



**IDENTIFICAR LAS MEJORES PRÁCTICAS NACIONALES E
INTERNACIONALES EN LOS ÁMBITOS DE PROCESOS, GESTIÓN Y
TECNOLOGÍAS PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA EN LA
GRAN MINERÍA NACIONAL**

Informe Final
Preparado por el

Programa de Estudios e Investigaciones en Energía (PRIEN)
Instituto de Asuntos Públicos
Universidad de Chile

Santiago, 22 de Septiembre de 2009

Índice

1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS	4
2. BUENAS PRÁCTICAS IMPLEMENTADAS A NIVEL NACIONAL	5
2.1 Anglo American	5
2.1.1 Control de estación de bombeo mediante VDF, Los Bronces.....	5
2.1.2 Campaña de uso responsable de la energía.....	6
2.2 Barrick-Zaldívar	7
2.2.1 Predictor de demanda.....	7
2.3 BHP Billiton Base Metals	8
2.3.1 Rendimiento energético de chancado en Spence.....	8
2.3.2 Uso eficiente del Diesel en Lixiviación de Sulfuros en Minera Escondida.....	9
2.4 CODELCO	10
2.4.1 Mejora sistemas de ventilación en mina subterránea: CODELCO Andina.....	10
2.4.2 Control automático de producción de oxígeno, Fundición Potrerillos, División Salvador.....	11
2.4.3 Gestión de demanda máxima.....	12
2.4.4 Optimización de consumo de combustible en secado de concentrado, Fundición División Salvador.....	13
2.5 Compañía Minera del Pacífico	14
2.5.1 Mejoras en eficiencia energética – Mina El Romeral.....	14
2.6 Compañía Minera Los Pelambres	14
2.6.1 Correa regenerativa.....	15
2.6.2 Uso de Aceites Lubricantes Residuales en Tronaduras.....	16
2.6.3 Control de Demanda Máxima en Hora de Punta.....	17
2.7 ENAMI	18
2.7.1 Cambio tecnológico en procesamiento de minerales oxidados.....	18
2.7.2 Control de Demanda Máxima.....	18
2.8 Cemento Polpaico	19
2.8.1 Co-procesamiento de residuos industriales – Cemento Polpaico.....	19
2.9 Xstrata Cooper	21
2.9.1 Control de demanda máxima.....	21
3. BUENAS PRÁCTICAS IMPLEMENTADAS A NIVEL INTERNACIONAL	22
3.1 U.S. Steel Corp: Mejoramiento de la eficiencia en procesos térmicos	22
3.1.1 Análisis de las opciones.....	25
3.2 Coeur Rochester Inc	26
3.3 Tarmac Limited	29
3.4 Kennecott Utah Copper Corporation	30
3.5 Newmont Mining Corporation	32
3.6 Rio Tinto Energy America	34
3.7 Industrias Peñoles	36
3.8 Xstrata PLC	37
4. ANÁLISIS DE LA NORMATIVA RELACIONADA CON GESTIÓN ENERGÉTICA	38

4.1 IEEE Std 739-1995 IEEE Recommended Practice for Energy Management in Industrial and Commercial Facilities	38
4.2 ANSI/MSE 2000:2005 A Management System for Energy.....	39
4.3 ISO 50001 Energy management systems	39
4.4 Norma de Eficiencia Energética en Proyectos de Inversión (NCC-32) de CODELCO.....	40
4.5 International Performance Measurement and Verification Protocol y Guía para determinar condiciones de medición de consumo energético.....	41
4.6 Análisis comparativo entre las normas mencionadas.....	41
5. CONCLUSIONES: RECOPIACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS PARA LA MINERÍA.....	43

1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

El presente informe tiene como objetivo principal dar cuenta de una recopilación de buenas prácticas nacionales e internacionales, orientadas a aumentar la eficiencia en los procesos productivos, logrando disminuir el consumo específico de energía en las empresas y educar a sus trabajadores para que, eventualmente, traspasen el concepto de eficiencia a sus propias faenas y, en algunos casos, a sus propios hogares.

Como objetivos específicos se mencionan:

1. **Recopilación de buenas prácticas a nivel nacional:** las cuales deben ser aplicables a los procesos mineros.
2. **Recopilación de experiencias internacionales:** se entrega un conjunto de buenas prácticas probadas a nivel internacional, mostrando los resultados obtenidos.
3. **Estudio de la normativa relacionada con la gestión de energía:** Se analizaron las normas mencionadas a continuación, las cuales están en directa relación con la adecuada gestión de recursos energéticos.
 - a) La Norma IEEE Std. 739 IEEE Recommended Practice for Energy Management in Industrial and Commercial Facilities. (Organizing for energy management, translating energy into cost, energy management for motors, systems and electric equipment, metering, energy management for lighting systems, Cogeneration.)
 - b) La Norma ANSI/MSE 2000:2005 A Management System for Energy, aprobada como Norma ANSI (American National Standard).
 - c) La Norma ISO 50.001 Energy Management Systems (en preparación).
 - d) Norma de Eficiencia Energética en Proyectos de Inversión (NCC-32) de CODELCO.
 - e) La Norma International Performance Measurement and Verification Protocol equivalente a la Norma NCh3045.Of2007 Guía para determinar condiciones de medición de consumo energético.

2. BUENAS PRÁCTICAS IMPLEMENTADAS A NIVEL NACIONAL

Las empresas que conforman la MMEE han realizado numerosos esfuerzos por hacer más eficientes sus procesos. A continuación se presentan en forma resumida los aspectos principales de las mejores prácticas en el uso eficiente de la energía a nivel de las empresas integrantes de la MMEE y otras del rubro, que han resultado relevantes.

2.1 Anglo American

Anglo American opera en Chile desde el año 1980. Posee y opera cuatro divisiones (Los Bronces, El Soldado, Mantos Blancos y Mantoverde) y una fundición (Chagres), además de contar con el 44% de la propiedad de La Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi.

La empresa produjo en 2007 un total de 655.003¹ toneladas de cobre fino (entre cátodos y concentrado), 164.107 toneladas de ánodos de cobre y 493.382 toneladas de ácido sulfúrico. El consumo eléctrico de la empresa (sin contabilizar Collahuasi) en 2007 fue de 1.255 GWh, y el consumo energético total alcanzó los 8,2 PJ.

2.1.1 Control de estación de bombeo mediante VDF, Los Bronces

Pensando en disminuir la demanda de agua fresca en Los Bronces, Anglo American implementó un sistema de control de velocidad para los motores de una estación de bombeo basado en variadores de frecuencia especialmente acondicionados para operar con bombas de impulsión.

Figura 1: Estación de bombeo en Los Bronces



Este sistema de control permite incrementar la vida útil de los motores y disminuir sus períodos de mantenimiento debido a que quedan sometidos a menores esfuerzos mecánicos durante las

¹ Producción incluye participación en Collahuasi.

partidas. Otra ventaja importante es el ahorro de energía, obteniéndose una reducción del consumo en la estación de bombeo de alrededor de 7%.

Tabla 1: Beneficios obtenidos por el control en la estación de bombeo en Los Bronces

	Ahorro Energía	Inversión US\$
Control estación bombeo mediante variadores de frecuencia	7% del consumo de la estación	Entre 300 mil y 1 millón

Un desafío importante a tener en cuenta durante la implementación fue el evitar la interrupción del suministro de agua, lo que requirió una puesta en marcha del nuevo sistema en forma sincronizada con los equipos en operación.

El control de flujo para bombas por medio de variadores de frecuencia es una práctica recomendable para todos los procesos de flujo variable. Es importante considerar que la instalación de un variador de frecuencia tiene aparejada la adquisición de un motor eficiente, lo que no sólo significa una disminución del consumo energético por la reducción de pérdidas, sino que además se observa una disminución en las fallas, y por tanto, un aumento en la confiabilidad de los procesos.

2.1.2 Campaña de uso responsable de la energía

La campaña consiste en la promoción del uso responsable y eficiente de la energía, tanto en las prácticas desarrolladas como empresa, como entre sus empleados y las comunidades cercanas a las faenas. Dicha campaña se inició el año 2004, fijándose una meta de 15% de incremento de la eficiencia en el uso de la energía al año 2014 en relación con la línea base (año 2004).

Actualmente se persiguen los mismos objetivos conservando las metas, pero se miden los ahorros con respecto a una línea base modificada, la que da cuenta del incremento en el consumo específico por unidad de mineral debido a factores propios de la operación minera (aumento en la dureza del mineral a mayor profundidad, menor ley del mineral, distancias mayores, etc).

El desarrollo de esta campaña significó, en el año 2006, la obtención del Premio País de Eficiencia Energética en otorgado por la Confederación de la Producción y el Comercio (CPC).

Es importante destacar que una campaña de estas características puede ser replicada en cada una de las empresas. Esto significará no solo un beneficio para la empresa, sino que se estará en la línea de la Responsabilidad Social Empresarial (RSE), dado que se contribuye a la mejora en la calidad de vida de las personas al hacerlos tomar conciencia del rol que cumplen en el cuidado del medio ambiente, y por consiguiente, en el uso responsable de la energía.

2.2 Barrick-Zaldívar

Barrick es una empresa con más de 25 años de experiencia en minería a nivel mundial. Actualmente, en nuestro país opera el yacimiento cuprífero Zaldívar, ubicado a 175 km de la ciudad de Antofagasta. La faena cuenta con una capacidad de producción de 125.000 toneladas anuales, siendo su principal producto los cátodos de cobre de alta pureza.

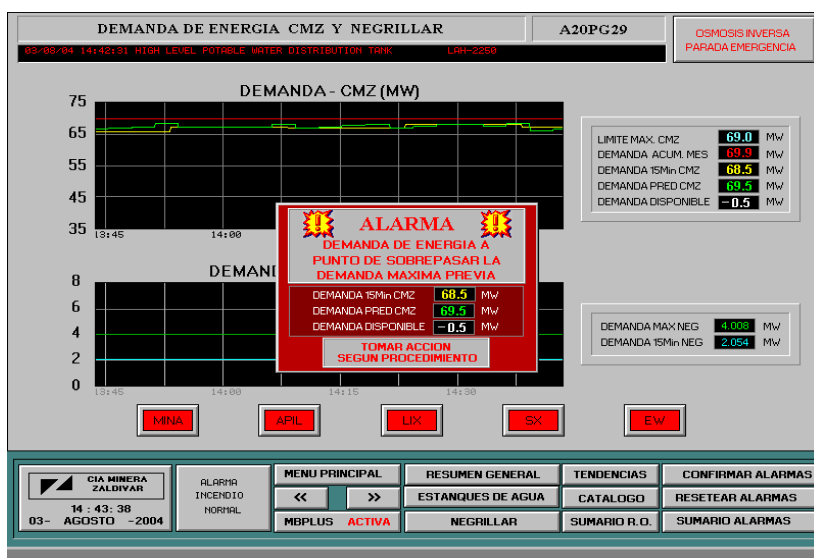
Por otra parte, la empresa se encuentra actualmente llevando a cabo el proceso de cierre de la mina El Indio, ubicada en la región de Coquimbo, y desarrollando el primer proyecto minero binacional a nivel mundial, el proyecto Pascua-Lama, ubicado en la frontera entre Chile y Argentina.

El consumo eléctrico de la empresa durante el año 2007 fue de 535 GWh y su consumo energético total alcanzó 1,9 PJ².

2.2.1 Predictor de demanda

Barrick implementó un sistema capaz de predecir la demanda de la planta en los minutos siguientes, a partir del estado actual, lo que permite ejecutar acciones de control, previo llamado de alerta a los operarios.

Figura 2: Alarma en el predictor de demanda de Barrick



Se comenzó en el mes de Junio de 2004 fijando una referencia de 69 MW como demanda máxima, siendo esta normalmente superior a 71 MW. El éxito de la implementación del sistema llevó a bajar esta referencia a 67 MW en un lapso de 6 meses aproximadamente.

² 1 PJ = 1.000.000 GJ

Esta diferencia ha significado para la empresa ahorros mensuales del orden de US\$40.000 a contar de agosto de 2004.

Tabla 2: Beneficios del predictor de demanda de Barrick

	Ahorro		Inversión	Período de Recuperación de la Inversión (años)
	Potencia	US\$/mes		
Predictor de demanda	4 MW	40.000	< US\$50.000	0,1

Las dificultades enfrentadas se relacionan principalmente con el rechazo de parte de los operarios frente al cambio de sistema, mostrándose escépticos sobre los beneficios obtenibles. Estas dificultades iniciales fueron superadas luego de la capacitación impartida a los operarios en relación al manejo del sistema, y, durante la operación misma, al observar resultados positivos.

2.3 BHP Billiton Base Metals

BHP opera actualmente seis yacimientos de cobre a nivel mundial, de los cuales tres se encuentran en Chile: Spence con un 100% de propiedad, Cerro Colorado con un 100% de propiedad y Escondida con un 57,5% de propiedad.

Durante el año 2008, la empresa produjo un total de 1.523.973 toneladas de cobre fino, siendo sus principales productos el concentrado y los cátodos de cobre. El consumo eléctrico en dicho año fue de 3.870 GWh, y el consumo energético total alcanzó los 25,1 PJ.

2.3.1 Rendimiento energético de chancado en Spence

El proyecto consiste en establecer una operación coordinada de los equipos de chancado de modo de disminuir el número de equipos operando en simultáneo, procurando mantener intacto el nivel de producción. A partir de un estudio preliminar, y efectuando diversas mediciones, se concluyó que la operación en simultáneo de tres chancadores a carga cercana a la nominal resulta equivalente a la operación de los cinco equipos, que operan actualmente, a carga reducida. La operación de los equipos a carga cercana a la nominal resulta en un consumo específico de electricidad menor debido a la mayor eficiencia con que operan dichos equipos, puesto que la eficiencia disminuye al reducirse el nivel de carga a partir de su condición nominal.

Gracias a la implementación del proyecto se obtuvo un ahorro de 1.432 GJ en el consumo de energía y una reducción de 396 Ton de CO₂ entre los meses de junio a diciembre de 2008, en que se efectuaron las mediciones.

El proyecto no significó inversión efectiva alguna para la empresa: sólo el tiempo y los recursos humanos dedicados.

Tabla 3: Beneficios de planificación del uso de chancadores en Spence

	Ahorro Energía GJ	Inversión US\$
Operación coordinada de chancadores	1.432 junio-diciembre 2008	0

La principal dificultad durante la implementación resultó ser la coordinación de la operación y la salida de dos de los equipos. Posteriormente se han encontrado dificultades debido al aumento en la dureza del mineral en comparación con la utilizada para desarrollar los estudios preliminares.

Las posibilidades de transferibilidad de esta medida están dadas por las características particulares de cada faena. Sin embargo, la programación de operaciones y la utilización de equipos a plena carga es una opción importante de considerar, dado que entrega importantes beneficios sin representar una inversión pecuniaria.

2.3.2 Uso eficiente del Diesel en Lixiviación de Sulfuros en Minera Escondida

El proyecto consiste en la búsqueda de una operación óptima de los calentadores utilizados en el proceso de lixiviación sin afectar la producción. Para lograr esto fue necesario el reemplazo de los equipos de control automático de combustión y la instalación de equipos de respaldo, de modo que sea posible la operación controlada aún en caso de falla de uno de los equipos. Estos equipos de control automático permiten mantener la llama en el nivel adecuado y controlar la temperatura del electrolito rico que va a la planta de electro depositación.

Gracias a la implementación del proyecto el consumo de diesel bajó de 23,7 m³/día a 15-20 m³/día, lo que se ve reflejado en un ahorro de 3.489.216 litros entre diciembre de 2007 y marzo de 2009, junto con una disminución de 9.491 toneladas de emisiones de CO₂ en igual período.

Por otra parte, el proyecto ha reforzado los conocimientos del proceso de calentamiento de soluciones por parte de los operadores, además de generar una cultura por la eficiencia energética y fomentar la importancia de mejorar las prácticas utilizadas.

Tabla 4: Beneficios del control del consumo de diesel en calentadores lixiviación en Minera Escondida

	Ahorros			Inversión	Indicador Inversión/Ahorro US\$/GJ	Período de Recuperación del Capital Años	Reducción Emisiones Ton CO ₂ /año
	Combustible litros/año	Energía GJ/año	US\$/año				
Control consumo Diesel calentadores lixiviación	2.617.500	100.419	1.456.453 ³	<US\$50 mil	0,5	0,1 ⁴	7.120

³ Estimación propia en base al valor promedio del barril de petróleo (WTI) entre los meses en que se evaluó el ahorro (Diciembre 2007 y Marzo 2009) por parte de la empresa. Valor promedio obtenido: 88,47US\$/bbl. Fuente datos: CNE.

⁴ En base a la estimación de ahorro anual (US\$/año).

La principal dificultad enfrentada resultó ser la conformación de un equipo multidisciplinario que se comprometiera a trabajar activamente en el desarrollo del proyecto, considerando los sistemas de turnos existentes, intereses propios, salidas a terreno, etc. Sumado a lo anterior, durante la etapa previa a la implementación, surgieron dudas en relación a cómo afectaría el proyecto a la temperatura del agua de salida del calentador y, por ende, al electrolito rico.

La optimización del consumo de diesel para el calentamiento de soluciones es una práctica aplicable en cualquier faena. Es importante destacar que existe la alternativa de incorporar energías renovables no convencionales a este proceso (calentamiento solar de soluciones mineras), opción que si bien tiene un costo más elevado y un período de recuperación del capital más extenso, presenta una reducción importante de emisiones contaminantes.

2.4 CODELCO

CODELCO es el primer productor de cobre en el mundo y el poseedor de cerca del veinte por ciento de las reservas del metal a nivel mundial. La empresa ejecuta sus operaciones a través de cuatro divisiones mineras más una planta de fundición y refinería. Durante el año 2008 la empresa produjo 1,54⁵ millones de toneladas de cobre refinado, siendo sus principales productos los cátodos de cobre electro-refinados y electro obtenidos, lingotes de cobre refinados a fuego y concentrado de cobre, además de una cantidad importante de molibdeno. El consumo eléctrico de la empresa (sin contabilizar El Abra) en 2008 fue de 6.380 GWh, y el consumo energético total alcanzó los 43,1 PJ.

2.4.1 Mejora sistemas de ventilación en mina subterránea: CODELCO Andina

El proyecto consiste en una estrategia de control sobre los motores utilizados en la ventilación del tercer panel de la división Andina de CODELCO. La estrategia se basa en el empleo de una parte del parque de motores (60%) operando a plena carga, controlando el flujo de aire mediante control de velocidad del resto de los motores según requerimientos de ventilación.

Para cumplir con los requerimientos de aire de forma óptima se instalaron distintos sensores de flujo de aire y monóxido de carbono, además de variadores de frecuencia en los cuatro motores principales (1.300 HP cada uno), que son los encargados de ejecutar la regulación del flujo.

El ahorro esperado resulta del orden de 10,2 GWh/año (36.720 GJ/año), correspondiendo este a la inclusión de variadores de frecuencia en los cuatro motores principales, representando una reducción de consumo de 30% promedio.

Las principales dificultades correspondieron al diseño del sistema de ventilación y la estimación de los requerimientos de aire, puesto que un mal dimensionamiento de los motores puede llevar a la necesidad de operarlos a plena carga, dejando sin efecto las ventajas de los reguladores de velocidad.

⁵ Incluye participación del 49% en Compañía Minera El Abra.

Tabla 5: Beneficios del sistema de ventilación subterránea de CODELCO Andina

	Ahorro		Inversión US\$	Indicador Inversión/Ahorro US\$/GJ	Período de Recuperación del Capital (años)
	Energía GJ/año	US\$/año			
Incorporación variadores de frecuencia en sistemas de ventilación	36.720	1.224.000	300.001 - 1.000.000	8 - 27	<1

Se considera que esta práctica es transferible a todas las faenas mineras que requieren ventilación de túneles y que no utilicen en la actualidad convertidores de frecuencia para el control de la ventilación.

2.4.2 Control automático de producción de oxígeno, Fundición Potrerillos, División Salvador

La planta de oxígeno de Potrerillos entró en funcionamiento el año 2003, con una operación prácticamente automática. En el año 2006 se implementó la operación combinada, que aprovecha la capacidad de almacenamiento de oxígeno líquido, llevando el índice específico de consumo de 360 kWh/Ton al promedio actual de 335 kWh/ton. Sin embargo, a partir del año 2008 las operaciones de fundición inician un intensivo consumo de oxígeno y, en ese escenario de demandas cambiantes, la respuesta manual al requerimiento de oxígeno deja lapsos en los que la producción de oxígeno supera el consumo de la fundición, situación que llevó a la implementación de un sistema automático de control que regula en tiempo real, y en base a los requerimientos instantáneos, la cantidad de oxígeno a producir.

El algoritmo de control considera la operación combinada de producción y vaporización de oxígeno, situación que permite optimizar el consumo específico de energía y tiene en cuenta las siguientes consideraciones:

- El control debía ser sencillo, sin variables ajenas a la planta
- El ajuste no debía modificar o alterar los complejos lazos de control asociados al proceso de la planta
- Los límites de producción máxima y mínima de diseño debían ser respetados
- El cambio de carga automático, en particular los aumentos de carga, debían asegurar una correcta operación del vaporizador de oxígeno
- La operación combinada, que permite optimizar el índice específico de consumo de energía, debía ser considerada en el algoritmo de control
- Una interfaz con el operador clara y amigable, con la opción de desactivar el control automático del requerimiento de oxígeno

El principal resultado conseguido es una disminución del consumo de energía, la cual se refleja en un valor actual neto (VAN) del proyecto de US\$ 756.230, en un período de 10 años y con una tasa de descuento del 8,5%. En términos de físicos el ahorro estimado corresponde a 1.758 MWh/año

(6.329 GJ/año), aproximadamente⁶ unos US\$170.000 anuales. Por otro lado, se tiene un mejor control del nivel de seguridad de los estanques de respaldo de oxígeno líquido y se logra una operación estándar para los cuatro ciclos de trabajo de la planta.

Tabla 6: Beneficios del control automático en la producción de oxígeno en CODELCO

	Ahorro		Inversión	Indicador Inversión/Ahorro US\$/GJ	Período de Recuperación del Capital (años)
	Energía GJ/año	US\$/año			
Control automático de producción de oxígeno en operaciones de fundición	6.329	170.000	<US\$50.000	<8	<0,3

Se considera que el control automático empleado en el proceso de producción de oxígeno es una práctica transferible a todas las fundiciones que no tengan incorporado un control de tipo automático para este proceso.

2.4.3 Gestión de demanda máxima

El proyecto consiste en una gestión optimizada de la demanda de potencia eléctrica en horas de punta del sistema en todas las divisiones de CODELCO en que, por contrato, se permite esta gestión.

Esto permitió ahorrar un promedio de 40 MW de potencia en el año 2008, lo que se tradujo en un ahorro anual aproximado de US\$ 3.200.000.

Tabla 7: Beneficios del control de demanda máxima en CODELCO

	Ahorro		Inversión	Período de Recuperación del Capital (años)
	Potencia MW	US\$/año		
Gestión demanda máxima	40	3,2 millones	<US\$50 mil	<0,1

Las mayores dificultades resultaron ser de tipo administrativas y, también, las relacionadas con la poca confianza en que los ahorros esperados no afectarían la producción.

La gestión de la demanda máxima es una práctica que debe ser aplicada en todas las faenas mineras que hoy día no lo hacen, dado que significa un ahorro económico importante con una inversión pequeña.

⁶ Se utilizó un valor referencial de 100 US\$/MWh para la estimación.

2.4.4 Optimización de consumo de combustible en secado de concentrado, Fundición División Salvador

Hasta abril de 2003, la Fundición de División Salvador realizaba el proceso de secado del 60% del concentrado que fundía, mediante una Planta de Secado con Horno Rotatorio, la cual fue reemplazada por la nueva Planta de Secado Fluosólidos (PSF), que operó durante el 2003 ajustando su parámetros de operación, basados en los indicadores de diseño y condiciones de satisfacción de su cliente Convertidor Teniente (CT)

Figura 3: Esquema del proceso modificado en Fundición Salvador



El objetivo del proyecto es adecuar los parámetros de operación de la planta de secado de concentrados, a modo de optimizar el uso de la energía a la vez que se satisface el nivel de humedad requerido por el proceso de fundición en el Convertidor Teniente.

En términos económicos y físicos se consiguió un ahorro de petróleo Enap-6 de 2,13 kg/tms, lo que equivale a US\$212.000 anuales, con una inversión inferior a los US\$50.000, además de una reducción marginal en el consumo de energía eléctrica.

Tabla 8: Variables pre y post proyecto de optimización en el consumo de combustible de secado en CODELCO Salvador

Variable operacional	Original	Post proyecto
Flujo de aire	95.000 Nm ³ /h	92.000 Nm ³ /h
Consumo Enap 6	8,93 kg/ton	6,8 kg/ton
Humedad de entrada del concentrado	8 – 11 %	8 – 11 %
Humedad de salida del concentrado	0,05% - 0,08%	0,1 – 0,2 %
Diferencial de presión en lecho secador	650 mm H ₂ O	750 mm H ₂ O
Temperatura de trabajo del secador	108 – 110°C	105°C

Fuente: CODELCO

Entre los beneficios adicionales del proyecto se puede considerar:

- Disminución del riesgo de incendio al bajar la temperatura de trabajo
- Disminución en la intensidad energética, en concordancia con la Política de Medio Ambiente de CODELCO

- Incorporación de los trabajadores a la toma de decisiones y mejoras en la gestión

Es importante destacar que la empresa elaboró un manual de operación indicando los cambios realizados en el proceso y que logró validar la hipótesis de que el nuevo nivel de humedad a la salida no afectaba negativamente en los procesos posteriores al secador de concentrado.

La inversión en análisis, instrumentación y control del consumo de combustible en el secado de concentrados de cobre es singularmente rentable en aquellas plantas en que ello no se realiza.

2.5 Compañía Minera del Pacífico

Compañía Minera del Pacífico desarrolla sus actividades en las minas El Romeral y Algarrobo, y en su planta de Pellets ubicada en el Valle del Huasco. En 2008 la empresa produjo un total de 4,4 millones de toneladas métricas de mineral de hierro, siendo sus principales productos pellets (en sus distintos tipos), finos de mineral y granzas. El consumo eléctrico de la empresa en 2007 fue de 387 GWh y su consumo energético total alcanzó 1,4 PJ.

2.5.1 Mejoras en eficiencia energética – Mina El Romeral

El proyecto consiste en una serie de mejoras que apuntan a disminuir el consumo energético por unidad de producto. El primer paso correspondió a la instalación de medidores de consumo eléctrico en diversos puntos relevantes del proceso. A partir de estas mediciones se ejecutaron las siguientes medidas:

- Instalación de un banco de condensadores (corrección de factor de potencia)
- Cambio total de luminarias
- Instalador de variadores de frecuencia y partidores suaves
- Cambio de rodillos en planta concentradora
- Instalación de equipos de alta eficiencia (especialmente en motores)

La implementación de estas medidas significó una inversión en el rango de entre US\$150.001 y US\$300.000 y trajo como consecuencia una disminución del consumo de energía eléctrica por unidad de producto, pasando de 40 KWh/ton en Junio de 2007, a 35 KWh/ton en Junio de 2009.

2.6 Compañía Minera Los Pelambres

El yacimiento de cobre Minera Los Pelambres se encuentra ubicado en la región de Coquimbo a 3.500 msnm en la Cordillera de Los Andes. En el año 2007 produjo 289.900 toneladas de cobre fino y 10.200 toneladas de molibdeno. Sus principales productos son el concentrado de cobre y el molibdeno. El consumo eléctrico de la faena en 2008 fue de 954 GWh, y su consumo energético total alcanzó los 5,4 PJ.

2.6.1 Correa regenerativa

Las correas regenerativas son correas capaces de producir energía eléctrica haciendo uso de la diferencia de cotas de altura entre sus extremos, generando electricidad mientras la correa baja material. El sistema de correas transportadoras en Minera Los Pelambres (3 unidades) tiene una longitud de 12,7 km, de los cuales 11 km. se encuentran instalados al interior de túneles, con una pendiente promedio de 11%. El sistema está dotado de 10 moto-generadores de 2500 HP cada uno. La cogeneración alcanza al 10 % de la energía que consume la Minera, o sea 12 MW en promedio, llegando en horario de punta a generar hasta 15 MW en 23 kV.

Durante el año 2000 el consumo de energía fue de 652.999.965 kWh-año, con niveles de producción de mineral tratado superior a las 85 ktpd, durante el año 2007 el consumo de energía aproximado fue del orden 953.670.007 kWh-año y el nivel de producción fue 145 ktpd, este incremento en los consumos de energía se debe a la puesta en operación de los Proyectos de Repotenciamiento I y II, y Tranque El Mauro.

En el año 2004, mediante el uso de las correas regenerativas, se logró producir alrededor del 15% de la energía eléctrica requerida en la faena, logrando una potencia promedio de 11,6 MW y llegando a un máximo en horario punta de 15 MW. El ahorro anual que se genera por este concepto es de aproximadamente US\$ 3 millones. Por otro lado, en el año 2007 la correa produjo el equivalente al 9% de la energía eléctrica y térmica consumida en la faena durante el año.

Tabla 9: Beneficios del uso de correas transportadoras regenerativas en Minera Los Pelambres, año 2007

	Ahorro Energía
Correa regenerativa	9% del total de la faena

Es importante destacar que no sólo la presencia de correas regenerativas afecta la eficiencia en el uso de la energía, sino que también debe considerarse su estrategia de operación. Una manera de controlar la demanda en punta, implementada por Minera Los Pelambres, es la creación de un excedente de chancado en la Mina, logrando que en horario punta la correa regenerativa trabaje a su máxima capacidad, enviando mineral a la planta a una razón de 8.700 ton/hr. (Flujo de Carga Máxima Admisible).

La implementación de esta medida significó la adjudicación, por parte de Minera Los Pelambres, del premio de eficiencia energética entregado por la Confederación de la Producción y el Comercio (CPC) el año 2005.

Si bien el caso de Minera Los Pelambres resulta ser un caso particular por tratarse de una correa de varios kilómetros de extensión, esta práctica es replicable en cualquier faena en que se requiera trasladar material desde una altura superior.

Hasta el año 2007, MLP logró un ahorro anual del orden de [USD\$] 2.000.000 por concepto de cogeneración de energía a través de las correas regenerativas. Desde el año 2008 en adelante, se

espera un ahorro aproximado de [USD\$] 11.000.000⁷ anual debido al aumento del costo de la energía en el país.

Tabla 10: Ahorros acumulado para el período 2000-2008 por uso de Correas Regenerativas

	Ahorro [USD\$]
Generación a Través de Correas Regenerativas Aproximado	18.000.000

2.6.2 Uso de Aceites Lubricantes Residuales en Tronaduras

En mayo del 2005 se incorpora el uso de Aceites Lubricantes Residuales “ALR” para reemplazar el 50% del diesel utilizado en el proceso de generación de explosivos a granel. Estos aceites son generados por los equipos de transporte de mineral de alto tonelaje, los cuales son recolectados en los talleres de mantención de equipos mina, para finalmente ser tratados en una planta de tratamiento de aceites denominada “Eco Planta Los Pelambres”, alcanzando niveles de consumo anuales promedio del orden del 25 % en la mezcla de combustible de los explosivos a granel.

Los aportes de esta medida, entre los años 2005 y Junio del 2008, pueden ser observados en la siguiente tabla:

Tabla 11: Aportes Totales Acumulados por año del uso de ALR en Minera Los Pelambres

	2005	2006	2007	2008
Aporte ALR [L]	232.246	453.064	696.011	351.449
Consumo Petróleo [L]	674.689	1.020.249	1.014.876	458.458
Valoración Estimada Aporte ALR [US\$]	112.813	247.021	410.108	283.162

Dentro de sus beneficios, esta medida contribuyó con lo siguiente:

1. El ahorro en petróleo diesel, requerido para la fabricación de agentes de tronadura, asciende a 1.732.770 L entre los años 2005 y 2008, debido al reemplazo de éste por aceites lubricantes residuales (ALR).
2. Mejoras en seguridad vial y seguridad para la comunidad al disminuir el flujo de “residuos peligrosos” - aceites lubricantes residuales (ALR) y petróleo diesel - en las carreteras del país.
3. El ahorro Neto al Negocio de MLP debido al reemplazo del diesel por aceites lubricantes residuales (ALR) fue de US\$ 1.053.104 entre los años 2005 y 2008.

⁷ El costo de la energía desde el año 2008 en adelante, respecto de la del 2007, se incrementó en un orden de cuatro veces su valor por cambio de contrato.

2.6.3 Control de Demanda Máxima en Hora de Punta

Para el control de la demanda máxima en horario de punta, se formó una comisión liderada por la Superintendencia de Suministro Eléctrico e integrada por los operadores de cada una de las áreas de producción de Minera Los Pelambres, la cual ha estado trabajando en los siguientes objetivos:

1. Definir y mantener actualizado un Procedimiento de Control de Demanda Máxima.
2. Crear una cultura de ahorro de energía eléctrica.
3. Hacer buen uso de los equipos electromecánicos para maximizar los rendimientos.
4. Aprovechar la generación de las correas, manteniéndolas a máxima carga en el horario de punta, entre las 18:00 y 21:00 hrs. de los días hábiles, entre los meses de mayo y septiembre de cada año.
5. Trabajar para que los equipos de producción operen lo más estable posible durante el horario de punta.
6. Programar para el período de punta, mantenciones que detengan equipos por tiempo de duración sobre 3 horas.

Como parte de esta práctica, el bombeo de agua recuperada desde el tranque de relaves a las piscinas de la planta concentradora, se prioriza hasta las 17:55 hrs, luego se disminuye al máximo hasta las 21 hrs. Este control de demanda máxima genera un importante ahorro de energía y se aplica a todas las áreas de la Minera, incluyendo el Puerto Punta de Chungo.

Entre los años 2000 y 2008, se gestionó un ahorro por demanda del orden de los [USD\$] 9.000.000, al haber efectuado este control de la Demanda Máxima en Horario de Punta. Lo anterior se logra incluso considerando los aumentos de carga del sistema cuando las correas regenerativas se encuentran en mantenimiento y/o fuera de servicio.

El ahorro gestionado en uso eficiente de la energía, equivale a un 11 % respecto al valor facturado.

Tabla 12: Ahorros acumulado para el período 2000-2008 por Control de Demanda Máxima

	Ahorro [USD\$]
Control Demanda Máxima Horario de Punta	9.000.000

El desafío más relevante que se debió enfrentar fue la incorporación de nuevas cargas al sistema, entre las que se incluyeron nuevos equipos del Proyecto Repotenciamiento I y II, y la entrada en operación del Tranque El Mauro.

El éxito de este proyecto dependió netamente de la gestión de las personas, valor muy importante para la compañía, y sin la cual, no hubiera sido posible obtener los excelentes resultados obtenidos a la fecha.

2.7 ENAMI

ENAMI es una empresa estatal dedicada al fomento de la pequeña y mediana minería, mediante la compra de minerales oxidados y/o sulfurados para ser procesados en alguna de las cinco plantas de beneficio (José Antonio Moreno, Manuel Antonio Matta, Osvaldo Martínez, Vallenar y Taltal). La empresa cuenta, además, con la fundición Hernán Videla Lara (Paipote), ubicada a 8 km de la ciudad de Copiapó, la que tiene una capacidad de procesamiento de 340.000 toneladas de concentrados al año. El consumo eléctrico de la empresa durante 2007 fue de 277 GWh.

2.7.1 Cambio tecnológico en procesamiento de minerales oxidados

Históricamente, ENAMI utilizó la pirometalurgia como método de procesamiento para los minerales oxidados que adquiere a terceros. Este método de procesamiento presentaba baja recuperación y altos costos. Dada esta situación, se optó por la implementación del método de extracción por solventes y electro obtención (SX-EW).

Los ahorros en energía, debidos al proyecto, se estiman en 3.046,05 MJ/Ton para cátodos electro-obtenidos por sobre los electro-refinados, lo que corresponde a un ahorro anual de 69.450 MJ y una reducción de 3.704 toneladas de emisiones de CO₂. El ahorro equivalente anual, sólo por concepto de energía, equivale a US\$1.930.710. Los datos se calcularon en base a coeficientes unitarios de consumo, elaborados por COCHILCO y amparados en Registro de Propiedad Intelectual N° 174331. Estos datos son generales por lo que serán validados para el caso ENAMI, donde se esperan variaciones en las condiciones de ahorro e impacto ambiental dadas las mayores leyes del mineral y la localización 100% en el SIC de sus instalaciones. Se estima que las cifras de COCHILCO son un escenario conservador para la realidad de ENAMI.

Tabla 13: Beneficios obtenidos por el cambio tecnológico en ENAMI

	Ahorro		Inversión
	Energía GJ/año	US\$/año	
Cambio de tecnología a SX-EW	69.450	1.930.710	>US\$1 millón

Las principales dificultades enfrentadas correspondieron a dificultades administrativas para la aprobación del proyecto. No obstante lo anterior, los beneficios económicos obtenidos fueron importantes.

2.7.2 Control de Demanda Máxima

El proyecto consiste en controlar la demanda de potencia durante las horas de punta, a través del establecimiento de las coordinaciones de personal y procesos que sean necesarias para no superar un cierto valor de potencia fijado previamente.

Los resultados económicos equivalen a un ahorro de US\$9 mensuales por cada kW rebajado durante las horas de punta. En promedio el proyecto permitió ahorrar 2.300 kW/mes en la fundición, lo que se traduce en un ahorro mensual de US\$250.000.

Tabla 14: Beneficios obtenidos por el control de demanda máxima en ENAMI

	Ahorro		Inversión
	Potencia kW	US\$	
Control demanda máxima	2.300	250 mil/mes	<US\$50 mil

Las dificultades radicarón básicamente en el nivel de conocimiento de cada uno de los procesos que se requiere para llevar adelante una buena estrategia de operación. Una fortaleza resultó ser la sensibilización y alto compromiso del personal de operación para que acogieran las medidas a implementar.

2.8 Cemento Polpaico

Cemento Polpaico es una de las principales empresas cementeras de nuestro país dado que posee la mayor capacidad instalada de producción de cemento, con 2,7 millones de toneladas anuales.

La empresa desarrolla sus actividades a través de tres plantas ubicadas en las ciudades de Santiago, Coronel y Mejillones. Durante 2008 reportaron un consumo eléctrico de 198 GWh, y un consumo energético de 3,4 PJ.

2.8.1 Co-procesamiento de residuos industriales – Cemento Polpaico

El co-procesamiento es un concepto basado en el aprovechamiento de la energía térmica y los componentes químicos que pueden aportar los residuos industriales a un proceso de combustión, en particular al que se lleva a cabo en el horno cementero, el cual, por sus condiciones termoquímicas⁸, presenta un medio definitivo, seguro ambientalmente, y técnicamente adecuado para la eliminación de los residuos mencionados

La implementación de este proyecto le ha reportado un ahorro de entre un 17 a un 20% anual en combustibles tradicionales (del orden de 20.000 ton de carbón), lo que se traduce, además, en una reducción de las emisiones globales de gases de efecto invernadero en relación a otras formas de eliminación de los residuos.

⁸ Con respecto al co-procesamiento de residuos considerados peligrosos, como compuestos orgánicos persistentes y PCB, el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente reconoce a los hornos cementeros como una opción segura para su destrucción, dadas las altas temperaturas conseguidas, 3 segundos sobre 1.100°C.

Figura 4: Co-procesamiento de residuos en horno cementero, Cemento Polpaico



El desarrollo de este proyecto permitió a Cemento Polpaico adjudicarse el Premio de Eficiencia Energética otorgado por la Confederación de la Producción y el Comercio (CPC) el año 2006.

Tabla 15: Información de Cemento Polpaico

	Ahorro Combustibles	Inversión US\$
Co-procesamiento residuos en horno cementero	17-20% combustibles fósiles	12 millones

La transferibilidad de este proyecto está sujeta a las temperaturas de trabajo de los hornos. El detalle de las características propias del horno cementero que hacen posible la eliminación segura de los residuos se muestra a continuación:

- Elevada temperatura de llama (aprox. 2.000 °C).
- Alta temperatura del material en cocción (> 1.400 °C).
- Elevado tiempo de residencia del material (> 20 minutos).
- Elevado tiempo de residencia de los gases (aprox. 6 segundos).
- Tambor secador que aumenta el tiempo de residencia de los gases y favorece la reducción de ácidos y alcoholes, antes de ser descargados a la atmósfera, además de bajar la temperatura de los gases hasta aproximadamente 100 °C.
- Alta turbulencia de los gases (Nº Reynolds > 100.000)
- Atmósfera oxidante.
- Estabilidad térmica.
- Ambiente interior alcalino.
- Alta absorción de metales.
- Proceso en contracorriente, que permite que la mayor parte de los elementos químicos que puedan ser arrastrados por los gases, condensen sobre la materia prima ingresada al horno.
- No genera residuos ya que las cenizas son incorporadas al clinker.

Es importante considerar que, de no trabajar entre los rangos sugeridos, la combustión de neumáticos se vuelve sumamente contaminante, lo que puede significar la no aprobación de la Declaración de Impacto Ambiental del proyecto.

2.9 Xstrata Cooper

Xstrata opera en Chile la fundición Lomas Bayas y la mina Alto Norte, ambas ubicadas en la región de Antofagasta. Lomas Bayas cuenta con una capacidad de producción de 75.000 toneladas de cátodos de cobre. Su consumo eléctrico en 2007 fue de 207 GWh y su consumo energético total alcanzó 1,4 PJ. Por otro lado, la fundición Alto Norte tiene una capacidad de producción de 290.000 toneladas de ánodos de cobre, 800.000 toneladas de ácido sulfúrico y 11 millones de libras de óxido de molibdeno. Su consumo eléctrico en 2007 fue 267 GWh y su consumo energético total alcanzó 2,2 PJ.

El consumo eléctrico total de la empresa en 2007 fue de 474 GWh y su consumo energético total alcanzó los 3,7 PJ.

2.9.1 Control de demanda máxima

Se implementó un sistema de proyección de demanda con el objetivo de controlar el valor máximo de ésta, ejerciendo las acciones de control necesarias para no sobrepasar el valor límite previamente fijado. El control se ejerce principalmente en los procesos que demandan mayor cantidad de potencia, los cuales fueron debidamente identificados previamente.

El desarrollo del proyecto significó entre los meses de febrero y junio del presente año una disminución de la demanda máxima registrada de hasta 3,3 MW con respecto a enero, y un ahorro acumulado de US\$141.212.

Tabla 16: Beneficios obtenidos por el control de demanda máxima en Xstrata

	Ahorro		Inversión US\$	Período de Recuperación del Capital (años)
	Potencia	US\$		
Control demanda máxima	3,3 MW	US\$141.212 febrero-junio 2009	50 mil - 150 mil	0,2 – 0,5

Las principales dificultades enfrentadas fueron el desarrollo de la lógica de control y la capacitación y sensibilización efectiva de los operadores fueron las principales dificultades. Esto último resultó ser una dificultad cotidiana, pues los operadores contaban con la facultad de ejercer o no las acciones de control según su nivel de compromiso con el proyecto. Esta incertidumbre se ha mejorado mediante la implementación de un control automático.

3. BUENAS PRÁCTICAS IMPLEMENTADAS A NIVEL INTERNACIONAL

Internacionalmente, las buenas prácticas pueden encontrarse en todos los procesos del sector industrial y minero, siendo posible diferenciarlas según el nivel de inversión realizado. Las buenas prácticas con bajo nivel de inversión generalmente se encuentran relacionadas a la aplicación de capacitaciones en los trabajadores, generación de manuales, o pequeños cambios en la planta no relacionados con la faena misma (iluminación, revisión de sellos, aislación, etc.), mientras que las buenas prácticas con alto nivel de inversión se relacionan con cambios mayores en el proceso productivo, lo que incluye un recambio tecnológico mayor, reemplazo de combustibles, mejoras en sistemas de control, etc. Generalmente, este tipo de medidas vienen generalmente ligadas a una evaluación energética, realizada por la misma empresa o bien por un auditor externo en eficiencia energética.

3.1 U.S. Steel Corp: Mejoramiento de la eficiencia en procesos térmicos.

Fundada en 1901, la United States Steel Corporation (USSC) es la mayor productora de acero y sus derivados en EE.UU. En el año 2006, en la planta Minntac, ubicada en Minnessota, se realizó la evaluación energética *Save Energy Now*, diseñada por el Departamento de Energía de EE.UU. (DOE), para analizar la eficiencia de los procesos de calor de la planta e identificar oportunidades de ahorro energético, utilizando el software PHAST⁹, suministrado por DOE. Como resultado, se identificaron proyectos a corto, mediano y largo plazo, basados en el período de recuperación de inversión, costos asociados y energía ahorrada. Hasta septiembre de 2008 sólo habían sido completados los proyectos de corto plazo.

Figura 5: Planta Minntac, U.S. Steel Corp



En la planta Minntac se procesa mineral (taconita) para producir pellets de taconita, utilizados en la producción de acero. La producción alcanza, aproximadamente, 14,5 millones de toneladas de

⁹ Process Heating Assessment and Survey Tool (PHAST) es un software que permite la introducción de métodos que mejoren la eficiencia térmica de los equipos de calor, dado que los usuarios industriales pueden evaluar equipos y maquinarias consumidoras de combustible, vapor o electricidad, identificando los procesos más energointensivos de la faena. Se utiliza este software para comparar la eficiencia del equipamiento bajo diversas condiciones y evaluar los distintos escenarios posibles de operación.

pellets por año, utilizando cinco líneas de procesamiento, cada una con un horno, un precalentador y equipo de secado e incluyen grandes motores, los cuales son utilizados para ventilación, molienda y mezcladores.

Los procesos que utilizan calor cubren gran parte del consumo energético de la planta, dado que, para formar pellets de taconita, se requiere de temperaturas entre 600°F (315°C) y 1000°F (538°C) en los secadores, 2.200°F (1294°C) en los precalentadores y 2.450°F (1.343°C) en los hornos. Adicionalmente, cada línea del proceso cuenta con grandes sistemas de ventilación, chancado y mezcladoras. Sólo en el año 2007, se consumieron aproximadamente 4,9 millones de MMBtu en gas natural. Particularmente, los hornos son utilizados para calentar una mezcla de polvo de taconita y arcilla para generar los pellets.

Figura 6: Horno en la Planta Minntac



Como parte de las medidas identificadas en su evaluación energética, USSC realizó el reemplazo de quemadores de uno de los hornos, obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 17. El reemplazo de quemadores de un horno requiere de un estudio previo, en este caso realizado por el Department of Energy (DOE) de los Estados Unidos, pero el desarrollo de estos aparatos y los incrementos de los costos de la energía hacen singularmente rentable su reemplazo, tal como se indica en la tabla antes citada.

Tabla 17: Ahorros asociados al reemplazo de quemadores. USSC

Descripción del Mejoramiento	Ahorro de Energético ¹⁰ Anual (MMBtu)	Ahorros Anuales (US\$)	Ahorros en Mantenimiento (US\$/año)	Costo del Proyecto (US MM\$)	Período de Recuperación de Inversión (Años)
Reemplazo de 6 quemadores de un horno por 14 quemadores, más pequeños y eficientes	95.000	760.000	30.000	1,2	1,5

Fuente: Elaboración propia en base a información publicada por DOE, 2008

La práctica llevada a cabo por US Steel Corporation, si bien tiene un período de recuperación relativamente corto, implica una inversión elevada en relación a la magnitud del ahorro de energía logrado. En efecto, en este caso, se tiene un cociente entre inversión y energía ahorrada igual a 11,97 US\$/GJoule, lo que implica que se trata de un proyecto que demanda un estudio y el uso de componentes tecnológicas de alto nivel.

Adicionalmente a lo anterior, US Steel Corporation, como resultado de la auditoría realizada, proyectó la realización de otras medidas de ahorro, las que implican inversiones que se recuperan en el mediano plazo (4 años) y largo plazo (5 años) las que se señalan en la Tabla 18. Se trata de medidas de uso eficiente de energía rentables, pero que requieren inversiones de elevada magnitud,

¹⁰ Equivalentes en Gas Natural

lo que queda reflejado por un cociente inversión/ahorro de energía en US\$/Gigajoule mayor que las medidas cuya inversión se recupera en el corto plazo.

Debido a que en la mayoría de las medidas están en el ámbito térmico, éstas son, por tanto, transferibles a la pirometalurgia del cobre, en cuyos procesos hay hornos que operan a alta temperatura.

Cabe destacar que estas medidas de eficiencia fueron respaldadas por el Energy Efficiency and Renewable Energy Industrial Technologies Program Recognition Process.

Tabla 18: Medidas de Mediano y Largo plazo definidas por USSC

	Descripción del mejoramiento	Ahorro de Energético Anual (MMBtu) ¹¹	Ahorros Anuales (US M\$)
MEDIANO PLAZO	Aislación Térmica de Componentes del Proceso	203.000	1.600
	Reducción de Infiltración de aire	119.000	950
	Utilización de Ventiladores de mayor HP	88.000	709
	Eliminación de Filtraciones	44.000	350
LARGO PLAZO	Utilización de Quemadores de alta eficiencia	320.000	2.570
	Recuperación de calor desde los enfriadores de pellets	138.000	1.100
	Recuperación de calor desde el agua utilizada para enfriamiento de los soportes de los hornos	112.000	893
	Recuperación de calor de los procesos de Secado y Pre calentamiento	3.000	24
	Instalación de un recuperador de calor del tipo Stack	221.000	1.800

Fuente: Elaboración propia en base a información publicada por DOE, 2008

Las medidas de uso eficiente de energía de corto plazo se financian en menos de 2 años, las de mediano plazo en 4 años y las de largo plazo en 5 años. La Tabla 3 siguiente muestra tres indicadores de los proyectos antes mencionados: el costo, el ahorro y un indicador que relaciona la inversión con el ahorro de energía. Se observa que, como se ha dicho, si bien se trata de inversiones rentables, el cociente entre inversión y energía ahorrada es relativamente elevado, en contraposición con medidas de ahorro de energía que demandan poca inversión.

¹¹ Equivalentes en Gas Natural

Tabla 19: Indicador de la relación Inversión/Ahorro: Medidas de EE de Mediano y Largo Plazo definidas por USSC

	Descripción del mejoramiento	Costo del Proyecto (MMUS\$)	Ahorro de Energético Anual (GJ)	Indicador Inversión/Ahorro (US\$/GJ)	Período de Recuperación de Inversión (Años)
CORTO PLAZO	Reemplazo de Quemadores	1,2	100.231	11,97	1,50
MEDIANO PLAZO	Aislación Térmica de Componentes del Proceso	5,4	214.177	25,41	4
	Reducción de Infiltración de aire	3,2	125.552	25,74	4
	Utilización de Ventiladores de mayor HP	2,4	92.845	25,98	4
	Eliminación de Filtraciones	1,2	46.423	25,65	4
LARGO PLAZO	Utilización de Quemadores de alta eficiencia	10,4	337.619	30,73	5
	Recuperación de calor desde los enfriadores de pellets	4,4	145.598	30,50	5
	Recuperación de calor desde el agua utilizada para enfriamiento de los soportes de los hornos	3,6	118.167	30,51	5
	Recuperación de calor de los procesos de Secado y Precaentamiento	0,1	3.165	30,61	5
	Instalación de un recuperador de calor del tipo Stack	7,3	233.168	31,17	5

Fuente: Elaboración propia en base a información publicada por DOE, 2008

3.1.1 Análisis de las opciones

- a) **Reemplazo de quemadores.** Se trata de una opción que requiere un análisis específico, pero debe considerarse que el mejoramiento de los quemadores de los hornos es un tema que ha tenido constante evolución, especialmente debido a los incrementos en los costos de la energía y los incentivos para realizar este tipo de aplicaciones. Se trata de inversiones elevadas, pero recuperables en corto plazo (1,5 años en el caso reportado).
- b) **Reducción de infiltraciones y mejoramiento de las aislaciones.** Se trata de soluciones de bajo costo que resultan exitosas. Requiere que la empresa tenga un Programa de Uso Eficiente de la Energía orientado a la solución de este tipo de problemas térmicos.
- c) **Ventiladores de mayor flujo de aire: mayor consumo de energía eléctrica y disminución del consumo de combustibles.** Se trata de soluciones que implican la inversión en ventiladores para hacer la combustión más eficiente, lo cual requiere de un estudio específico. En este caso se concluye que se requiere de una inversión de 1 millón de dólares, asociada a la instalación del orden de 10 megawatt. Se trata de una inversión que se rentabiliza entre uno y dos años. El uso de la ventilación en minería es muy frecuente, por ejemplo, para refrigerar todo tipo de fluidos empleados en la refrigeración de máquinas. Por tal razón, esta opción, es también aplicable en menor escala de potencia e inversión, con elevadas tasas de rentabilidad. Se requiere de un análisis relativamente simple previo a la implementación.

- d) **Recuperación de calor desde los enfriadores de pellets, recuperación de calor desde el agua utilizada para enfriamiento de los soportes de los hornos, recuperación de calor desde el agua utilizada para enfriamiento de los soportes de los hornos, recuperación de calor de los procesos de secado y precalentamiento e instalación de un recuperador de calor del tipo Stack.** Se trata de aplicaciones que redundan en mejoramientos que conllevan una reducción del consumo de energía, pero requieren de un estudio caso a caso de carácter especializado. Los ahorros reportados por el DOE en estos casos son significativos.

3.2 Coeur Rochester Inc.

Coeur Rochester Inc. (CRI) es una subsidiaria de Couer d'Alene Mines Corporation, productora internacional de metales preciosos. La mina Coeur Rochester, en Nevada (EE.UU.), es una de las minas de plata más grandes de América del Norte, con una producción anual de 60.000 libras de oro y 6 millones de libras de plata.

Figura 7: Mina Coeur Rochester, Nevada, EE.UU.



En el año 2005, CRI formó un equipo a cargo de la energía dentro de sus instalaciones, el cual, en conjunto con un equipo de la Universidad de Nevada en Reno (EE.UU.), llevó a cabo una evaluación energética de las instalaciones, lo que permitió identificar los sistemas con mayor potencial de ahorro energético. Con esto, se seleccionaron cinco proyectos, los que incluyeron equipos de alto consumo energético y además, cumplieron con el criterio de recuperar la inversión en un período no mayor a un año. Los proyectos seleccionados se presentan a continuación:

- i. **Reemplazo de bomba motor de 1.250 HP por un motor de 600 HP.** La bomba que alimentaba con solución de cianuro las pilas con mineral triturado de la faena, presentaba una capacidad de bombeo de 20.824 litros por minuto, los que eran suministrados por una bomba de 1.250 HP. Utilizando el software PSAT (Pumping System Assessment Tool) de DOE, se determinó su reemplazo por un motor premium de 600 HP, el cual es capaz de bombear la cantidad de líquido requerido. La sustitución sugerida implica no sólo cambiar un motor estándar por un motor eficiente, y el consecuente ahorro de energía, sino que, más importante que aquello, disminuir la presión del bombeo (o lo que es menos frecuente la capacidad de bombeo en litros/minuto). Desafortunadamente, es usual que el bombeo se realice a más presión que lo requerido, razón por la cual, el tipo de proyecto reportado por CRI y el DOE, es

frecuente. En este caso, la sustitución de un motor de 1.250 HP por otro de 600 HP señala una disminución de aproximadamente un 50% de la energía requerida.

- ii. **Reemplazo de bomba motor de 1.250 HP para PLS por un motor de 750 HP.** El motor de 1.250 HP, encargado de bombear la solución enriquecida con mineral desde una de las pilas hacia la planta de procesamiento, fue reemplazado por un motor premium de 750 HP. Además, se incluyó un variador de frecuencia para enfrentar las variaciones de carga con dirección a la planta. El análisis realizado en el párrafo anterior es también válido en este caso.
- iii. **Instalación de un sistema regenerativo en correa transportadora.** Existe una correa que transporta el mineral molido, a una razón de 1.200 toneladas por hora, hacia la base de una de las pilas de lixiviación del proceso. La energía potencial del mineral descendente es normalmente disipada en forma de calor por los sistemas de frenado de la correa, pero en este caso se incorporó un sistema regenerativo para recuperar esta energía. El costo de inversión de este tipo de opciones es relativamente elevado. En este caso se reporta que ella es del orden de 115.000 dólares. Sin embargo, la energía reportada es equivalente a 1,9 millones de kWh/año lo que implica que la inversión requerida se recupera en menos de un año.
- iv. **Instalación de un sistema de velocidad variable en bomba de pozo de 150 HP.** Esta bomba de pozo provee de agua a la planta de procesamiento y también es utilizada en el tratamiento del polvo en los caminos adenaños. Estos requerimientos varían con el tiempo; hasta la fecha del estudio, una válvula de descarga controlaba el flujo final. Luego, se instaló un sistema de velocidad variable en la bomba para mejorar el control del flujo y reducir los costos operacionales asociados al funcionamiento de esta bomba. Este tipo de inversiones tiene una muy elevada rentabilidad. En este caso, se reporta un período de recuperación del capital de 0,8 años.
- v. **Instalación de Iluminación Eficiente.** Los sistemas fluorescentes entregan iluminación de mejor calidad y con mayor eficiencia, en relación con las luminarias de haluro metálico que había antes del cambio. Utilizando esta información, se instalaron sistemas del tipo T5 ya que presentaban un potencial de ahorro significativo y mejoraron las condiciones de iluminación en la faena. La iluminación reportada corresponde a la utilizada en oficinas. La iluminación eficiente de faenas mineras, en exterior e interior, también ha tenido un desarrollo significativo en los últimos años. Cabe destacar que, hoy en día, la iluminación en base a LED está siendo publicitada como las más eficientes tanto en oficinas como en faenas mineras, ofreciendo alternativas que pueden ser instaladas directamente en sistemas de tubos fluorescentes y que disminuyen el consumo eléctrico entre un 60% y 70%.

Tabla 20: Ahorros asociados a las mejoras en Coeur Rochester

	Ahorro eléctrico anual (kWh/año)	Costo de Implementación (US\$)	Ahorro Anual (US\$/año)
Reemplazar bomba motor de 1250-hp por un motor de 600-hp	4.520.000	41.000	339.000
Reemplazar bomba motor de 1250-hp para PLS por un motor de 750-hp	3.206.000	69.000	240.000
Instalar sistema regenerativo en correa transportadora	1.920.000	115.000	144.000
Instalar sistema de velocidad variable en bomba de pozo de 150-hp	544.000	16.000	41.000
Instalar iluminación eficiente	648.000	19.000	49.000
TOTALES	10.838.000	260.000	813.000

Fuente: DOE, 2005

De las medidas tomadas por CRI, se puede concluir que todas las medidas son transferibles a las empresas nacionales, destacando su bajo período de recuperación del capital. La tabla siguiente muestra la relación entre inversión y ahorro de energía. Se observa que los sistemas regenerativos de correas transportadoras, si bien tienen un período de recuperación de la inversión corto (0,8 años) implican un nivel de inversión elevado por unidad de energía ahorrada. Por el contrario los ahorros en sistemas de bombeo de fluido muestran tener costos de implementación y períodos de recuperación menores. Particularmente, de las cifras mostradas, se deduce que el cociente inversión y energía ahorrada asociado al reemplazo de una bomba sobredimensionada es extraordinariamente rentable. La inversión en iluminación eficiente de faenas industriales tiene también períodos de recuperación muy cortos, ya que se han desarrollado aparatos de iluminación industriales que, en menos de 1 año, ahorran una cantidad de energía que, en menos de un año, permiten recuperar la inversión realizada.

Tabla 21: Indicador de la relación Inversión/Ahorro y Período de recuperación de la Inversión de CRI

	Inversión (US\$)/ Ahorro Anual (GJoule)	Período de Recuperación de Inversión (años)
Reemplazar bomba motor de 1250-hp por un motor de 600-hp	2,52	0,1
Reemplazar bomba motor de 1250-hp para PLS por un motor de 750-hp	5,98	0,3
Instalar sistema regenerativo en correa transportadora	16,64	0,8
Instalar sistema de velocidad variable en bomba de pozo de 150-hp	8,17	0,4
Instalar iluminación eficiente	8,14	0,4

Fuente: Elaboración propia en base a información publicada por DOE, 2005

Es importante destacar que la implementación de estas medidas fue apoyada por el U.S. Department of Energy's (DOE) Industrial Technologies Program (ITP). En efecto el DOE impulsó la materialización del proyecto a través de un proceso de promoción de la eficiencia energética a nivel industrial, contribuyendo con parte de la inversión económica (50%).

3.3 Tarmac Limited

Tarmac Limited (TL), fundada en Inglaterra en el año 1903, es, desde el año 2000, propiedad de Anglo American. Esta empresa es reconocida por su participación en el mercado de la construcción y productos relacionados a ella. Actualmente, la compañía cuenta con 135 canteras, 13 muelles, 73 plantas de asfalto, 172 plantas de hormigón (15 de prefabricados de hormigón) y 36 plantas de reciclaje.

Entre los años 2006 y 2007, en la cantera inglesa de Tunstead, TL llevó a cabo pruebas de utilización de material de desecho como fuente energética que permitieran reducir costos y sus emisiones de GEI.

Como resultado de estas pruebas, actualmente TL utiliza chips a base de neumáticos desechados de autos y vehículos pequeños, no reciclables, para alimentar los hornos de cemento. A partir de esta medida, fue posible suministrar un 50% de la energía necesaria para la operación, sin tener pérdidas en la calidad final del producto. En la Tabla 22 se muestran los resultados obtenidos en la operación para el año 2007:

Figura 8: Chips de neumáticos en Tunstead



Tabla 22: Resultados de la incorporación de Residuos como fuente energética en TL

	Energía equivalente generada (MWh)	Reducción en emisiones NOx (%)	Poder Calorífico de los Neumáticos (Kcal/Kg)
Utilización de neumáticos de autos y otros vehículos pequeños	180.000	15	6.000

Fuente: Elaboración propia en base a información publicada por TL

Actualmente, la empresa continúa utilizando neumáticos en sus hornos, y está realizando estudios para utilizar Harinas de Carne y Hueso (MBM de sus siglas en inglés) como fuente energética para sus hornos. Cifras preliminares, obtenidas el año 2008, indican que la utilización de MBM podría llegar a contribuir con el 20% de la energía necesaria para el funcionamiento de los hornos de la planta y con una disminución de GEI equivalentes a 50.000 toneladas de CO₂.

Esta práctica es actualmente utilizada por Cemento Polpaico, empresa perteneciente a la MMEE. Podría transferirse en la medida que sea ambientalmente aceptable, es decir, que las condiciones de funcionamiento del horno lo permitan.

3.4 Kennecott Utah Copper Corporation

Kennecott Utah Copper Corporation (KUCC), subsidiaria de la corporación Río Tinto, produce aproximadamente 320.000 toneladas de cátodos de cobre por año. La mina ubicada en Bingham Canyon, cerca de Salt Lake City, EE.UU., es una de las más grandes y antiguas en el mundo, comenzando sus operaciones a rajo abierto el año 1906.

La evaluación energética¹² que realizó KUCC en el año 2004, tuvo un costo de US\$225.000 y fue llevada a cabo por expertos del DOE y un equipo de la Universidad Estatal de Oregon, quienes identificaron las áreas y medidas con mayor potencial de ahorro energético en la faena de Bingham Canyon, las cuales se presentan a continuación:

- i. **Reemplazo de canaletas precalentadas para sulfuro de cobre fundido por canaletas enfriadas por agua.** Las canaletas utilizadas para el transporte del sulfuro de cobre líquido a 1.260°C desde la fundición hasta el proceso de granulación por agua, debían ser precalentadas y tener una cubierta de refractarios. En 2002 el gas natural consumido para calentar las canaletas fue de aproximadamente el equivalente de 100.000 MMBtu, con un costo operacional de aproximadamente US\$ 365.000, más el costo de mantenimiento de la cubierta refractaria. Estas canaletas fueron sustituidas por unas de distinta tecnología, las que usan canaletas no precalentadas y enfriadas por agua. El concepto se basa en colocar una delgada capa aislante y protectora de mate sólido en la canaleta, para impedir una excesiva pérdida de calor. Debido a los altos flujos de calor y al riesgo de explosión, la empresa requirió un detallado estudio de ingeniería, que incluyó un análisis mediante elementos finitos.

¹²Es necesario aclarar que KUCC no ha publicado los resultados obtenidos una vez aplicadas las mejoras, pero DOE hace referencia a ellos como "Estudio de Caso", por lo que se asume que durante la implementación se alcanzaron valores similares a los proyectados originalmente.

Este recambio tecnológico significa un ahorro potencial de 100.000 MMBtu por año en energía, y una reducción en los costos de operación superior a US\$600.000 por año, incluyendo los costos de mantención.

Esta medida presenta los siguientes beneficios adicionales:

Figura 9: Canaletas en Bingham Canyon



- Reducción de costos en mantención y reparación.
- Mejoras en higiene y reducción en la temperatura ambiental en la zona de trabajo.
- Mejoras en seguridad al eliminar superficies a altas temperaturas.
- Reducción de generación de desechos de material refractario.

ii. **Optimización en el secado del concentrado.** Se aplicaron mayores temperaturas en la toma de aire de los hornos, lo que permitió aumentar en un 4% la eficiencia térmica del proceso. A un gran horno rotatorio se envían más de 4.000 ton/día de concentrado de cobre húmedo. El secador es calentado mediante gas natural (más de 800.000 MMBtu/año). La optimización del proceso consistió en aumentar de la temperatura de los gases de combustión que se inyectan al secador, ya que es bien sabido que la eficiencia termodinámica aumenta en los procesos de secado en la medida que dicha temperatura aumenta. Pero, el aumento de temperatura, debe realizarse sin exceder la temperatura de ignición del sulfuro de cobre. Se empleó nitrógeno (gas) para enfriar los gases de combustión a fin de minimizar la oxidación e ignición. Mediante pruebas se determinó que la temperatura máxima aceptable es 1350 °F (730 °C). A mayor temperatura la generación de SO₂ aumentaba rápidamente, lo que incrementaría el costo de limpieza del gas.

El equipo profesional evaluó varias técnicas alternativas para reducir la humedad del concentrado a la entrada al secador, pero ninguna resultó económicamente más atractiva que el secado térmico. El resultado final fue lograr un aumento del 4% en la eficiencia térmica del proceso. Además, estas medidas presentan los siguientes beneficios adicionales:

- Reducción en costos de control de emisiones
- Mejoras en el rendimiento de la máquina de secado
- Disminución del volumen de gas dispersado y reducción en el levantamiento de polvo

iii. **Utilización de Biogás.** Posterior al estudio, la empresa comenzó a utilizar gas de un relleno sanitario municipal cercano a sus instalaciones, para reemplazar el gas natural destinado a entregar la energía necesaria para el calentamiento del electrolito. Antes del estudio, el gas del relleno era efectivamente capturado, pero quemado en el sitio.

A modo de resumen se presenta la Tabla 23, en la cual es posible observar los ahorros obtenidos por la compañía para el conjunto de medidas

Tabla 23: Ahorros asociados a las medidas tomadas por KUCC

Descripción	Ahorro Energético Anual proyectado	Impacto Económico Anual Proyectado		
	Gas Natural (MMBtu)	Ahorros Anuales (US\$)	Costo Capital (US\$)	Período de Recuperación de Inversión (años)
Reemplazo de canaletas precalentadas para sulfuro de cobre fundido (a 2.300°F) por canaletas enfriadas por agua	100.000	600.000	1.000.000	1,5
		incluyendo ahorros en mantenimiento		
Optimizar el secado del concentrado	22.000	80.000	N/D	N/D
Total	122.000	680.000	N/D	N/D

Fuente: DOE, 2004

N/D: Información No Disponible

Nota. Se ha omitido de la tabla el uso de gas de relleno sanitario para calentar el electrolito. Los costos de inversión de este tipo de instalaciones se relacionan con aspectos tales como el sistema de colección, el tratamiento del gas producido en el relleno, su transporte (tuberías y bombas) y, eventualmente, las adaptaciones que deben hacerse en las calderas (quemadores y otros).

Puesto que se trata de una fundición y refinería de cobre, todas las prácticas son transferibles, a excepción del uso de gas de relleno sanitario como combustible, la que depende de la factibilidad técnica asociada a su disponibilidad en lugares cercanos a la refinería.

Por otro lado, la optimización del uso de la energía en el secado de concentrado y calentamiento de electrolitos admite varias opciones. En Chile se ha planteado el uso de energía solar para el calentamiento de electrolitos, pero esa opción no se implementa debido a que el período de recuperación del capital es de 4 años.

3.5 Newmont Mining Corporation

Newmont Mining Corporation (NMC), es uno de los mayores productores de oro a nivel mundial y presenta operaciones en EE.UU., Australia, Perú, Indonesia, Ghana, Canadá, Nueva Zelanda y México. Fundada en 1921 y transada en la bolsa desde 1925, Newmont tiene su centro de operaciones en Denver, Colorado (EE.UU.) y emplea aproximadamente a 34.000 personas a nivel mundial.

Esta empresa destaca por la aplicación de nuevas tecnologías para reducir el consumo de agua en la faena de Carlin, Nevada (EE.UU.). La aplicación del compuesto orgánico "DusTreat DC9112"¹³ sobre los caminos que conectan las distintas instalaciones de la faena, logró reducir la cantidad de polvo en suspensión y disminuir la aplicación de agua sobre estos caminos. Los resultados de esta

¹³ Desarrollado por GE Water & Process Technologies. Para mayor información visitar gewater.com o enviar un correo electrónico a custhelp@ge.com.

práctica se pueden observar en las imágenes a continuación, comparando la situación anterior con lo obtenido después de la aplicación del compuesto.

Figura 10: Situación anterior a la aplicación del compuesto comparada con resultado obtenido



Este compuesto presenta un costo de 1,1 US\$/gal¹⁴ (aproximadamente 0,29 US\$/litro), e inicialmente debe ser aplicado de acuerdo a las siguientes especificaciones (entregadas por el fabricante):

Tabla 24: Aplicaciones de DusTreat

Aplicación del producto [gal/yd2]	1era reaplicación [gal/yd2]	2da reaplicación [gal/yd2]	Total [gal/yd2]
0,85	0,45	0,45	1,75

Fuente: Elaboración propia en base a información publicada GE y Dust Suppression on Wyoming's Coal Mine Haul Roads

Es posible estimar el costo de implementación en 0,232 US\$/m² (sólo considerando el compuesto). Además, de acuerdo a instrucciones del fabricante, son necesarias tres aplicaciones de 0,45 gal/yd² al año para efectos de mantención, las que tendrían un costo aproximado de 0,179 US\$/m² (sólo compuesto).

Esta práctica fue reconocida el año 2008 por Water & Process Technologies de General Electric Company, quien premió a la empresa con el *ecomagination Leadership Award*¹⁵ por haber reducido su consumo de agua en 75 millones de galones (aproximadamente 283.967.659 litros) y cuyos ahorros asociados se presentan en la Tabla 25.

Tabla 25: Ahorros asociados a disminución del consumo de agua en Carlin

	Ahorro Material (Galones/año)	Reducción de GEI (ton métricas)	Reducción de Costos (US\$)
Ahorro asociado al Consumo de Agua	75.000.000	N/D	N/D
Ahorro asociado a la distribución del agua y la utilización de camiones	48.000 (Combustible)	491	378.000

Fuente: Elaboración propia en base a información publicada por NMC y GE
N/D: Información No Disponible

¹⁴ Información obtenida de "Dust Suppression on Wyoming's Coal Mine Haul Roads" (2004) de Temple Stevenson, Kansas State University.

¹⁵ El *ecomagination Leadership Award* es un premio entregado por GE a sus asociados, en proyectos que tengan un positivo impacto económico y medioambiental. Sólo el 1% de estas compañías logran el galardón, el cual es entregado trimestralmente a tres empresas.

Las empresas mineras que tienen operaciones en nuestro país están conscientes de la problemática de la disponibilidad de recurso hídrico, lo que queda demostrado en la reducción, entre los años 2000 y 2006 de un 42% en la demanda de agua fresca en procesos de concentración y una reducción del consumo de un 65% en los procesos de hidrometalurgia. Con respecto al regado de caminos para minimizar el levantamiento de polvo, en Mantoverde (propiedad de Anglo American), se encarpetó con ripio los caminos internos, disminuyendo en un 50% el agua utilizada para este fin.

3.6 Rio Tinto Energy America

Rio Tinto Energy America (RTEA) es catalogado como uno de los más seguros y eficientes productores de energía en el mundo. Con su centro de operaciones ubicado en Gillette, Wyoming (EE.UU.), esta compañía entrega el combustible necesario para generar el 6% de la energía eléctrica consumida en EE.UU., a través de sus cuatro minas de carbón en operación en la zona oeste de los EE.UU. RTEA es parte del Grupo Rio Tinto, uno de los líderes mundiales en exploración, explotación y procesamiento de recursos minerales.

Durante el año 2008, con el objetivo de mejorar la seguridad y reducir los costos de mantención y energía, RTEA comenzó el proceso de reemplazo de todas sus luminarias (tradicionales de sodio de alta presión, haluros metálicos y fluorescentes) en las faenas de extracción y molienda de carbón por sistemas de iluminación en base a LEDs (SafeSite y LedBright¹⁶). La nueva iluminación presenta una eficiencia energética de hasta un 30% mayor al ser comparada con sistemas HID tradicionales.

Figura 11: Luminosidad con sistemas LED (izquierda de la imagen) v/s sistema tradicional (derecha)



Los sistemas instalados son capaces de soportar duras condiciones ambientales, incluyendo altos niveles de humedad y vibraciones, pudiendo incluso ser instalados en zonas cercanas a perforaciones. Además, son una alternativa segura para lugares con atmósferas potencialmente explosivas debido a la alta concentración de materiales en suspensión.

Utilizando como referencia el informe “Reemplazo Sistema de Alumbrado Planta Ánodos y Refinado Fundición Caletones” (1999) de la División El Teniente de CODELCO, se verifica que, en la zona de moldeo de la nave de refinado, se instalaron 25 lámparas de Sodio de Alta Presión de 250 W con índice de protección IP 65 para mejorar el sistema de iluminación en base a lámparas de vapor de mercurio, incandescentes, fluorescentes, haluros metálicos y Sodio de Alta Presión existente, cuya potencia alcanzaba los 25,55 KW, proyecto que, en aquella fecha, resultó rentable.

¹⁶ Sistemas desarrollados por Dialight Corporation. Para mayor información, contactar a Michael Schratz, Marketing Manager, Dialight Corporation, 732-751-5897, mschratz@dialight.com

Considerando 24 horas de operación diaria y un reemplazo uno a uno, es posible estimar la instalación de nuevos sistemas de iluminación en base a LED, del tipo SafeSite y con índice de protección IP 66, para reemplazar los sistemas de Sodio de Alta Presión instalados el año 1999.

En la Figura 12 es posible comparar los costos a lo largo de la vida útil de la iluminación LED con respecto a su equivalente de Sodio de Alta Presión¹⁷.

La potencia instalada para el caso original, Sodio y LED se comparan en la Tabla 26.

Figura 12: Comparación de costos iluminación LED vs HPS

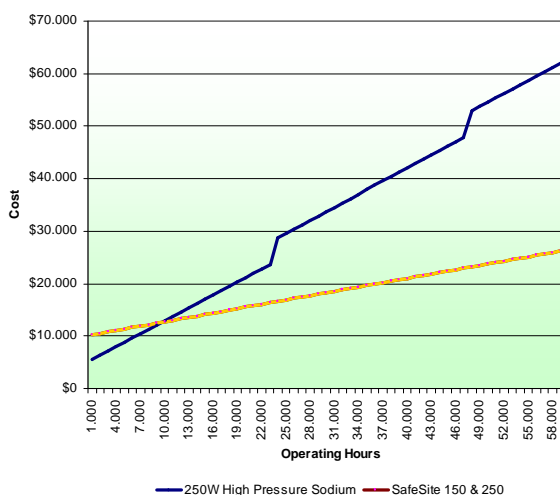


Tabla 26: Potencia Instalada para caso original, Sodio de Alta Presión y LED

	Cantidad	Potencia Instalada [KW]
Caso original	72 ¹⁸	25,55
Sodio de Alta Presión	25	7,5
Sistema LED	25	2,5

Fuente: Elaboración Propia en base a información de CODELCO y Dialight

Finalmente, el reemplazo de las Lámparas de Sodio de Alta Presión por sistemas LED del tipo SafeSite presenta una tasa de recuperación de la inversión de 121% y un período de recuperación de 0,83 años.

En la Tabla 27 es posible apreciar los costos y eficiencias de los distintos tipos de iluminación, de acuerdo a lo publicado por NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health, EE.UU.) el año 2007.

Tabla 27: Tipos de Iluminación y sus características

	Vida Útil (horas)	Costo (US\$)	Temperatura del Color Especular* °K	Eficiencia (Lumens/Watt)	Resistencia a golpes
Incandescente	1.500	7	2.800	14	no
Halógena	2.500	6	3.200	24	no
HID	10.000	20	4.000	80	no
LED	50.000+	8	5.500	70 (prototipos a 110)	sí

Fuente: NIOSH, 2007

*A mayor temperatura especular, más blanca la luz, a menores temperaturas, ésta será de un color amarillo

¹⁷ De acuerdo a la información entregada por Dialight Corporation.

¹⁸ Número total de lámparas instaladas, sin importar su tipo (Vapor de Mercurio, Incandescentes, Fluorescentes, Haluros Metálicos y Sodio de Alta Presión).

3.7 Industrias Peñoles

Pertenciente al grupo BAL, fundado en 1887. Peñoles es un grupo minero con operaciones integradas en la fundición y afinación de metales no ferrosos, y en la elaboración de productos químicos. Con 6 minas, 4 plantas de procesamiento para metales y 3 plantas químicas, Peñoles es el mayor productor mundial de plata afinada, bismuto metálico y sulfato de sodio, y un importante productor latinoamericano de oro, plomo y zinc afinados.

Figura 13: Faena de extracción en Mina Naica



Con un consumo de 14,94 millones de GJ en energía el año 2008, la empresa, a través de su Programa de Eficiencia Energética, busca alcanzar eficiencia energética incluyendo cogeneración y cambios en los procesos, generación en autoabastecimiento, modificar su matriz energética, utilizando fuentes de energía renovables para reducir la dependencia de combustibles fósiles.

En la Tabla 28 se presentan los principales proyectos realizados por Industrias Peñoles durante el año 2008 según lo publicado en su Informe de Desarrollo Sustentable.

Tabla 28: Información de los principales proyectos llevados a cabo por Peñoles el año 2008

	Energía Ahorrada [GJ/año]	Descripción del trabajo realizado
División Minas		
Maple/Naica	0,72	Limpieza de pilas de agua de mina, para aumentar la eficiencia de succión de equipo de bombeo.
Tizapa	0,54	
División Químicos		
Química del Rey	5.184	Cambio de motores e incorporación de variadores de frecuencia
División Metales		
Aleazin	N/D	Paralización de la operación horno de aluminio, para utilizar horno de reciclo
Bermejillo	9.420,30	Uso de dispositivos ahorradores de gas natural en los secadores de sulfato de cobre
Met-Mex Refinería	4.354,27	Instalación de 2 recuperadores de calor en pailas.
Met-Mex Planta de Zinc	17.919,50	Reemplazo de pailas de gas por hornos eléctricos en el área de extracción por solventes.
Met-Mex Fundición	3.516,91	Cambio de Gyrol X Drive en abanico S-52
Fertirey	42.161,08	Reemplazo de equipo de secado de sulfato de amonio.

Fuente: Informe de Desarrollo Sustentable 2008, Industrias Peñoles

N/D: Información No Disponible

3.8 Xstrata PLC

Fundada en 1926 bajo el nombre de Südelektra AG, compañía Suiza con inversiones en proyectos de infraestructura y electricidad en América Latina. En el año 1999, la compañía diversificó su rubro transformándose en un grupo de explotación de recursos naturales bajo el nombre de Xstrata.

Durante el año 2005, la división extractora de Carbón en New South Wales (NSW), Australia, firmó un contrato con el gobierno para ingresar al programa de Oportunidades de Eficiencia Energética. En el año 2006 se realizaron evaluaciones energéticas en ocho minas en NSW, las que resultaron en el desarrollo de variados planes de acción y la generación de una lista de 175 posibilidades de eficiencia energética.

Figura 14: Faena de extracción en NSW



Los proyectos fueron separados en dos grupos, los que son explicados con mayor detalle en la Tabla 29:

Tabla 29: Tipos de proyectos realizados por Xstrata

	Recuperación de Inversión	Nivel de Inversión [AU\$] ¹⁹	Casos destacados
Cambios en Procesos	6 meses - 2 años	20.000 - 65.000	Control automático de iluminación, mejoras en control de correas transportadoras, control automático de partidas
Cambios Tecnológicos	2 - 4 años	50.000 - 8.000.000	Instalación de motores de alta eficiencia, variadores de frecuencia, reemplazo de equipos principales por otros más eficientes

Fuente: Elaboración propia en base a información publicada por Xstrata

Finalmente, 47 proyectos fueron seleccionados para implementación inmediata. A fines del año 2006, 32 de estos proyectos ya habían entregado beneficios económicos y medioambientales cuantificables, cuyo resumen de beneficios se entrega en la Tabla 30.

Tabla 30: Beneficios alcanzados en Xstrata Coal - NSW

Energía Ahorrada por año [GJ]	Ahorro Mínimo por Faena [%]	Reducción de GEI por año [ton CO2 eq]
13.686	1	3.700

Fuente: Elaboración propia en base a información publicada por Xstrata

Es necesario agregar que los costos de las evaluaciones energéticas realizadas (incluidos los asociados a las consultoras contratadas y a la implementación de un gerente de proyecto), fueron pagados con los beneficios obtenidos durante el primer año en operación de las mejoras.

¹⁹ Dólar australiano. 1 dólar australiano equivale, al 21 de julio de 2009, a US\$0,8180

4. ANÁLISIS DE LA NORMATIVA RELACIONADA CON GESTIÓN ENERGÉTICA

Los procesos industriales exitosos son complejos y siempre cambiantes, pero estos a la vez son consistentes, adaptables, eficientes en el manejo de recursos y siempre se encuentran en un proceso continuo de desarrollo. La incorporación normas en los procesos permite la generación de información crucial para respaldar una correcta toma de decisiones.

4.1 IEEE Std 739-1995 IEEE Recommended Practice for Energy Management in Industrial and Commercial Facilities



Esta norma fue publicada por primera vez el año 1984 por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE de sus siglas en inglés) y fue actualizada el año 1995. La norma entrega las prácticas recomendadas para la administración del consumo de energía eléctrica en instalaciones industriales y comerciales.

La norma IEEE Std 739-1995 no tiene por objetivo establecer mínimos regulatorios, sino que propone técnicas y procedimientos que permiten una optimización en el diseño y operación del sistema eléctrico de una faena, al considerar todos los aspectos que están relacionados a ella, como son: seguridad, costos, medio ambiente, requerimientos de administración, etc.

Consta de 8 capítulos (Overview; Organizing for energy management; Translating energy into cost; Load management; Energy management for motors, systems, and electrical equipment; Metering for energy management; Energy management for lighting systems; Cogeneration), los que se caracterizan por el alto nivel de desarrollo y detalle para cada uno de los temas tratados en cada uno de ellos, situación que puede ser contraproducente al necesitar de constantes actualizaciones debido a la incorporación de nuevas tecnologías en la industria.

Entre las características principales de la norma IEEE Std 739-1995, podemos destacar, el gran nivel de desarrollo y detalle que alcanza en sus extensas 286 páginas, las cuales se enfocan a gestión y administración del recurso energético. En ella se pueden encontrar especificaciones técnicas para sistemas de motores, iluminación y otros equipos, los que sirven de referencia para los cálculos de eficiencia energética. A pesar de ser éste uno de los puntos fuertes, es también el más débil, ya que se hace necesaria una actualización constante que considere las nuevas tecnologías disponibles en el mercado. Esta norma, además, incluye específicamente seis categorías específicas que se deben abordar al conducir una evaluación energética:

- a. Iluminación
- b. Calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire
- c. Motores y equipos asociados
- d. Procesos
- e. Otros equipos eléctricos

f. Estado de la construcción de la planta

4.2 ANSI/MSE 2000:2005 A Management System for Energy



Este estándar establece el orden y consistencia necesarios que deben mantener las distintas organizaciones al administrar sus recursos energéticos. Esto significa: el establecimiento de sistemas de monitoreo, la definición de objetivos y metas relacionadas con los resultados obtenidos de los indicadores de desempeño y el establecimiento de metodologías de evaluación de los progresos obtenidos de la aplicación de programas de administración energética.

El objetivo final de esta norma es establecer una metodología de gestión energética sistematizada que permita incorporar el buen manejo energético a lo largo de toda la operación productiva, y que éste sea una responsabilidad para la totalidad de los empleados. Es necesario considerar que esta norma no entrega criterios específicos de rendimiento energético.

Esta norma consta de 9 capítulos (Scope, Normative References, Definitions, Management System for energy, Management Responsibility, Energy Management Planning, Implementation and Operation, Checking and Evaluation, Management Review), en los que se entregan guías y referencias de la forma en que deben llevarse a cabo las evaluaciones energéticas, sin necesidad de enfocarla directamente a un tipo de equipo o faena.

Es de importancia mencionar que, además de inventariar y documentar las prácticas, indicadores obtenidos, etc., la norma ANSI/MSE 2000:2005 agrega un requerimiento adicional, el cual es la creación de un manual energético, en el cual se deben especificar los requerimientos del estándar así como la forma y medidas en que se llevando a cabo para cumplir con estos objetivos.

4.3 ISO 50001 Energy management systems



Esta norma aun no ha sido oficializada, dado que está siendo revisada por el comité ISO/TC 242 N18 del 22 de abril de 2009. Se espera que sea publicada en el año 2011, y es considerada como la evolución natural de la norma ANSI/MSE 2000 de acuerdo a lo publicado por Superior Energy Performance²⁰

De acuerdo a lo publicado por la secretaría a cargo, esta norma no está enfocada a un único tipo de industria, ni tampoco entrega criterios específicos de rendimiento energético, sino que especifica los requerimientos para un sistema de administración energética, el cual permite a una organización tomar decisiones sistemáticas enfocadas a mejoramientos continuos en eficiencia y rendimientos asociados al consumo energético.

²⁰ Para más información visitar el sitio <http://www.superiorenergyperformance.net>

Esta norma consta de 6 capítulos (Foreword, Introduction, Scope, Normative references, Terms and definitions, Energy management system requirements), donde se detalla el tipo de requerimientos y normativa energética que se deben seguir, además de incluir formas de planeación estratégica, implementación y chequeo que sirvan de referencia para los que se certifiquen bajo esta norma.

Existe gran dificultad para referirse a la norma ISO 50001, ya que aún se encuentra en estado de desarrollo y puede presentar cambios entre cada una de sus versiones. Sin embargo, debido a que es desarrollada (en parte) por la misma entidad que desarrolló la ANSI/MSE 2000:2005, presenta una estructura y contenidos similares, pero alcanza mayor profundidad en ciertos puntos, como por ejemplo, el marco legal y sus requerimientos, entregando además, mayor detalle en cada una de sus capítulos y subcapítulos.

4.4 Norma de Eficiencia Energética en Proyectos de Inversión (NCC-32) de CODELCO



A nivel nacional, es necesario considerar el caso de la **Norma Corporativa de Eficiencia Energética en Proyectos de Inversión (NCC-32)** de CODELCO. Esta se aplica sobre todos los proyectos de inversión de la corporación, independiente de las modalidades de administración y/o tipo de contrato para su desarrollo y ejecución.

El objetivo de esta norma es asegurar la optimización del uso de los recursos energéticos, a través de la incorporación de la Eficiencia Energética como forma de optimizar económicamente un proyecto durante todo su ciclo de vida.

Es necesario notar que en esta norma no se encuentran los procedimientos de trabajo específicos para el desarrollo de tareas, ya que éstas se encuentran desarrolladas en el **Manual de Eficiencia Energética en Proyectos de Inversión**, pero detalla la estructura básica que deben tener las Reuniones de Inicio de EE para cada etapa de un proyecto (*7 actividades claves*). La Parte I de este Manual detalla la relación entre Eficiencia Energética y los Contenidos Mínimos de los Entregables en Proyectos de Inversión. La Parte II del Manual detalla las Herramientas Operativas para determinar el Mapa de Oportunidades de Eficiencia Energética en el Desarrollo de Proyectos Mineros y los entregables, relacionados con eficiencia energética, en cada etapa del proyecto, tales como: identificación de fuentes de energía local aprovechables en el proyecto, las fuentes de suministro de agua y tratamientos de aguas residuales. Finalmente la Parte III del Manual detalla las Bases Conceptuales y Teóricas de los Proyectos de Eficiencia Energética, la Energía y Eficiencia Energética en las diferentes etapas de los Proyectos de Inversión (preinversión, ejecución, operación y cierre), la energía y el medioambiente, incluyendo la emisión y mitigación de gases efecto invernadero y la evaluación de compras de equipos tomando en consideración el costo total anualizado de cada equipo en el horizonte de evaluación del proyecto. También se indican las eficiencias mínimas y las pérdidas máximas de algunos equipos de uso frecuente en las faenas mineras.

Las etapas: Estudios de Perfil, Estudios de Prefactibilidad, Estudios de Factibilidad, Ejecución, Operación, incluyen productos entregables al final de cada una de ellas, y su organización sigue una estructura similar a la presentada en la Tabla 31.

Tabla 31: Entregables EE

TAREA	ACTIVIDAD	ENTREGABLE
<i>Nombre de la Tarea</i>	<i>Especificación de la Actividad</i>	<i>Informes a entregar relacionados al trabajo realizado</i>

La existencia y aplicación de este tipo de normas a nivel nacional, genera una atmósfera auspiciosa para el futuro, ya que facilitará la certificación bajo normativas de reconocimiento internacional que abran las puertas hacia mercados exigentes en materia gestión energética y ambiental. La inclusión de capacitación del personal en materias energéticas, no sólo permitirá a la empresa mejorar en materia de producción, sino que también generará una retroalimentación a través de la cual, los trabajadores, podrán apoyar e informar sobre posibles mejoras en la faena que puedan haber sido pasadas por alto por el Equipo de EE inicialmente.

4.5 International Performance Measurement and Verification Protocol y Guía para determinar condiciones de medición de consumo energético.



La Publicación International Performance Measurement and Verification Protocol consta de tres volúmenes: I Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings, II Indoor Environmental Quality (IEQ) Issues y III Applications. **Tiene el aval del US Department of Energy (DOE).**

En Chile esta publicación es reconocida como la Norma NCh3045.Of2007 Guía para determinar condiciones de medición de consumo energético. Tiene la gran particularidad que muestra métodos de medición de energía en terreno, tomando en consideración las dificultades que ello conlleva. Presenta varias opciones para llevar a cabo estas mediciones. Compara la situación antes de producir un cambio en la faena con la situación una vez llevado a cabo el cambio, es decir, es una herramienta para garantizar los ahorros de energía asociados a cambios introducidos en los procesos.

4.6 Análisis comparativo entre las normas mencionadas

Cada una de las normas descritas tiene su particularidad y su utilidad específica. La Norma IEEE es una recomendación extraordinariamente útil al momento de realizar una instalación de un equipo eléctrico en una faena. La utilidad de la Norma ANSI tiene su mayor utilidad en lo relacionado con la adquisición de equipos y sistemas eficientes, ya que se ha constituido en un referente que testifica la eficiencia de cada equipo e impulsa el desarrollo y fabricación de equipos nuevos cada más eficientes. La Norma ISO es la Norma Internacional por excelencia, al extremo que no cumplir una norma ISO puede ser de extraordinaria gravedad para una empresa que comercializa sus productos en el extranjero. La Norma de Eficiencia Energética de CODELCO es reconocida en todas las empresas de ingeniería de proyectos en Chile, y, por tanto, ha impulsado la realización de proyectos

mediante equipos eficientes y, también, obligando a la instalación de sistemas de medición que garanticen el funcionamiento eficiente, en terreno, de los equipos. Finalmente, la Norma International Performance Measurement and Verification Protocol y su traducción Norma NCh3045.Of2007 Guía para determinar condiciones de medición de consumo energético es un referente al momento de medir energía en terreno y certificar un mejoramiento.

5. CONCLUSIONES: RECOPIACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS PARA LA MINERÍA.

Si bien en nuestro país se han realizado acciones importantes tendientes a aumentar la eficiencia de los procesos productivos en la minería, las empresas aun tienen posibilidades de llevar a cabo mejoramientos sustantivos en la forma en que se usa la energía en la minería, todo lo cual es factible que contribuya a disminuir los consumos de energía sin afectar la producción. Incluso, es factible pensar en incrementos de producción al implantar técnicas eficientes de uso de la energía.

Es importante destacar que algunas prácticas o proyectos de uso eficiente de energía requieren de inversiones que no resultan lo suficientemente rentables en comparación con, por ejemplo, proyectos mineros de ampliación. Ante esta realidad, algunos países han optado por crear fondos para subsidiar proyectos de eficiencia energética. Estos fondos pueden provenir de ítems presupuestarios específicos o formas de financiamiento indirectas (por ejemplo, un porcentaje de las ventas de energía). Entre los países que disponen de estos fondos, se puede mencionar: Estados Unidos, Japón, Gran Bretaña, Brasil, Costa Rica.

En virtud de lo anterior, es importante destacar que la mayoría de las prácticas reportadas en países extranjeros tienen un apoyo decidido de instituciones creadas con el objetivo de transferir prácticas y tecnologías a empresas energointensivas. Incluso, estas instituciones financian parte de los estudios destinados a identificar oportunidades, para luego colaborar con parte del financiamiento necesario para la realización de las inversiones requeridas. Para ilustrar esta situación se presenta la Tabla 32, donde se presentan aportes del DOE para la realización de algunos de los proyectos presentados en este informe.

Tabla 32: Aporte del DOE para realización de estudios de preinversión

EMPRESA	PORCENTAJE APORTADO POR DOE
Coeur Rochester Inc.	45%
Kennecott Utah Copper Corp.	44%

Si bien el aporte económico es importante, es necesario, además, un asesoramiento técnico y en la difusión de los resultados. En virtud de reforzar la anterior afirmación se presenta resumidamente el programa de recambio de motores²¹ impulsado por el DOE en Estados Unidos.

Considerando que al año 1996 existían sobre 40 millones de motores eléctricos en giro en los Estados Unidos, los cuales consumían cerca del 70% de la energía eléctrica demandada por los sectores industrial y minero, el DOE impulsó una campaña de promoción del uso de motores eficientes. A 10 años de lanzada la campaña, los logros alcanzados eran:

²¹ En Chile, el PPEE está impulsando un programa de recambio de motores que considera el subsidio del sobre costo y variadas campañas de difusión.

- Reducción en el consumo de energía de 520 GWh/año a los 4 años de iniciada la campaña, lo que se tradujo en un ahorro anual de US\$24,9 millones.
- Reducción en 130.000 toneladas métricas de carbón anuales.
- Excelente respuesta del sector privado. Por cada dólar invertido por el estado en realizar la campaña, el sector privado invirtió US\$4 en el recambio.

Para lograr estos resultados, las medidas impulsadas fueron las siguientes:

- Se promovió la capacitación de vendedores y usuarios finales.
- Se establecieron canales para la difusión por medio de ejemplos de los resultados obtenidos.
- Se ideó una campaña comunicacional donde se destacó las ventajas económicas, en la productividad y en la imagen de la empresa.
- Se diseñaron herramientas para facilitar la elección del motor correcto para un proceso determinado.

Del ejemplo mostrado, puede concluirse que es conveniente la articulación de proyectos replicables por varias empresas. De este modo, el conjunto de ellas puede obtener un apoyo técnico común que, al mismo tiempo, se constituya en un aval del nivel de ahorro de energía logrado. Por otra parte, este apoyo implicará la difusión de la práctica, mecanismo mediante el cual se logrará un impacto de mayor repercusión a nivel del país.

Cabe destacar que nuestro país está siguiendo las tendencias marcadas por países del primer mundo, dado que ha establecido una institución orientada a aumentar la eficiencia en el uso de los recursos energéticos, como es el Programa País de Eficiencia Energética, cuya misión es *“consolidar el uso eficiente como una fuente de energía, contribuyendo al desarrollo energético sustentable de Chile²²”*. A la fecha, el PPEE ha impulsado variados programas, como por ejemplo: recambio de motores, recambio de camiones, etiquetado de artefactos, etc. Además, el sector privado ha demostrado su compromiso con el uso eficiente de la energía con el establecimiento de mesas de trabajos (como el caso de la Mesa que reúne a integrantes de la Gran Minería de Chile, o la que reúne a empresas del rubro del retail, o la que reúne a representantes de la pequeña y mediana minería) que reúnen a los actores relevantes, las que, de manera voluntaria reportan ahorros y establecen metas y actividades relacionadas con el fomento de la EE en sus respectivos sectores.

Es importante mencionar que en Chile, el sector minero ha seguido los lineamientos internacionales, conducentes a lograr un aumento en la eficiencia en el uso de los recursos energéticos, sean estos combustibles o electricidad. En este sentido, se ha emprendido tareas tales como:

- la renovación del parque de motores en giro, reemplazando motores estándar antiguos por motores nuevos de eficiencia superior,
- la implementación de estrategias de control para la demanda de energía y potencia en punta mediante predictores de demanda,

²² Misión del Programa País de Eficiencia Energética desde el año 2008.

- la implementación de estrategias de control en procesos, como secado de concentrado, ventilación, chancado, entre otros,
- el uso de combustibles alternativos como neumáticos, aceites residuales, entre otros,
- la capacitación a trabajadores en temas de EE con diversas campañas destinadas a que los trabajadores entiendan la importancia económica y medioambiental que tiene la EE para la empresa y el país,
- el establecimiento de normativas que aseguran la incorporación de criterios de eficiencia energética desde la concepción de los proyectos de inversión, entre otras medidas relevantes.

No obstante lo anterior, la articulación de lazos público privados, con el fin de fomentar el uso eficiente de la energía, son una experiencia relativamente nueva en Chile. Por lo tanto, es importante:

- Reforzar lazos y grupos de trabajo.
- Establecer canales de comunicación y colaboración entre los sectores público y privado.
- Comprometer a todos los actores relevantes en el tema.
- Educar y/o capacitar a todos los involucrados.
- Establecer metas claras.
- Establecer una hoja de ruta para alcanzar las metas definidas²³.
- Establecer los canales de difusión de experiencias exitosas.
- Creación de una base técnica sólida a la que puedan recurrir actores interesados.

²³ En el marco del Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2010 – 2020, se convocó a una serie de actores relevantes, los cuales tienen como tarea analizar las conclusiones de diversos estudios desarrollados durante el 2008 y 2009, para discutir las diferentes propuestas y canalizar las diversas opiniones técnicas que surjan, a fin de articular un plan que cuente con un amplio respaldo de los actores más relevantes en la materia.

LISTADO DE REFERENCIAS²⁴

Empresa	Descripción	Nombre archivo
Kennecott Utah Copper	Retrofits Smelting Applications from Air-Fuel to Oxy-Fuel Burners	kennecott_oxy_fuel.pdf
MagCorp	Modernization of Electrolysis System	MagCorp_electrolysis.pdf
Kennecott Utah Copper Corporation	Mejoras en planta, cambio de fuentes energéticas, mantenciones	mi_cs_kennecott_utah_copper.pdf
Coeur Rochester, Inc.	Plant-Wide Assessment of Nevada Silver Mine Finds Opportunities to Improve Process Control and Reduce Energy Consumption	Coeur Rochester - silver_37883_2005.pdf
Alcoa World Alumina	Plant-Wide Assessment at Arkansas Operations Reveals More than \$900,000 in Potential Annual Savings	mi_cs_alcoa_world_alumina.pdf
Alcoa North American Extrusions	Corporate Energy Conservation Program	Alcoa-aluminio-2001.pdf
United States Steel Corp.	Estudio de Potenciales Reducciones de Consumo Energético hecho por DOE - Energy Savings Assessment (ESA) - Gary Works plant of United States Steel Corporation (U. S. Steel)	esa-096-1.pdf
United States Steel Corp. (MINNTAC)	Ahorros obtenidos por mejoras de la Evaluación anterior - Medidas a corto plazo	42858_Largest Producer of Steel Products in the United States Achieves Significant Energy Savings.pdf esa-095-1.pdf
Tarmac - Anglo American	Ahorros obtenidos por cambio de fuentes energéticas. Utilización de neumáticos de desecho para alimentar hornos.	Anglo American - Rubber chi....pdf Handling tyre chip fuel for UK cement plant.pdf bli_news_issue_5.pdf
Newmont Mining Corporation	GE Water & Process Technologies honored Newmont Mining Corporation with a 2008 ecomagination Leadership Award for reducing its annual water footprint by over 75 million gallons. Planta de Carlin - Nevada - EEUU	2008_05_15_Newmont.pdf EcoNewmontCaseStudy.pdf

²⁴ Estos documentos pueden ser solicitados a la Secretaría Técnica de la MMEE a través del correo electrónico administrador@mesaminera.cl

Empresa	Descripción	Nombre archivo
Rio Tinto Energy America	Rio Tinto Energy America is to install LED-based SafeSite and LEDBright fixtures from Dialight Corporation throughout many of its coal mining and crushing facilities. The LED lights are intended to improve safety dramatically and to decrease maintenance intervals	LED professional Dialight's New 100W LED Luminaire Outshines 250W HPS.pdf LEDs Magazine - Dialight LED fixtures destined for hazardous mining locations Rio Tinto.pdf Safer Offshore Lighting with LEDs.pdf Maser Australia News - LED industrial lighting.pdf Dialight_TCO_Calculator.xls Hazloc_Lighting_Brochure(3).pdf Informe: "Reemplazo Sistema de Alumbrado Plantas Ánodos y Refinado Fundición Caletones"
Barrick	La mina Veladero, operación de Barrick en Argentina, cuenta hoy con el generador eólico a mayor altura del mundo.	BARRICK - Operaciones- Generador Eólico de Veladero.pdf Veladero - electricidad interame - Un proyecto récord en tecnología eólica generador_eolico_veladero.pdf
Xstrata PLC -Xstrata Coal	Mejoras en plantas de New South Wales - Australia	Xstrata Plc - Xstrata Coal realises energy efficiency opportunities.pdf
Industrias Peñoles	La empresa, a través de su Programa de Eficiencia Energética, busca alcanzar eficiencia energética incluyendo cogeneración y cambios en los procesos, generación en autoabastecimiento, modificar la canasta de energéticos, utilizar fuentes de energía renovables	reporte sustentabilidad 2008_Energía_OPTIMIZACIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA.pdf CasosExitososPENOLES(2).pdf artluisburgos.pdf
Asociación Industrial Manufacturera	Certifying U.S. Manufacturing Plants for Energy Efficiency http://www.superiorenergyperformance.net	CEE_McKane052908.ppt
Unilever HPC (Home and Personal Care) North America	Entrevista -"Corporate Energy Management at Unilever": A simple budget-to-actual spreadsheet compares energy performance at 14 facilities. From 2000 – 2002, this program has resulted in savings in excess of \$4 million.	Unilever Case v04.pdf
3M	Entrevista -"Corporate Energy Management at 3M": 3M seeks to reduce energy consumed per pound of product by 20 percent over the 2000 – 2005 time frame.	3M Case v07.pdf