera

| Sistema o proceso               | Medida   | Comentarios/Ejemplos   |
|---------------------------------|--|--|
| <b>Sistema Eléctrico</b>        | Diversificar fuente energética                       | Incorporación de grupos electrógenos, sistema solar fotovoltaico, turbina eólica, cogenerador, entre otros   |
|                                 | Mejorar condiciones de abastecimiento eléctrico      | Incorporar bancos de condensadores, filtros de armónico y RLC, entre otros   |
| <b>Extracción</b>               | Implementar tronadura selectiva                      | Perforadoras con sensores de mapeo de dureza de la roca para obtener tamaños de mineral uniformes y adecuados para optimizar posteriores etapas de conminución   |
| <b>Concentración</b>            | Optimizar configuración de operación de equipos      | Operar equipos a carga cercana a la nominal para lograr puntos de operación de mayor eficiencia respecto condiciones de operación a sobrecarga o reducida  |
|                                 | Implementar sistema de control en tiempo real        | Ajuste de operación de equipos en base a las variaciones en tiempo real del tamaño de mineral durante el proceso de conminución  |
|                                 | Recambio de tecnología para procesos de conminución  | Molienda autógena, molinos HPGR, stirred milling para finos, cambio de bolas   |
|                                 | Pre-concentración                                    | Incorporar sistemas de control para diferenciar post chancado cuerpos rocosos que tienen ley económicamente conveniente Optimizar procesos selectivos para lograr granulometrías uniformes en equipos de conminución                 |
|                                 | Recambio de tecnología para procesos de flotación    | Celdas de flotación tipo Jameson u otras de alta eficiencia  |
|                                 | Disminuir pérdidas de energía térmica en lixiviación | Cubrir pilas y piscinas para reducir evaporación de agua y lograr mayor estabilidad de temperatura   |
| <b>Fundición y/o refinación</b> | Disminuir pérdidas energía eléctrica                 | Sistemas de control y detección corto circuitos en celdas electrolíticas   |
|                                 | Disminuir pérdidas de energía térmica                | Aislación de celdas electrolíticas y ductos que transportan electrolito  |
|                                 | Recuperación de calor                                | Recuperadores de calor para uso en procesos térmicos, generación de electricidad y/o sistemas de refrigeración (procesos de absorción o adsorción) Recuperación de calor para acondicionamiento de electrolito y limpieza de cátodos |
|                                 | Recambio de tecnologías                              | Recambio de quemadores por tecnología más eficientes Cambiar agente reductor por hidrógeno Uso de energía termo solar para acondicionar electrolito  |
| <b>Transporte</b>               | Implementar sistema de gestión de carga              | Sistemas de control para automatización de carga óptima en camiones y correas transportadoras  |
|                                 | Gestión de operación                                 | Mejorar planificación, disminuir tiempos de ralenti, capacitar en buenas prácticas de conducción   |
|                                 | Realizar operación bajo demanda                      | Incorporar sistemas de control y VDF para regular operación en base a requerimientos de carga  |
|                                 | Recuperación de energía en correas transportadoras   | Generación de electricidad por medio de correas transportadoras regenerativas  |
|                                 | Recambio de tecnologías                              | Incorporar chancadores primarios móviles, correas transportadoras overland, tolvas ligeras, camiones autónomos, vehículos eléctricos   |

| Sistema o proceso     | Medida   | Comentarios/Ejemplos   |
|-----------------------|--|--|
| Producción de oxígeno | Controlar sistema de producción de oxígeno                     | Sistemas de control para optimización en producción de oxígeno   |
| Ventilación           | Implementar sistemas de control                                | Incorporar VDF y sistemas de control para modulación de la ventilación acorde a la demanda específica y para optimización de puntos de operación   |
|                       | Disminuir pérdidas de carga                                    | Recambio o selección de ductos de ventilación con menor coeficiente de roce  |
| Sistemas de bombeo    | Implementar sistema de control                                 | Incorporar VDF y sistemas de control para optimización de impulsión de fluidos acorde a la demanda específica. Incorporar sistemas de reserva o acumulación  |
|                       | Recambio de equipo   | Recambio por sobre o subdimensionamiento de equipo actual<br>Recambio por tecnología más eficiente   |
|                       | Disminuir consumo de agua para abatimiento de polvo en caminos | Utilizar barras aspersoras con dosificadores de boquilla o inyectores<br>Utilizar supresores de polvo  |
|                       | Recuperación de energía  | Instalación de PAT o turbinas generación en mineroductos con pendiente hidráulica  |
| Aire comprimido       | Implementar sistema de control                                 | Incorporar VDF y sistema de control para modulación de operación de acuerdo a requerimiento de aire comprimido   |
|                       | Disminuir pérdidas de energía                                  | Disminuir filtraciones en la línea<br>Incluir estanques de acumulación   |
| Iluminación           | Recambio de equipos  | Reemplazo de luminarias por tecnologías de mayor eficiencia  |
|                       | Disminución de tiempos de operación                            | Implementación de sensores para encendido y apagado de iluminación en espacios exteriores de faena minera  |
| Gestión               | Implementación de sistemas de obtención y control de datos     | Sistemas de telemetrías para la sistematización de datos operacionales (antecedentes para uso en optimización de consumo según comportamientos del mineral en procesos específicos) Automatización de procesos |
|                       | Gestión y análisis de variables energéticas                    | Seguimiento y desarrollo de indicadores y variables críticas que permitan optimizar consumos y procesos  |
|                       | Mejorar programas de mantenimiento                             | Implementar y/o mejorar procedimientos de mantenimiento que afecten el consumo energético de los equipos   |
|                       | Mejorar hábitos de operación                                   | Establecer y capacitar en buenas prácticas para optimizar para la operación de equipos   |
|                       | Criterios de diseño  | Consideraciones de eficiencia en componentes y lógica operacional de ampliaciones y modificaciones que impacten el consumo energético  |



Monseñor Nuncio Sótero Sanz N° 221, Providencia, Santiago - Chile  
+56 2 2571 2200 | [www.agenciase.org](http://www.agenciase.org) | [info@agenciase.org](mailto:info@agenciase.org)

 /AgenciaSE

 @AgenciadeSE

 Sostenibilidad Energética