



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

CASIM
CENTRO DE AUTOMATIZACIÓN Y SUPERVISIÓN
PARA LA INDUSTRIA MINERA

Uso eficiente de la Energía en Procesos Mineros

Jorge Pontt^(1,3), Waldo Valderrama^(1,2), Manuel Olivares^(1,3), Fernando Rojas^(1,4),
Hernán Robles^(1,3), Sebastian L'Huissiers^(1,3), Felipe Leiva^(1,3)

E-mail: jorge.pontt@usm.cl, Fono: +56-32-2654553

¹ Centro de Automatización y Supervisión para la Industria Minera (CASIM),
⁽²⁾D.Ing.Metalúrgica, ⁽³⁾ D.Electrónica, ⁽⁴⁾D.Ing. Mecánica, UTFSM,
Universidad Técnica Federico Santa María

Av. España 1680, Valparaíso, Chile

Calama, 5-6 de Julio, 2012

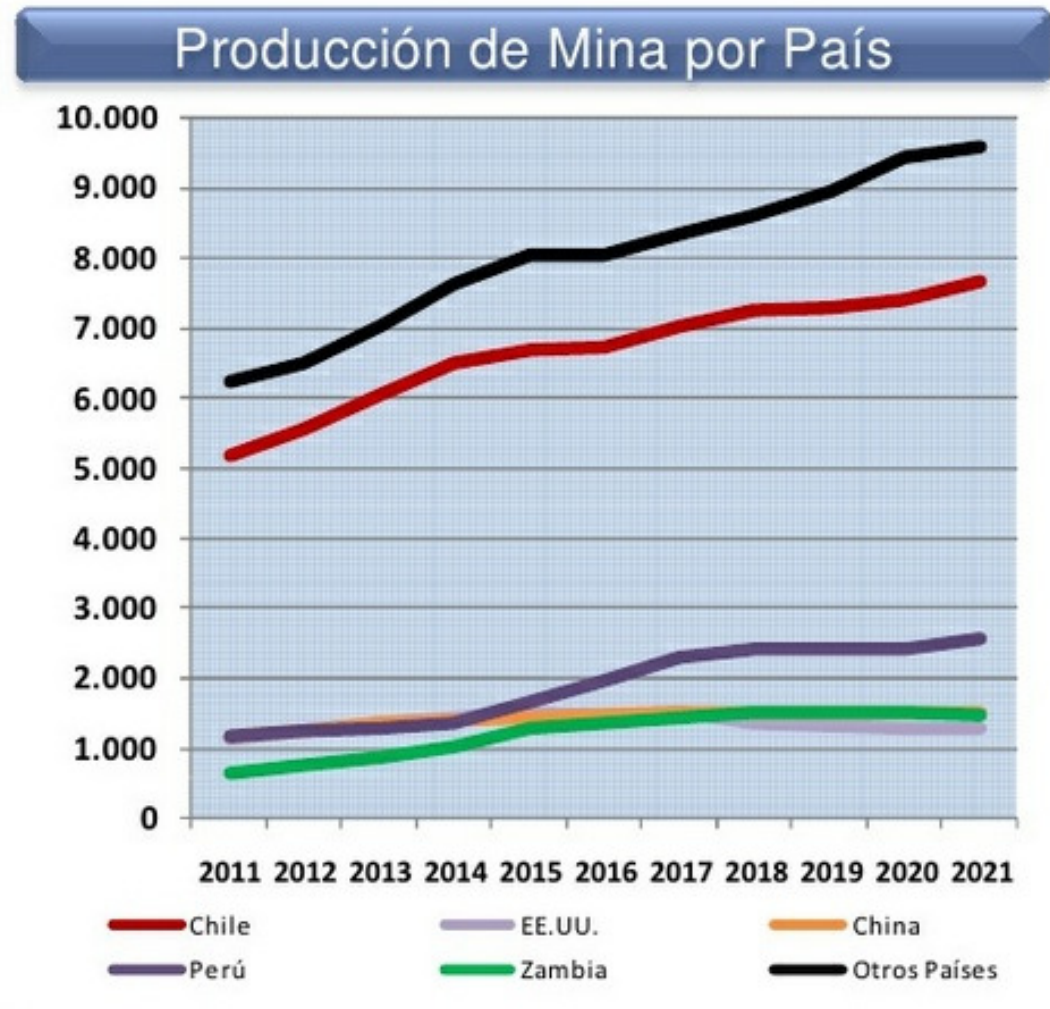
Contenido

Introducción

- **Uso eficiente de Energía**
- **Emisiones**
- **Casos ejemplo**
- **Resumen**

Producción de cobre proyectada

De 5,5 a 7,5
Millones tmf
cobre/año



Inversión L.A.: 186 Billones USD 2012-21

Inversión Mundial Estimada en Proyectos de Cobre*

Período 2012-2021, miles de millones de US\$, moneda 2012



Fuente: Brook Hunt (Marzo 2012) y Codelco.

Nota: (*): Considera el CAPEX de la cartera de proyectos en construcción, altamente probables, probables y posibles (expansión).

Ref.: Diego Hernández, Desafíos y oportunidades de la Minería en América Latina, EXPOMIN 2012, Conferencia Inaugural, 9 de abril, 2012

Referencias

- [1] Marco Orellana, **Codelco Digital: Vision y Estrategia**. 2009.
- [2] Editec, **ELECGAS 2012**
- [3] Akagi, H. (2011a), “**Editorial: Special Section on Power Electronics in Sustainable Energy**”, IEEE Trans. On Power Electronics, 2011, pp. 3433-3434.
- [4] Blaabjerg, F.; Guerrero, J.M. (2011), “**Smart grid and renewable energy systems**”, **International Conference on Electrical machines and systems**, ICEMS 2011, pp.1-10.
- [5] **Energy.gov,(2012), What a smart grid means to our nation’s future**, <http://energy.gov/oe/office-electricity-delivery-and-energy-reliability>, consultado el 25.06.2012.
- [6] FundaciónChile, **Fuerza Laboral en la Gran Minería Chilena, Diagnóstico y Recomendaciones, 2011-2020**, Nov. 2011.
- [7] Diego Hernández, **Desafíos y oportunidades de la Minería en América Latina**, EXPOMIN 2012, Conferencia Inaugural, 9 de abril, 2012.
- [8]Link programa **Diploma: Nuevas Tecnologías en el Sector Minero**
http://www.casim.utfsm.cl/09-eventos/20120510/diplomado_NTSM/diplomado.php

Desafíos del sector minero-Factores

- **HSEC**
- **Ambiente (Impactos, Pasivos Ambientales Mineros)**
- **Energía**
- **Agua**

- **Competitividad “Cluster Minero”**
- **Know-how, Tecnología, equipos**
- **Recursos Humanos**

Impacto en el medio ambiente

- **1 MWh = 1000 kWh**
- **1 MWh Eficiencia Energética o de ERNC ahorra**

Emisiones

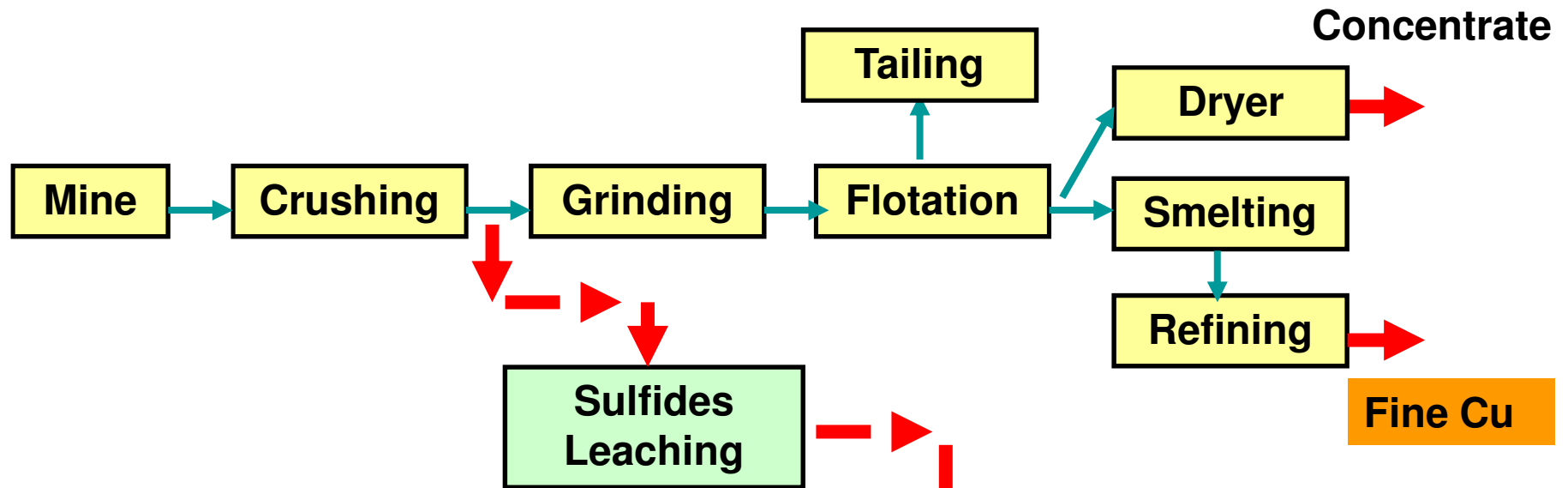
ca. 0.5-1 Tons of CO₂ (eq)

Ejemplos: Emisiones de CO₂

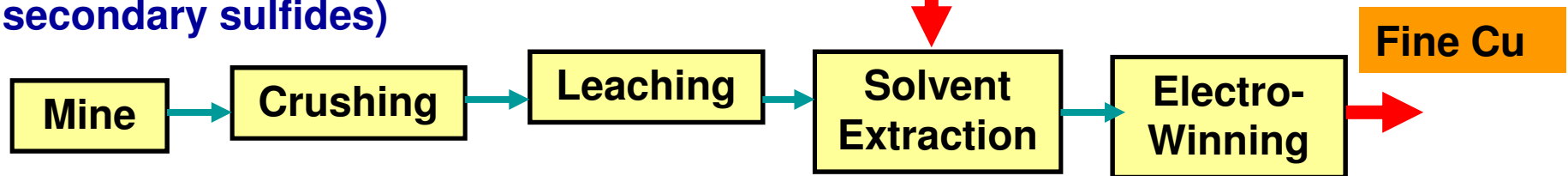
- **Producir 1 ton de Cobre Fino**
- **3...7 MWH/tmf: 1.5-7 Ton CO₂**

Ref. COCHILCO

a) Conventional (Sulfides Ore, chalcopyrite)

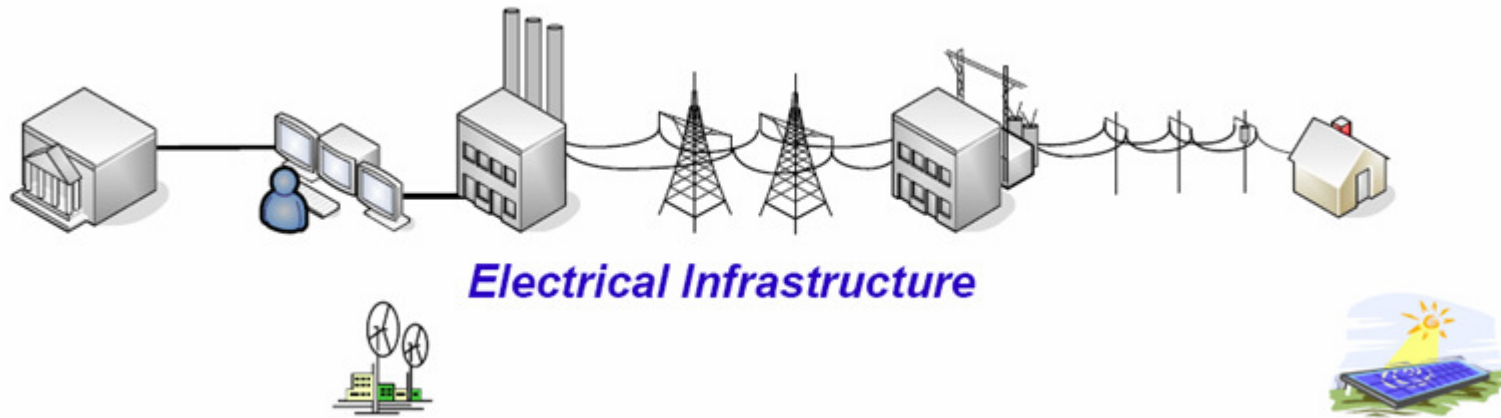


b) Leaching-Solvent Extraction-Electro-winning (Oxides Ore and secondary sulfides)



Obs. No tailings, No Grinding, No Smelting.

Fig.2 Smart grid



Integración de ambas infraestructuras

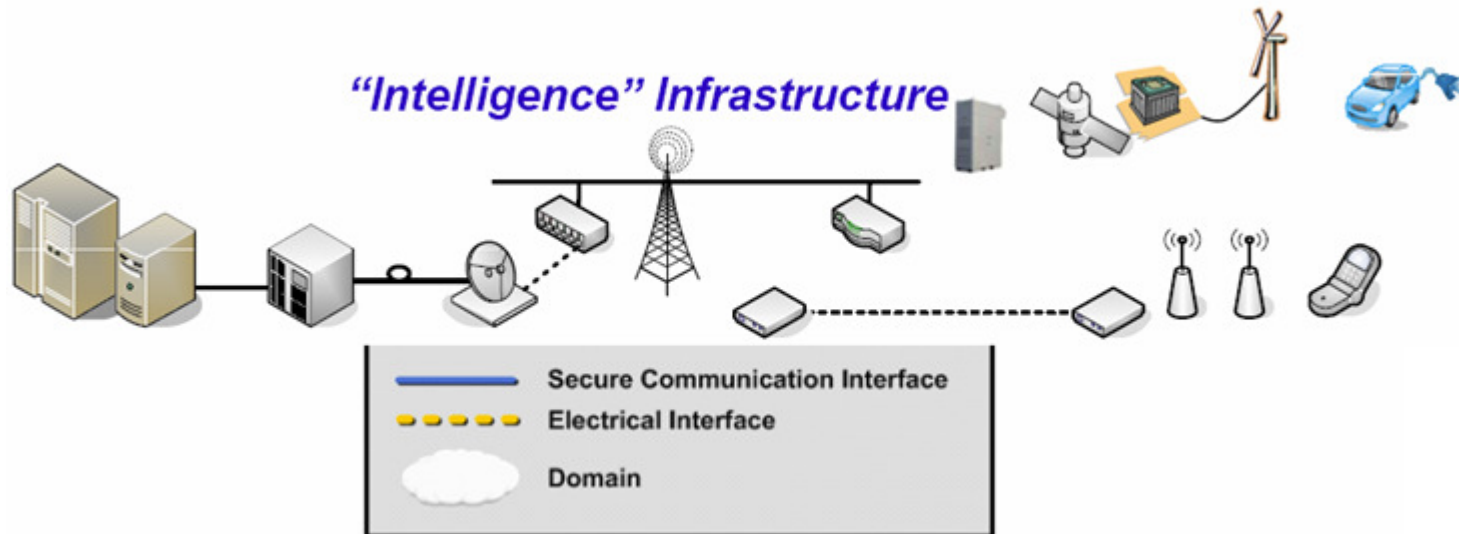
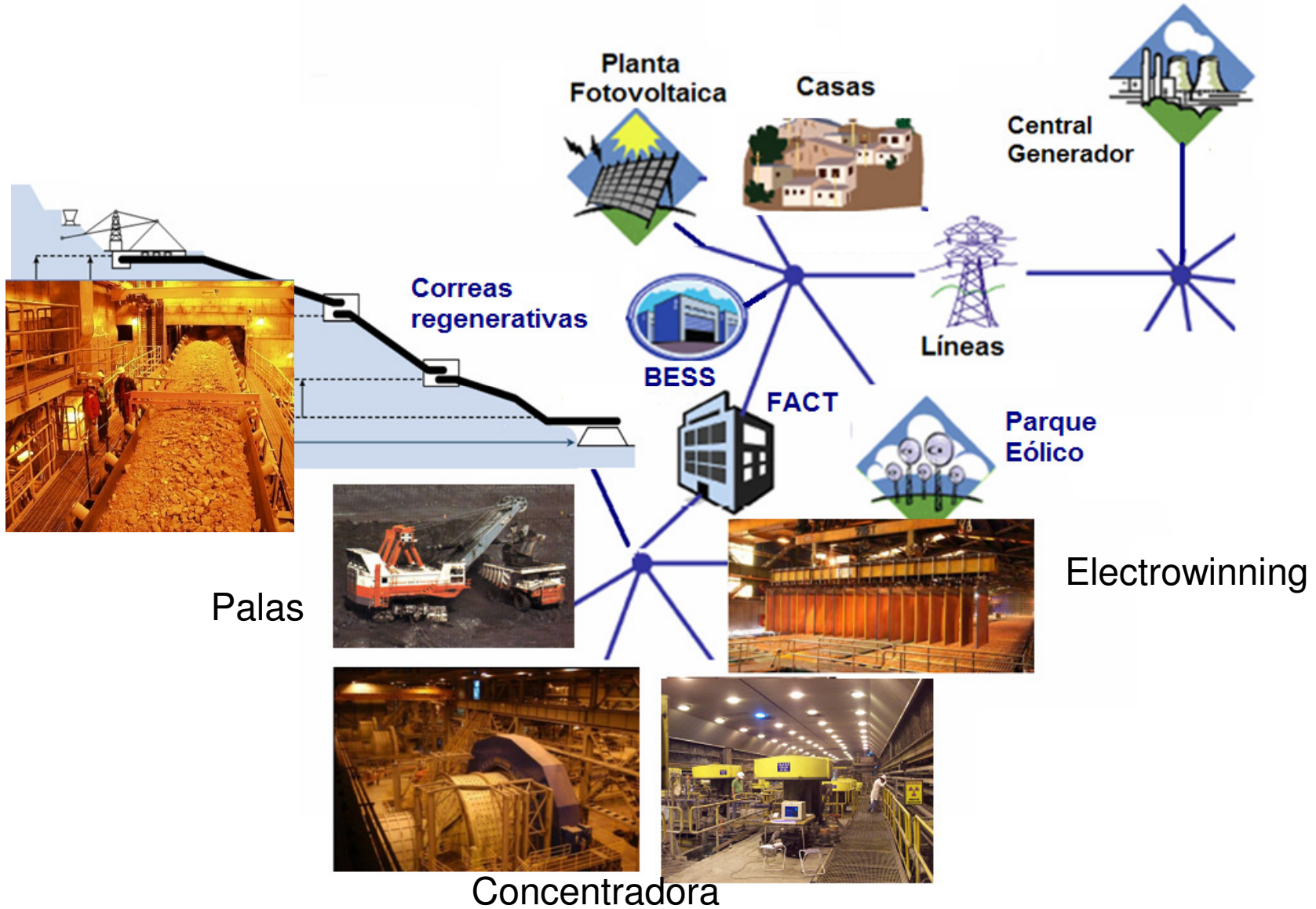


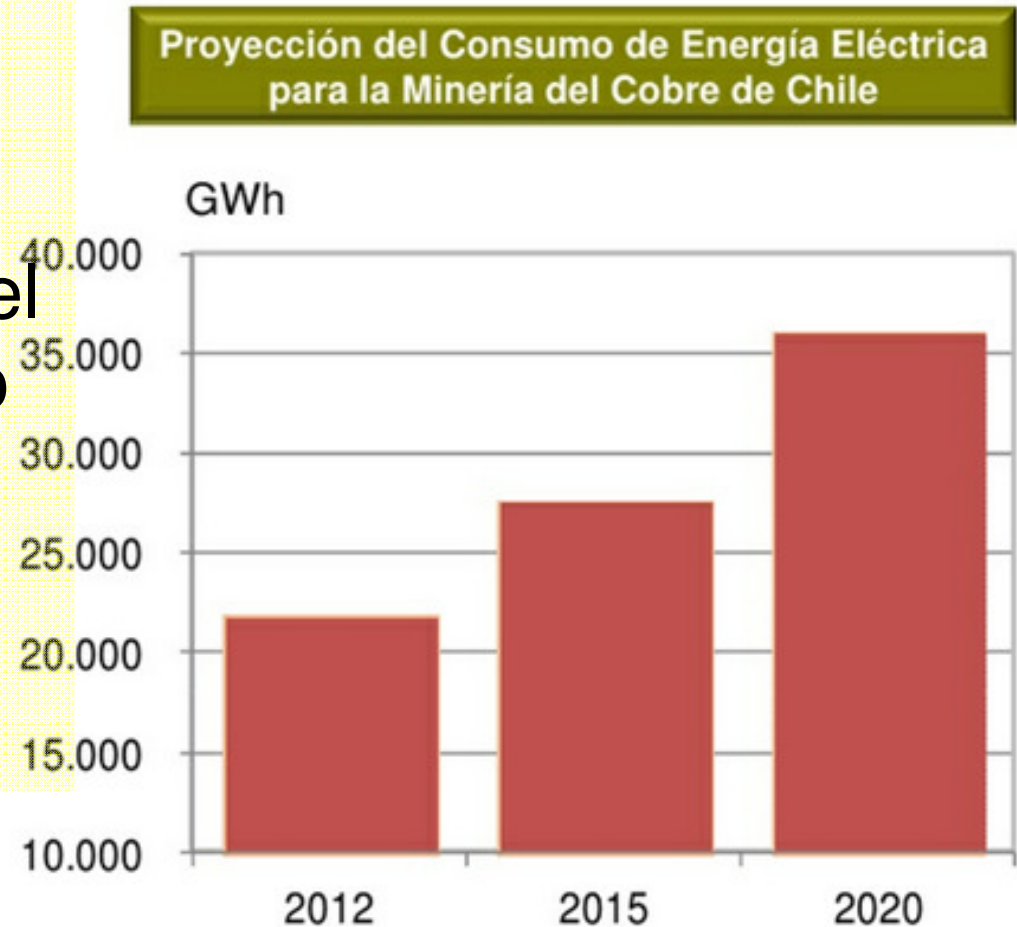
Fig.3 Smart Grid minera



Escasez y costo de la Energía Eléctrica

En el 2012 la minería del cobre consume app.el 50% de la energía eléctrica del SIC (37% consumo nacional)

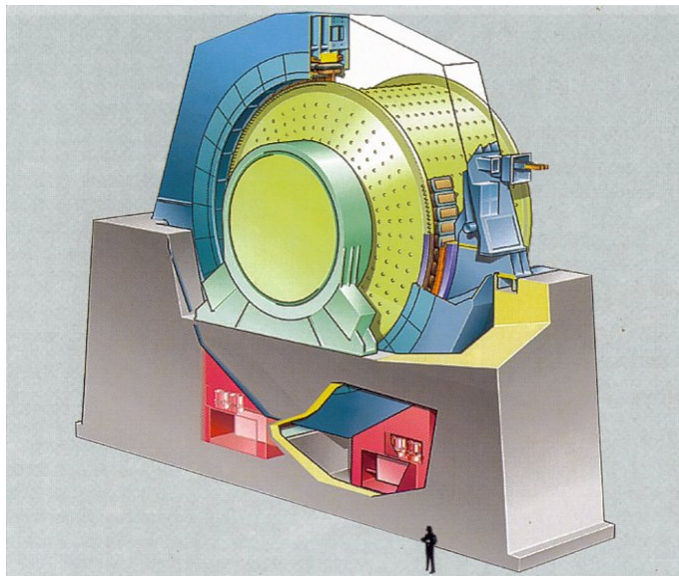
Al 2020, crece el consumo en 63%



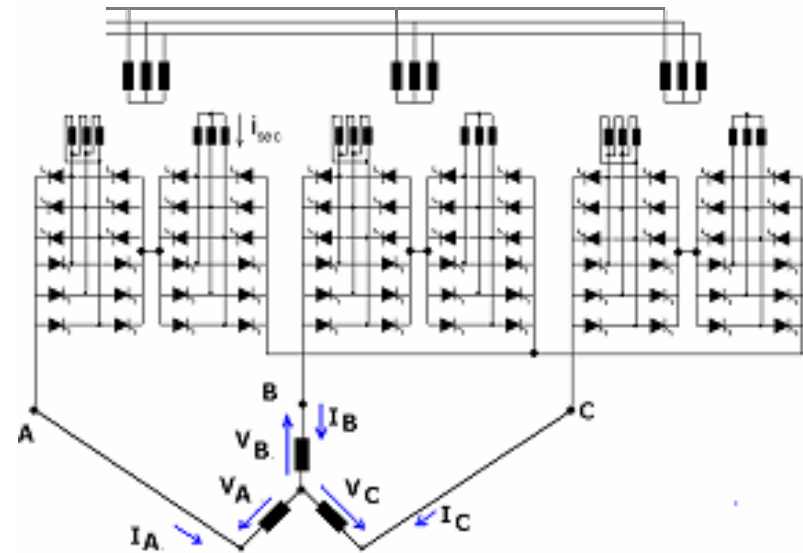
Concentradoras producen un 75% del cobre

Consumen un 70% de la energía eléctrica de la faena.

Consumen un 50% del consumo de minería de cobre.



Esquema GMD alta potencia
(cortesía ABB)

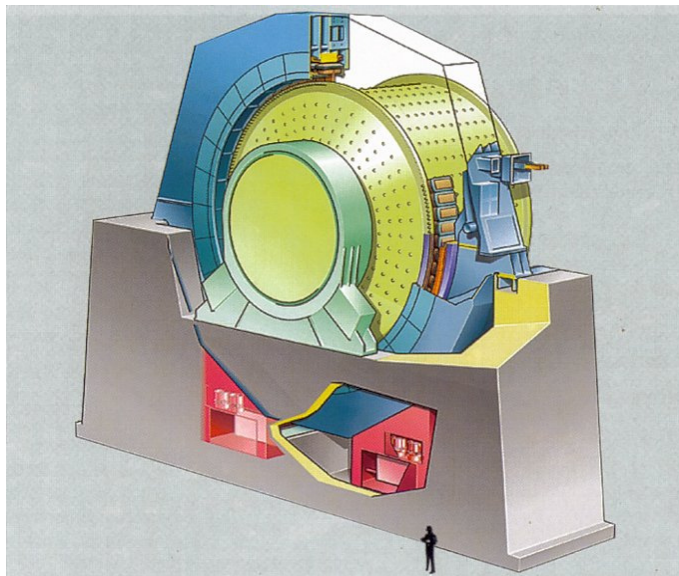


Esquema de cicloconvertor
de alta potencia

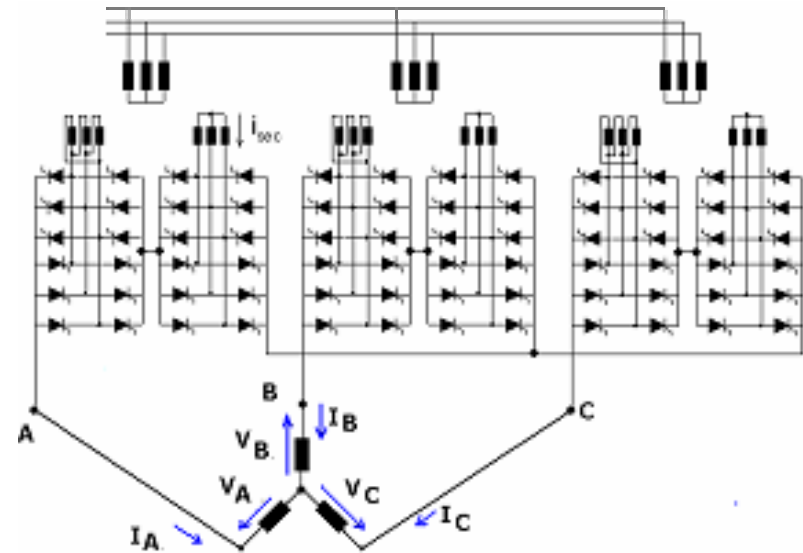
Consumen 25% de la energía eléctrica del SIC (2012)

Usan Sistemas Electrónica de Alta Potencia

Requieren ser “smart grids”



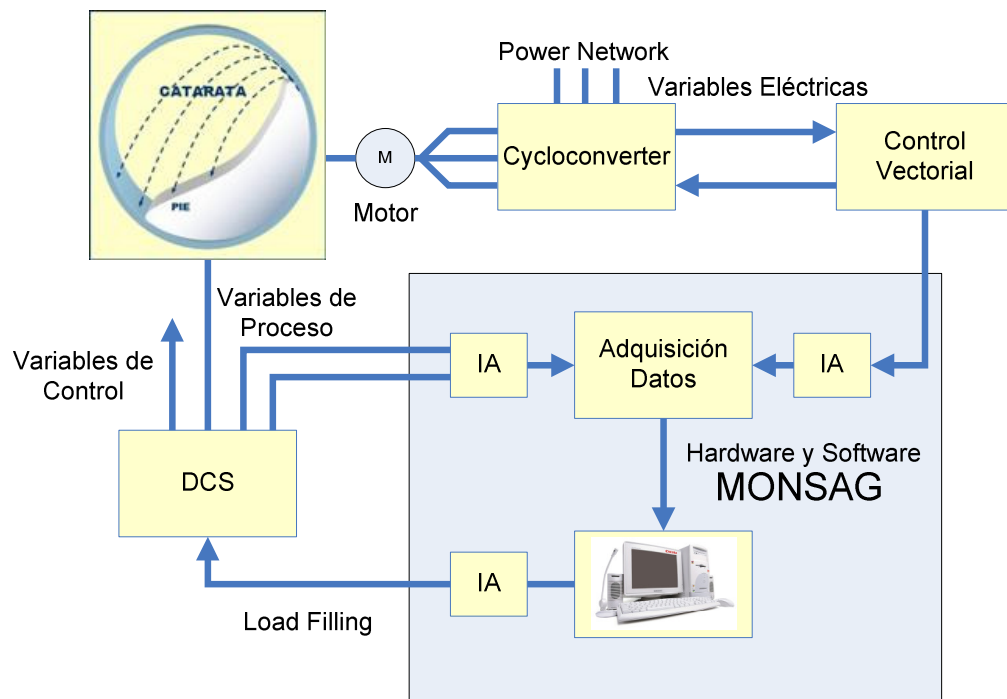
Esquema GMD alta potencia
(cortesía ABB)



Esquema de cicloconversor
de alta potencia

Fig.5 Optimización control de llenado y eficiencia Molino SAG

■ Monsag System



It gives an estimation of the internal load filling of the grinding mill

Mejor producción y energía específica, ca. 3,2% y 3,8%.

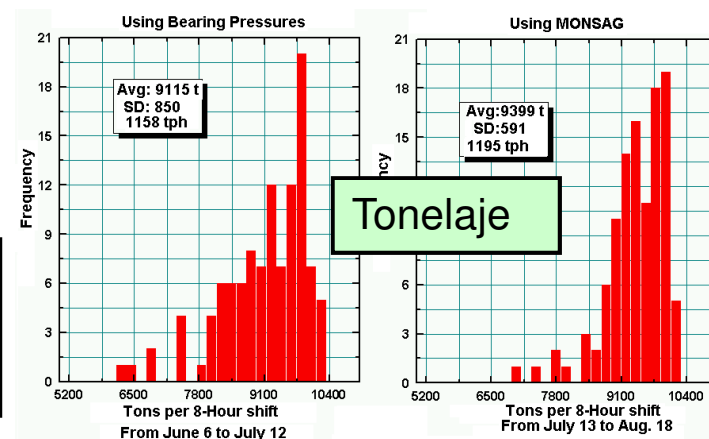
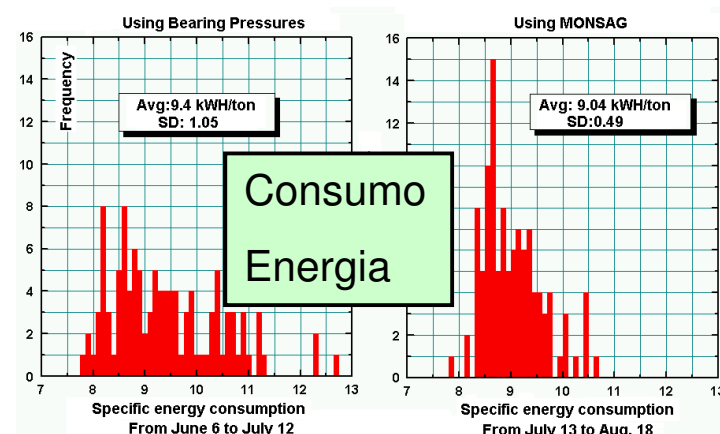
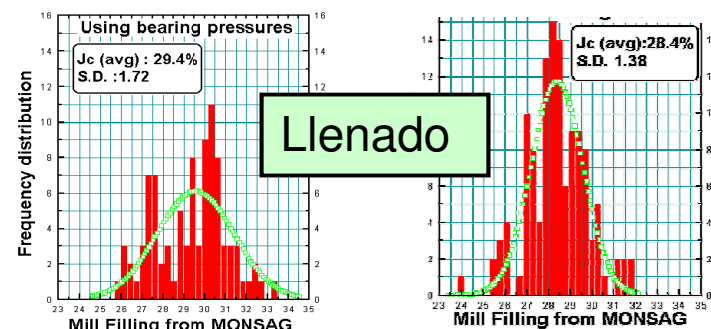


Fig.6 Optimización de operación de Sistema eléctrico de potencia industrial ante perturbaciones con sistema compensador dinámico

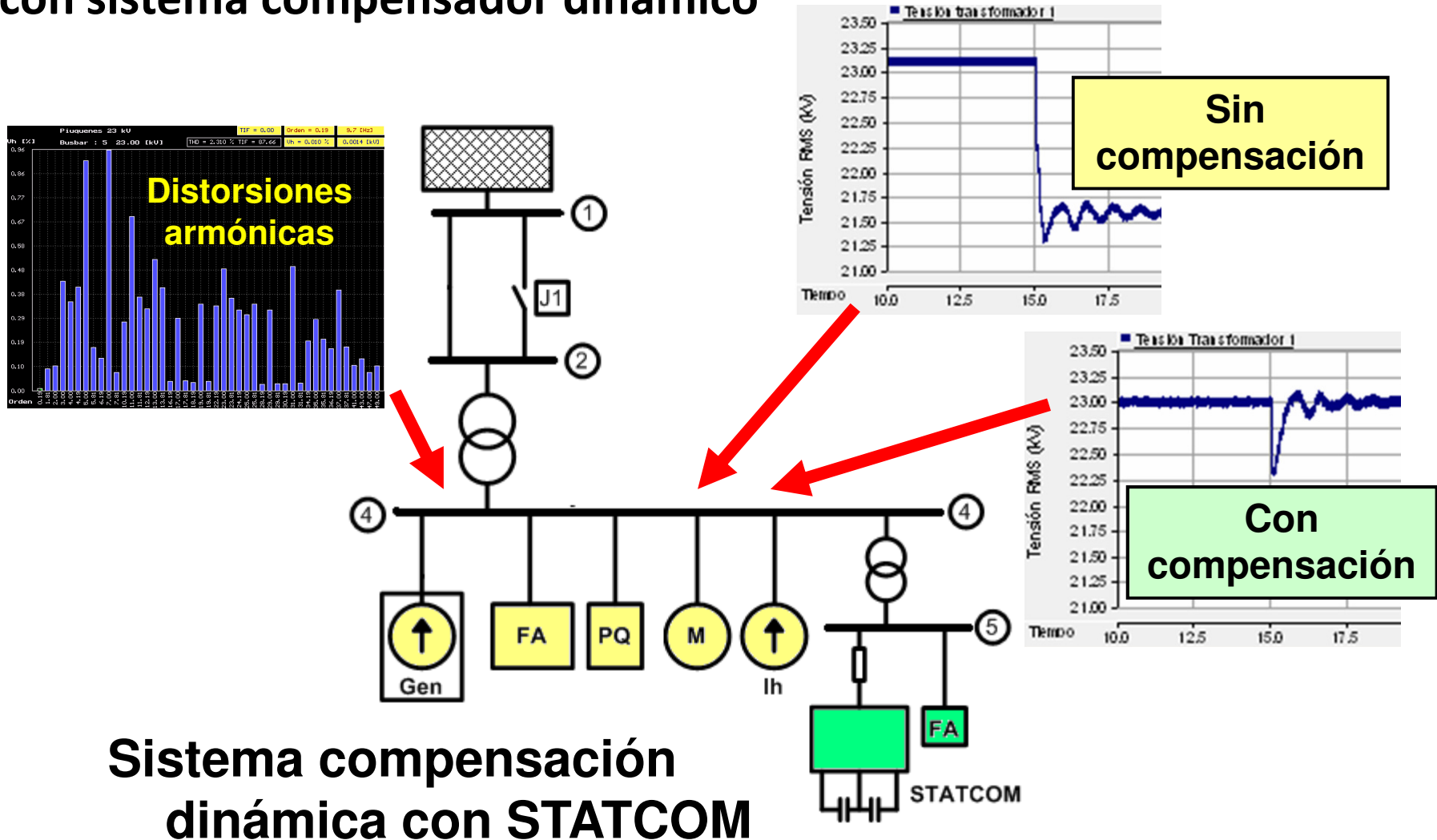


Fig. 7 Sistema eléctrico de potencia industrial sometido a la perturbación en que sale de servicio una línea de 220 kV.

- a) Sin sistema de compensación,
- b) Con sistema de compensación STATCOM

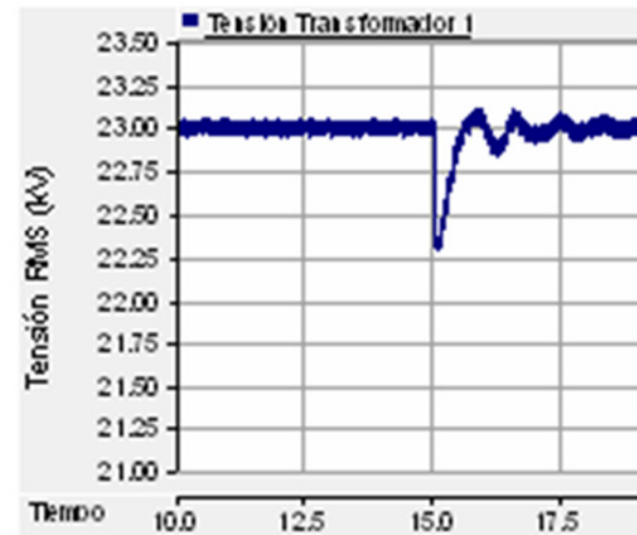
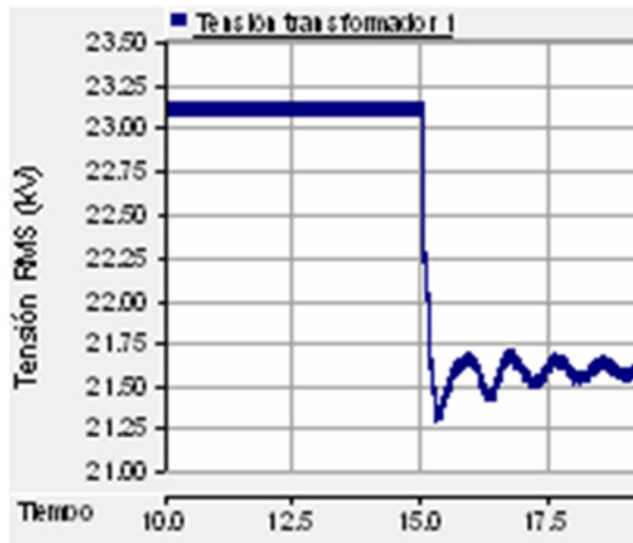
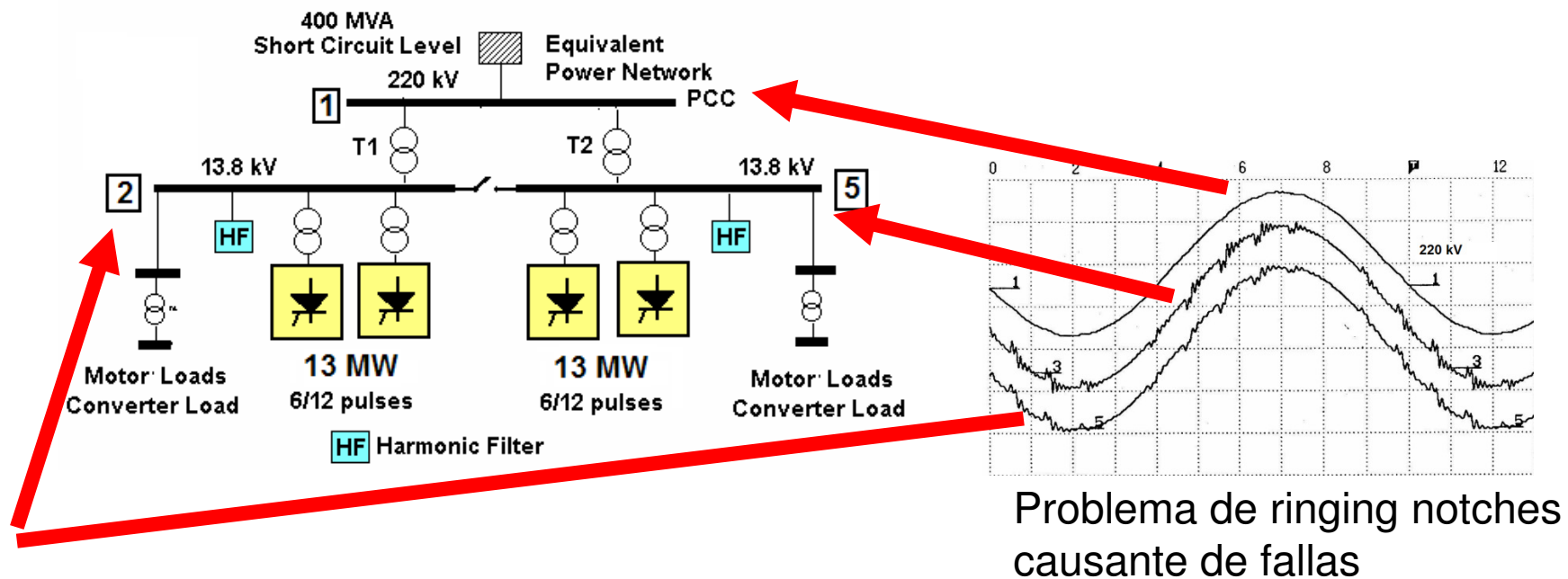


Fig.8 Rectificador para Electro-winning. Problema de inestabilidad por armónicas de alta frecuencia.

El control en un mejor punto de operación produjo una estabilidad de operación y un ahorro de 400 kW, lo que con $FU=0.95$ año y un factor de 0.95 Tons CO_2 /MWH equiv., representa un ahorro de 3329 MWH con una reducción de 3162 tons CO_2 .



Conclusiones

- Operaciones a gran escala requieren equipamientos cada vez más grandes
- La eficiencia de los Molinos SAG depende del control del movimiento de la carga.
- La eficiencia de los rectificadores de potencia EW depende de la configuración y operación del Sistema eléctrico.
- Un mejor control de procesos logra una mejor estabilidad, con mejor desempeño productivo y eficiencia energética.
- Sistemas eléctricos son parte del Proceso.

Conclusiones

- Molino SAG con ahorro de 0,36 kWh/Ton, con 12.483.000 tons/year representa un ahorro de 4494 MWh/year, impacto 4269Tons CO₂ /year.
- Rectificador EW con ahorro de 400 kW, representa un ahorro de 3329 MWH con una reduccion de 3162 tons CO₂.
- Tendencia a “Redes Inteligentes” => “smart grids”
- Gran capacidad del capital humano en Chile para la innovación tecnológica
- Optimización se basa en el modelado, simulación y formulación matemática de los procesos.

Escasez de Recursos Humanos

2012-2020 requiere mínimo 50.000 personas

Demanda Proyectada de Fuerza Laboral para las Operaciones Mineras de Chile*



Demanda Acumulada, 2012-2020: 50.595 personas

Fuente: Fuerza Laboral en la Gran Minería Chilena, Diagnóstico y Recomendaciones, 2011-2020, Fundación Chile.

*: Considera los proyectos de la gran minería que actualmente se encuentran en factibilidad.

** : Staff: Jefes, supervisores y administrativos; profesionales de ejecución: topógrafos, alarifes, proyectistas y dibujantes, personal de programación y control; mantenedores: soldadores, mecánicos, eléctricos, personal de piping, instrumentistas, entre otros; personal de construcción: maestros, capataces, concreteros y montajistas estructurales, entre otros.

Ref.: Diego Hernández, Desafíos y oportunidades de la Minería en América Latina, EXPOMIN 2012, Conferencia Inaugural, 9 de abril, 2012

Desafíos del cluster minero

Al 2020:250 proveedores de clase mundial

Exportación creciente de ingeniería

El Aporte de los Proveedores

Codelco: Programa de Desarrollo de Proveedores de Clase Mundial

Construir una base de
proveedores con
capacidades de
innovación tecnológica y
conocimiento

Fortalecer el cluster
minero

Incrementar las
exportaciones de
bienes y servicios
mineros



Mejorar nuestra competitividad

Contribuir al crecimiento y
desarrollo del país

Objetivo

Resolver problemas específicos en nuestras operaciones y proyectos, en conjunto con proveedores con ambiciones y potencial de transformarse en compañías de "clase mundial", incluyendo universidades y centros tecnológicos, cuyas soluciones proporcionan un significativo valor al negocio de Codelco.

**Objetivo: más de
250 Proveedores
de Clase Mundial
en 2020**

Hacia la Innovación

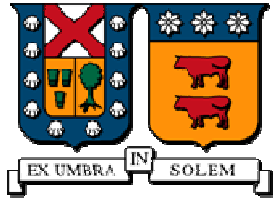
Diploma en nuevas tecnologías en el sector minero

Se espera potenciar la formación de capital humano en:

- **Negocio Minero y a las Tecnologías que lo apoyan**
- **Gestión de Proyectos Tecnológicos en Minería**
- **Tecnologías y Automatización en Minería**
- **Modelamiento y Simulación de Procesos Productivos, e Inteligencia de Negocios**
- **Gestión del Cambio**
- **Innovación TICA para la Minería**

Reconocimientos

- **Invitación de CODELCO TICA**
- **Colegas**
- **Profesionales del sector minero**
- **Apoyo de entidades como Conicyt, ICM, UTFSM**
- **Empresas e Instituciones sector**



Departamento de Electrónica

Universidad Técnica Federico Santa María



Núcleo Milenio de Electrónica Industrial,
Mecatrónica y Control de Procesos



Centro de Automatización y Supervisión
para la Industria Minera

