



UNIVERSIDAD TÉCNICA  
FEDERICO SANTA MARÍA



# Automatización para la Mediana Minería

**Jorge Pontt**

- <sup>1</sup> Centro de Automatización y Supervisión para la Industria Minera (CASIM),  
<sup>(2)</sup> Director Núcleo Milenio Electrónica Industrial, Mecatrónica y Control de  
Procesos - NEIM

<sup>(3)</sup> Depto. De Electrónica UTFSM,  
Universidad Técnica Federico Santa María



E-mail: [jorge.pontt@usm.cl](mailto:jorge.pontt@usm.cl), Fono: +56-32-2654553



# Contenido

- **Introducción**
- **Automatización = Know-how, tecnología**
- **Desafíos. Mediana y Gran Minería**
- **Visión y contribución de la ingeniería**
- **Casos de ejemplo**
- **Resumen**



UNIVERSIDAD TECNICA  
FEDERICO SANTA MARIA

# UTFSM en el país

## Casa Central

5754 alumnos



## Campus Santiago Vitacura

2402 alumnos



## Campus Santiago San Joaquín



ACA - 422 alumnos



## Campus Rancagua



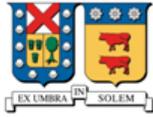
## Sede Concepción

1785 alumnos



## Sede Viña del Mar

2387 alumnos



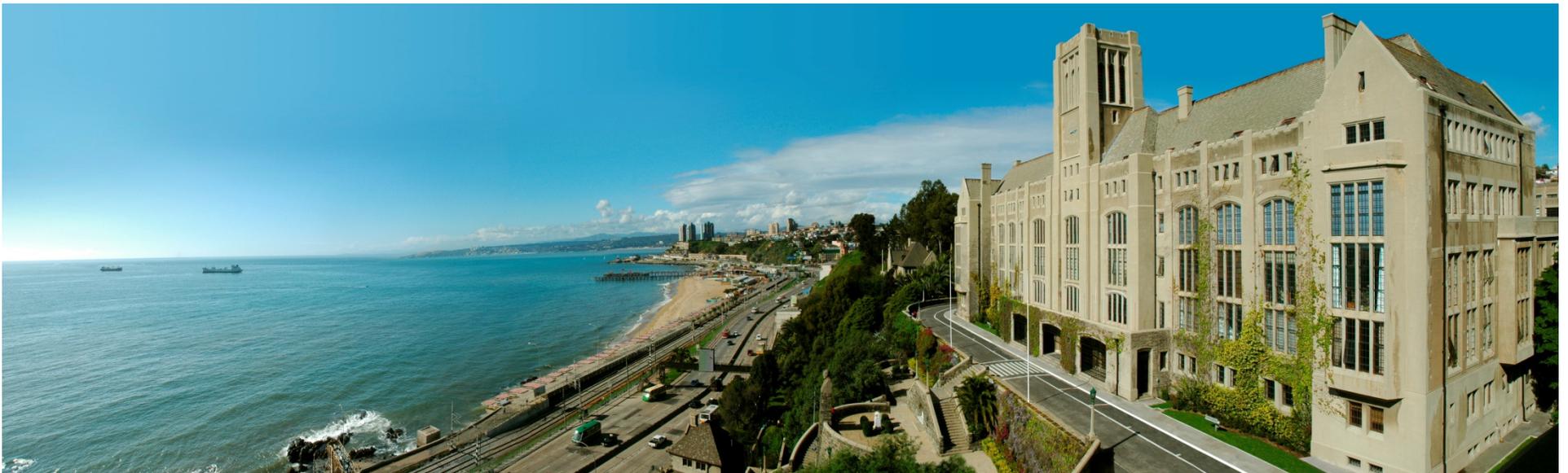
UNIVERSIDAD TÉCNICA  
FEDERICO SANTA MARÍA

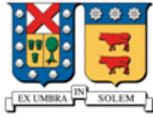
**Know-how y Tecnología**

**CASIM**  
CENTRO DE AUTOMATIZACIÓN Y SUPERVISIÓN  
PARA LA INDUSTRIA MINERA

# **CENTRO DE AUTOMATIZACION Y SUPERVISION PARA LA INDUSTRIA MINERA**

**Jorge Pontt, Juan Yianatos, Luis Bergh,  
Waldo Valderrama,  
Manuel Olivares, Fernando Rojas**





UNIVERSIDAD TÉCNICA  
FEDERICO SANTA MARÍA

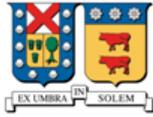
## Laboratorios iniciales

# CASIM

CENTRO DE AUTOMATIZACIÓN Y SUPERVISIÓN  
PARA LA INDUSTRIA MINERA

### *Laboratorios.*

- ▶ *Laboratorio de Confiabilidad y Calidad de Servicio – LACSE.*
- ▶ *Laboratorio de Diagnóstico de Procesos – LDP.*
- ▶ *Laboratorio de Supervisión y Control de Procesos – LSCP.*
- ▶ *Laboratorio de Movimiento de Carga en Molinos – LMCM.*
- ▶ *Laboratorio de Tecnología Mecánica – LTM.*
- ▶ *Laboratorio de Automatización y Control Industrial – LACI.*



UNIVERSIDAD TECNICA  
FEDERICO SANTA MARIA

# Know-how y Tecnología

**CASIM**  
CENTRO DE AUTOMATIZACIÓN Y SUPERVISIÓN  
PARA LA INDUSTRIA MINERA

## *Laboratorios.*

- ▶ *Laboratorio de Confiabilidad y Calidad de Servicio – LACSE.*
- ▶ *Laboratorio de Diagnóstico de Procesos – LDP.*
- ▶ *Laboratorio de Supervisión y Control de Procesos – LSCP.*
- ▶ *Laboratorio de Movimiento de Carga en Molinos – LMCM.*
- ▶ *Laboratorio de Tecnología Mecánica – LTM.*
- ▶ *Laboratorio de Automatización y Control Industrial – LACI.*



**Núcleo Milenio Electrónica Industrial,  
Mecatrónica y Control de Procesos**

**Programa Centros de Excelencia**

**ICM-Mideplan/Minecon**



- Millennium Nucleus on Industrial Electronics and Mechatronics. Stage 1: 2004-2008
- Millennium Nucleus on Industrial Electronics, Mechatronics and Process Control.
  - Stage 2: 2009-2012



# Desafíos actuales procesamiento de minerales

A close-up photograph of a green leaf with several water droplets of varying sizes. The background is a soft, out-of-focus green, creating a natural and fresh aesthetic.

- Sustentabilidad
- HSEC
- Energía, Agua, Ambiente
- Procesos
- Capital Humano

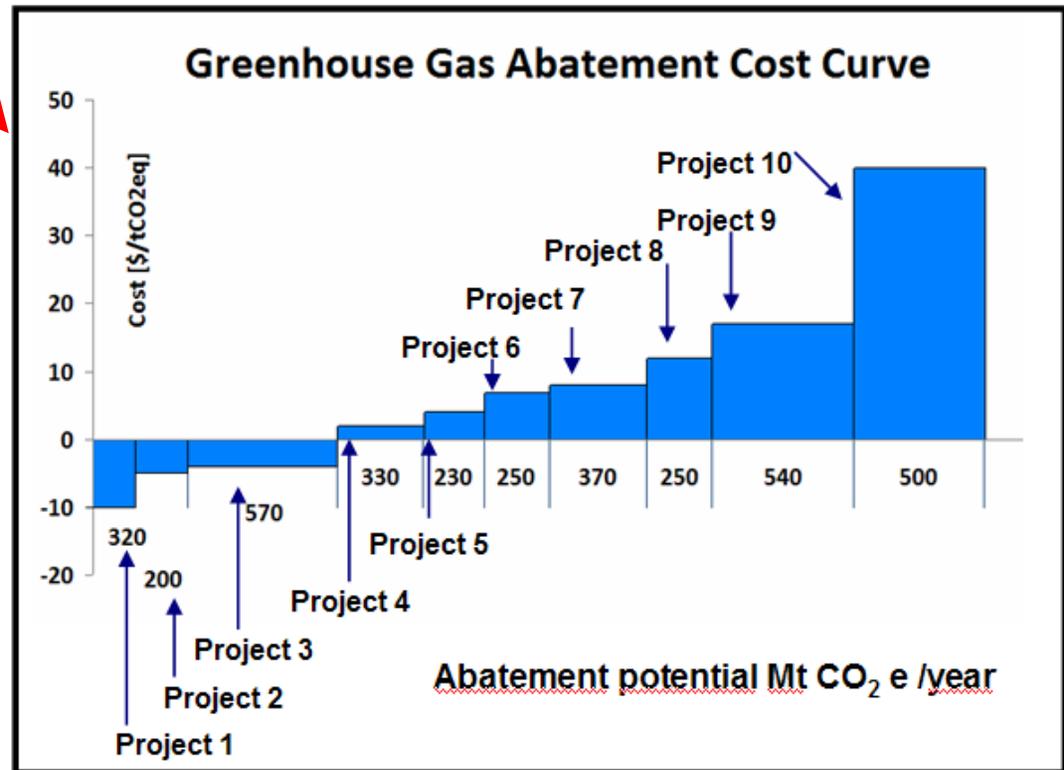
# Huella de carbono

- 1 MWh = 1000 kWh
- 1 MWh Eficiencia Energética o de ERNC ahorra **emisiones**  
ca. 0.5-1 Tons of CO<sub>2</sub> (eq)
- Producir 1 ton de Cobre Fino
- 3...7 MWH/tmf:
- 1.5 a 7 Ton CO<sub>2</sub>

# Current Challenges in Mineral Processing

## Sustainability, HSEC

- Energy, Water, Environment
- Process challenges



## Referencias

- [1] Marco Orellana, Codelco Digital: Vision y Estrategia. 2009.
- [2] Innova Chile, Corfo, Omar Hernández A., Subdirector de Minería, Medioambiente e infraestructura, “Oportunidades para las TICs en el Cluster Minero”, presentación 28 de mayo, 2010.
- [3] FundaciónChile, Fuerza Laboral en la Gran Minería Chilena, Diagnóstico y Recomendaciones, 2011-2020, Nov. 2011. Fundaclon Chile, Mining Industry Skills Centre, Anglo American Chile, Antofagasta Minerals, BHP Billiton, Codelco, Collahuasi.
- [4] Recurso humano, recurso estratégico Rev N° 341, MCh., Nov. 2009.
- [5] Int’l Mineral Processing Conference IMPC’201, Brisbane, Australia, Sept., 2010.
- [6] MINERIA DEL FUTURO, Presentacion Ministro de Minería, Expomin, 2010
- [7] Diego Hernández, Desafíos y oportunidades de la Minería en América Latina, EXPOMIN 2012, Conferencia Inaugural, 9 de abril, 2012.

# Escasez de Recursos Humanos

**Demanda Projectada 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.

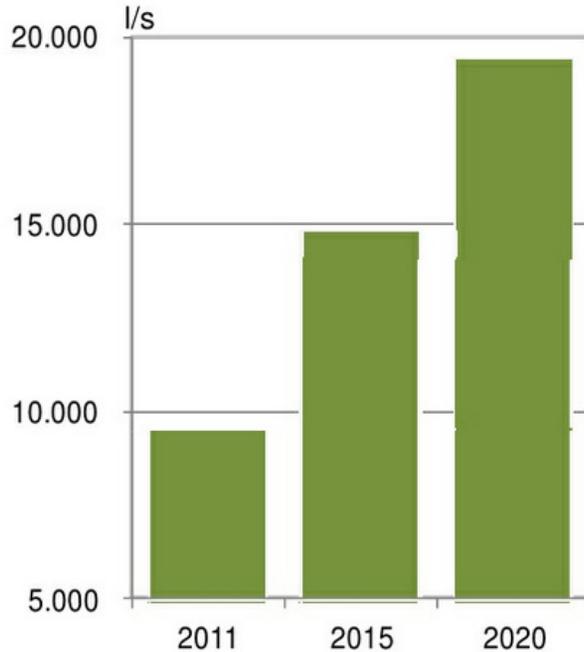
\*: **Considera los proyectos de la gran minería que actualmente se encuentran en factibilidad.**

\*\* : 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

# La Escasez de Recursos Hídricos

Estimación del Consumo de Agua Fresca en la Gran Minería del Cobre y Oro, I a IV Región de Chile



Principales Proyectos y Plantas Desalinizadoras de Agua de la Minería del Cobre

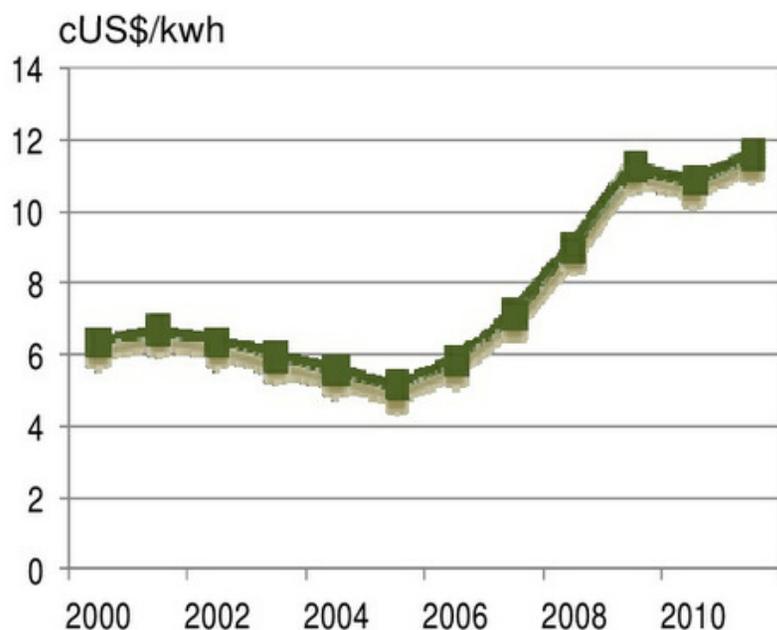
Nombre Planta Desalinizadora	Proyecto minero o empresa asociada	Región	Inversión (millones US\$)	Capacidad Planta (l/s)	Estado
El Coloso	Minera Escondida	II	200	525	En operación
El Coloso Ampliación	Minera Escondida	II	3.500	3.200	En Estudio
Radomiro Tomic	Codelco	II	s/i	1.470 a 1.630	En Estudio
El Morro	Proyecto El Morro	III	900	740	En Estudio
Candelaria	Minera Candelaria	III	300	300 a 500	En Estudio
Manto Verde	Proyecto Manto Verde	III	100	120	En Estudio

Fuente: Valores estimados a partir de Codelco, Brook Hunt, e información de las empresas.

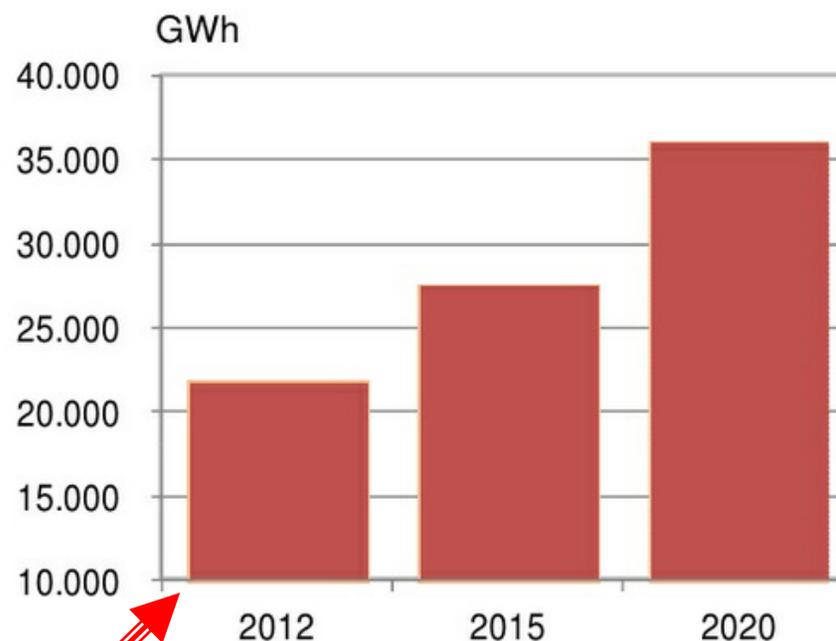
- Manejo de cuencas
- Embalses
- Control y Recuperación

# Escasez y costo de la Energía Eléctrica

Costo de la Energía Eléctrica de Codelco



Proyección del Consumo de Energía Eléctrica para la Minería del Cobre de Chile

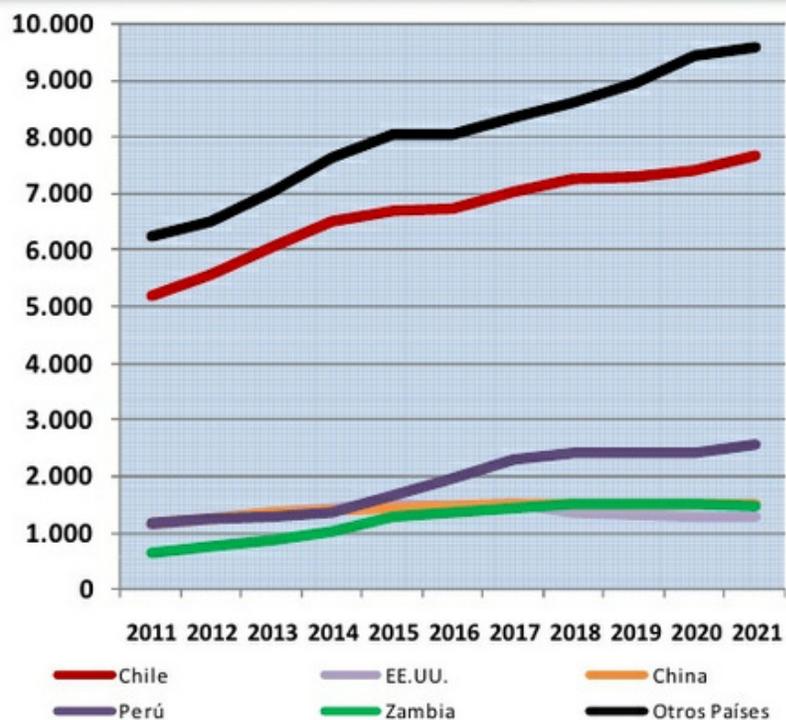


**•2012. Uso de EE en minería representa el 50% del consumo del SIC**

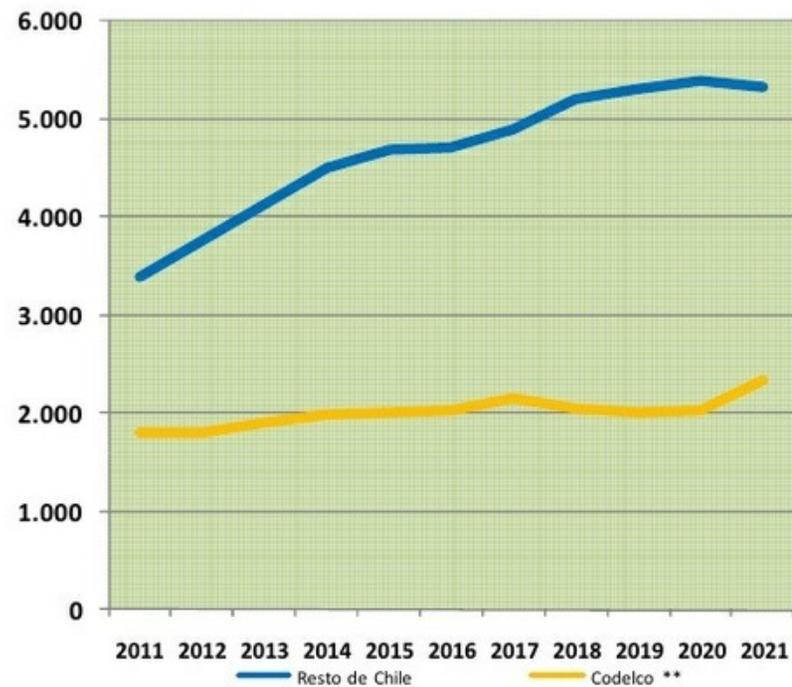
Fuente: Codelco y Cochilco. El consumo de electricidad en minería cubre el 50% del consumo total del SIC, incluyendo el consumo asociado a energía de plantas desalinizadoras.

# Producción de cobre proyectada

## Producción de Mina por País



## Producción de Chile



# Desarrollo del Cluster Minero

## 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**

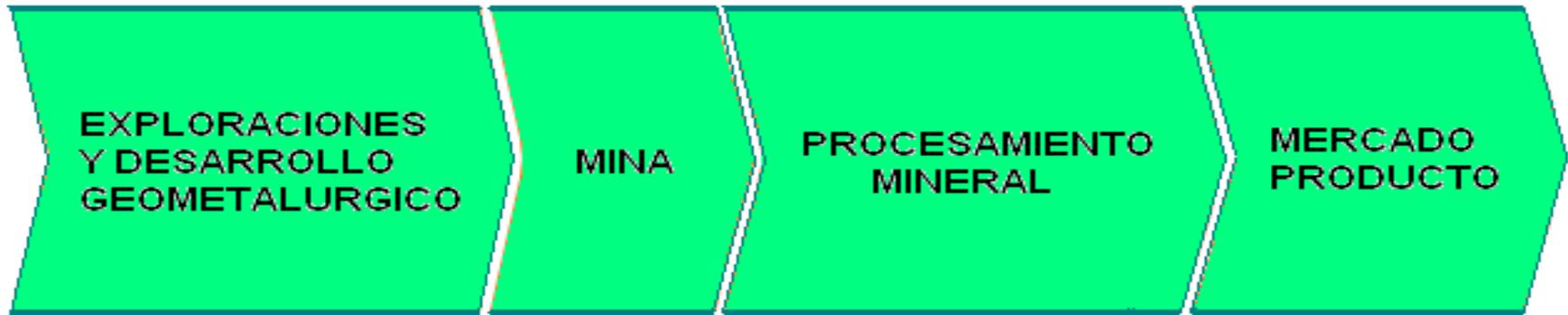
#### Objetivo

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.

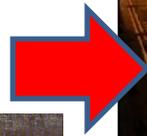
**Objetivo: más de 250 Proveedores de Clase Mundial en 2020**

- **Objetivo: 250 empresas de clase mundial al 2020.**
- **I+D, know-how, Innovación y gestión del cambio**
- **Oportunidad: Exportación Ingeniería y tecnología**

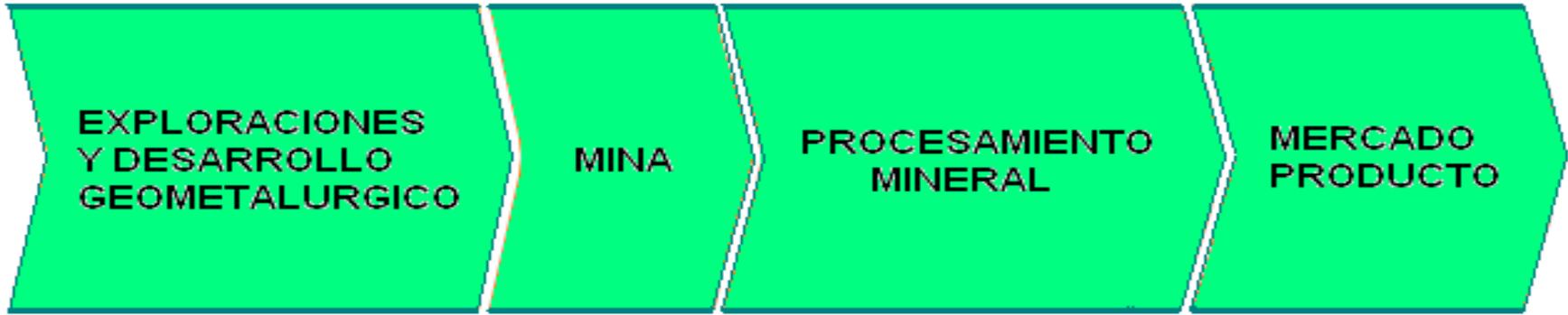
# Cadena del Valor del negocio minero



Mina-Concentradora



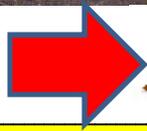
# Cadena del Valor del negocio minero



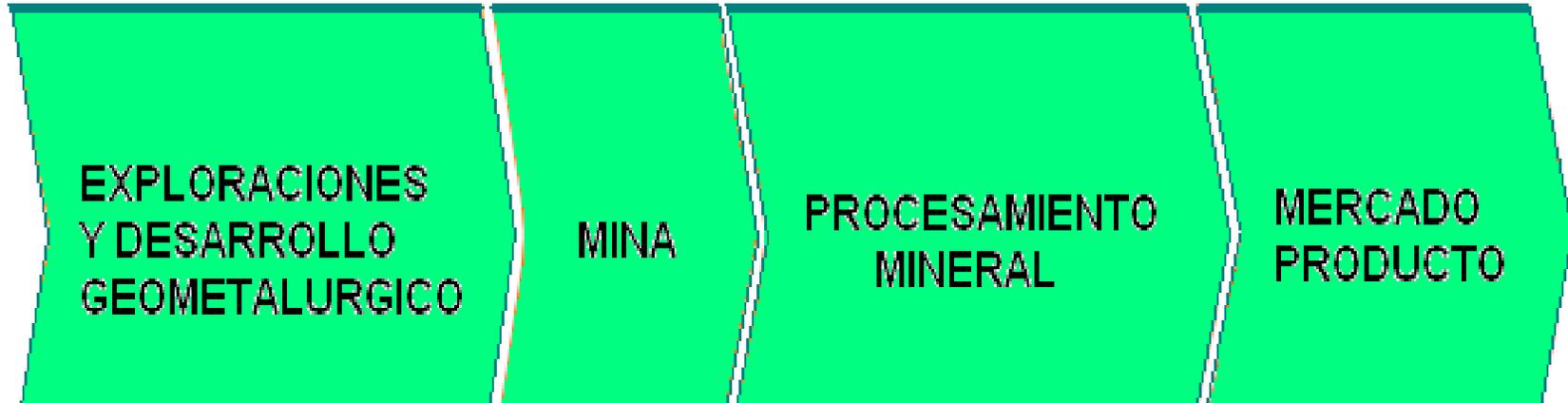
Mina-Concentradora



Mina - LIX-SX-EW



# Cadena del Valor del negocio minero



Requiere sistema inteligente, detección, medición, monitoreo, control, diagnóstico, (Automatización local/remota)

Se requiere:

- Calidad de procesos
- Integración de procesos



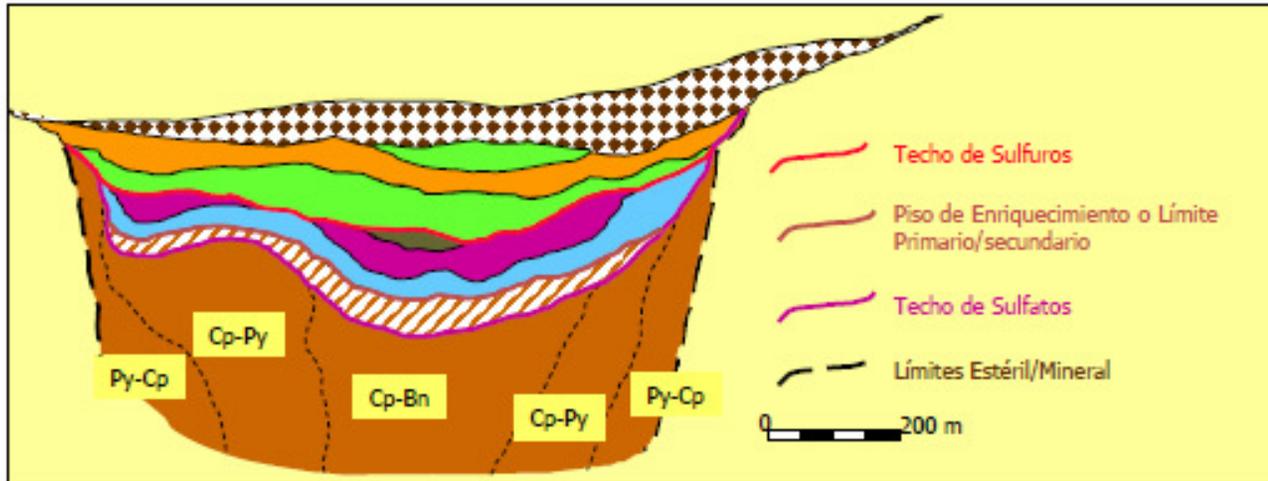
# Gestión de prospecciones

- **Determinación de Estructuras**  
(métodos satelitales, percepción remota, etc)

**Levantamientos, sondajes, diversos aspectos**

- **Geología**
- **Geofísica**
- **Geoquímica**
- **Modelos**
- **Verificaciones, sondajes.**
  - **Aspecto clave: calidad RR/HH**

## ZONAS DE MINERAL



- **Modelo (estimaciones, pronósticos)**
- **Modelo validado**
- **Caracterización geo-metalúrgica**

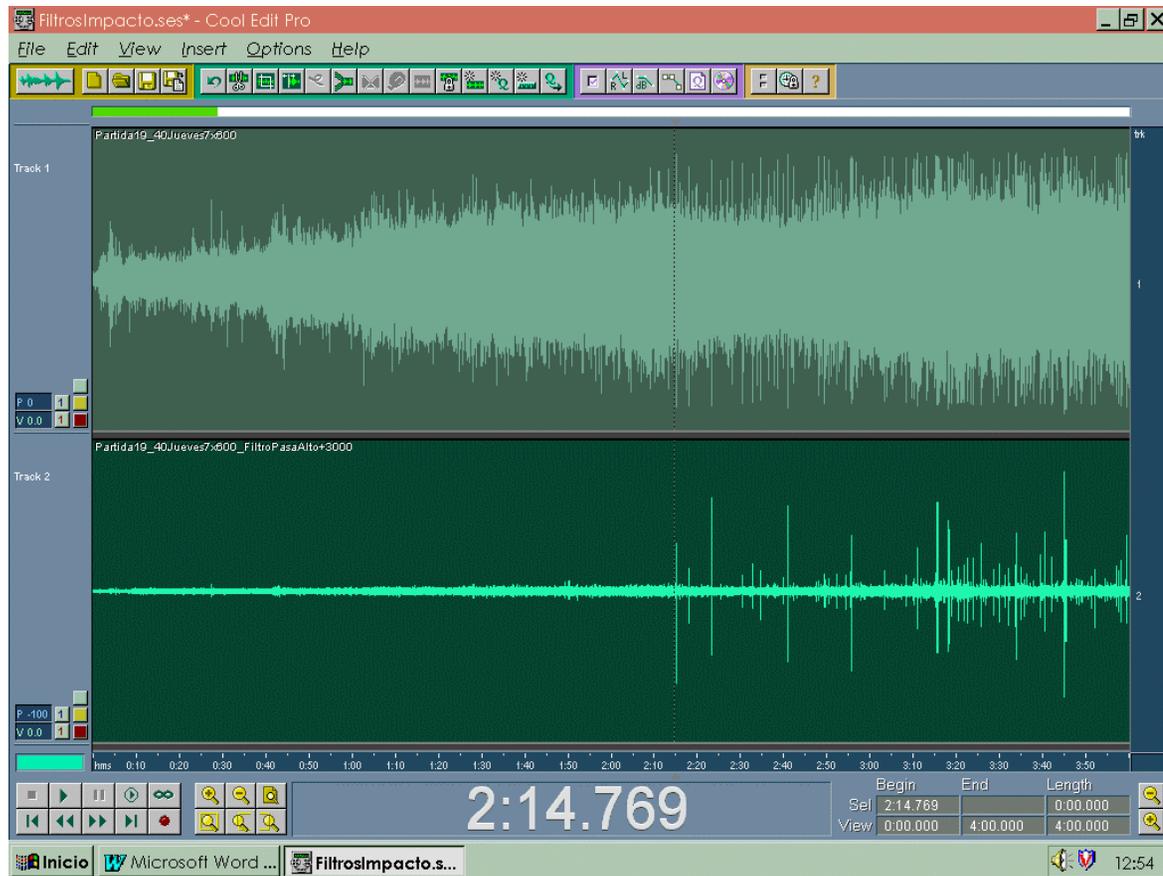
Ref.: Patricio Cuadra, Diploma Nuevas Tecnologías del Sector Minero

# Molinos



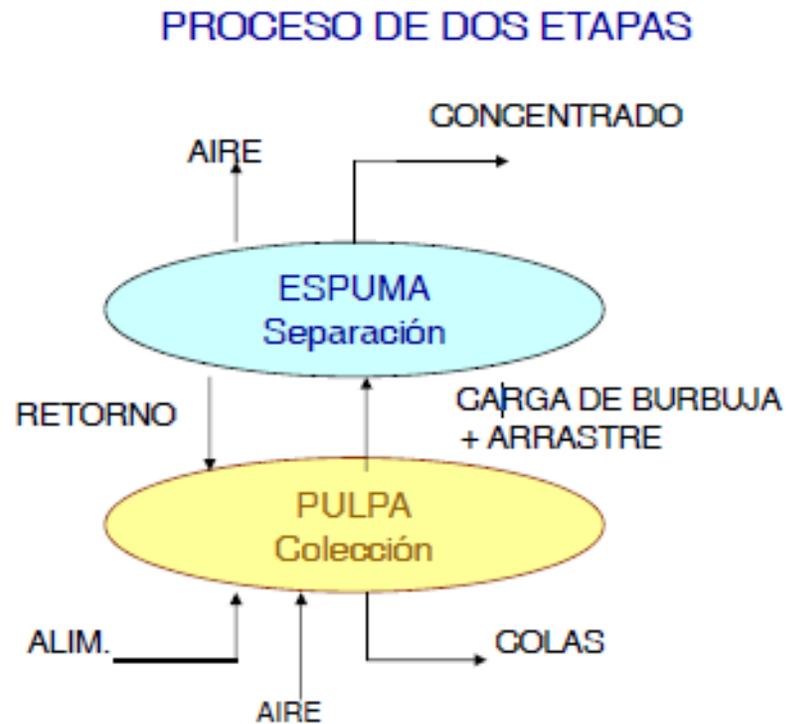
Ref.: Waldo Valderrama, Diploma Nuevas Tecnologías del Sector Minero

# Monitoreo movimiento de carga en molinos. Aparición de impactos dañinos



Ref.: Waldo Valderrama, Diploma Nuevas Tecnologías del Sector Minero

# Flotación: Transporte de mineral

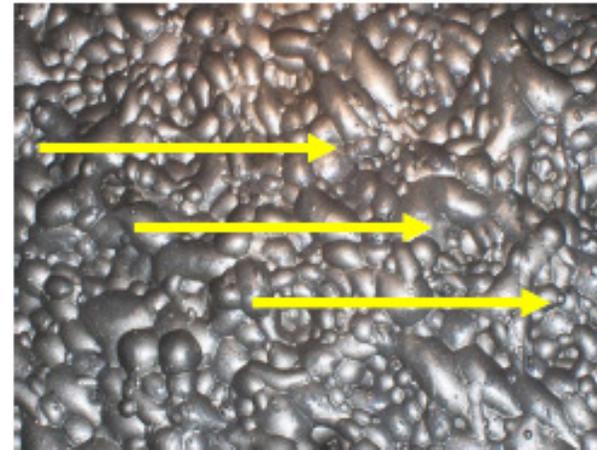


Ref.: Juan Yianantos, Diploma Nuevas Tecnologías del Sector Minero

# Flotación

## MEDICION DE VELOCIDAD ESPUMA

Análisis Automático de Imágenes, sistema Visio-Froth



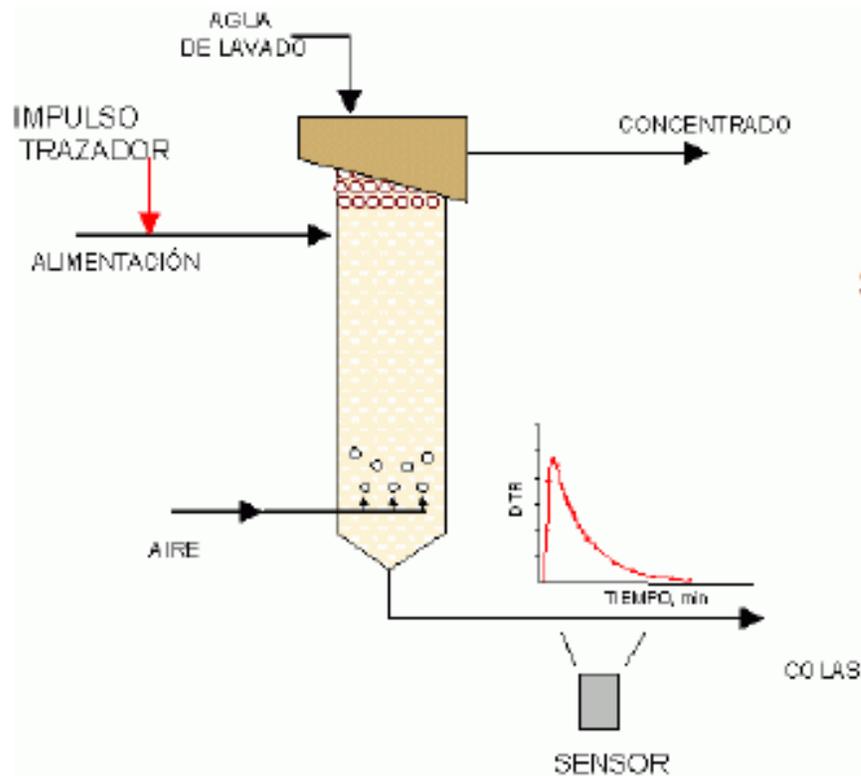
EN-LINEA : tamaño de burbujas, tipo y velocidad de la espuma

Ref.: Juan Yianantos, Diploma Nuevas Tecnologías del Sector Minero

# Flotación

## MEDICION DE DTR

Técnica experimental: Trazado Radioactivo



Líquido: Br-82

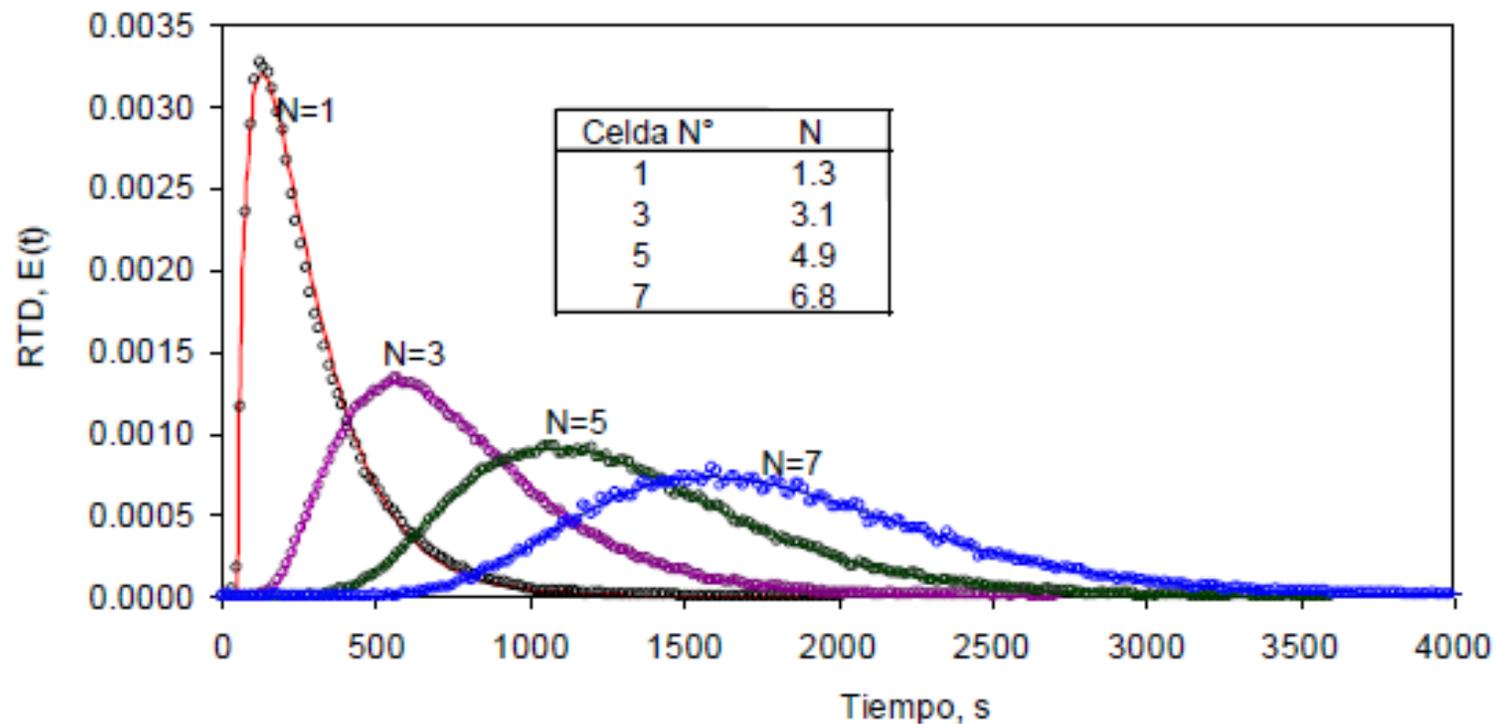
Sólido : no-flotable  
flotables  
(clase de tamaño)

Gas : Kriptón-85

# Flotación

## CARACTERIZACIÓN HIDRODINÁMICA

DTR : Banco de 7 celdas, Mineral no-flotable



Ref.: Juan Yianantos, Diploma Nuevas Tecnologías del Sector Minero

# Integración de Procesos

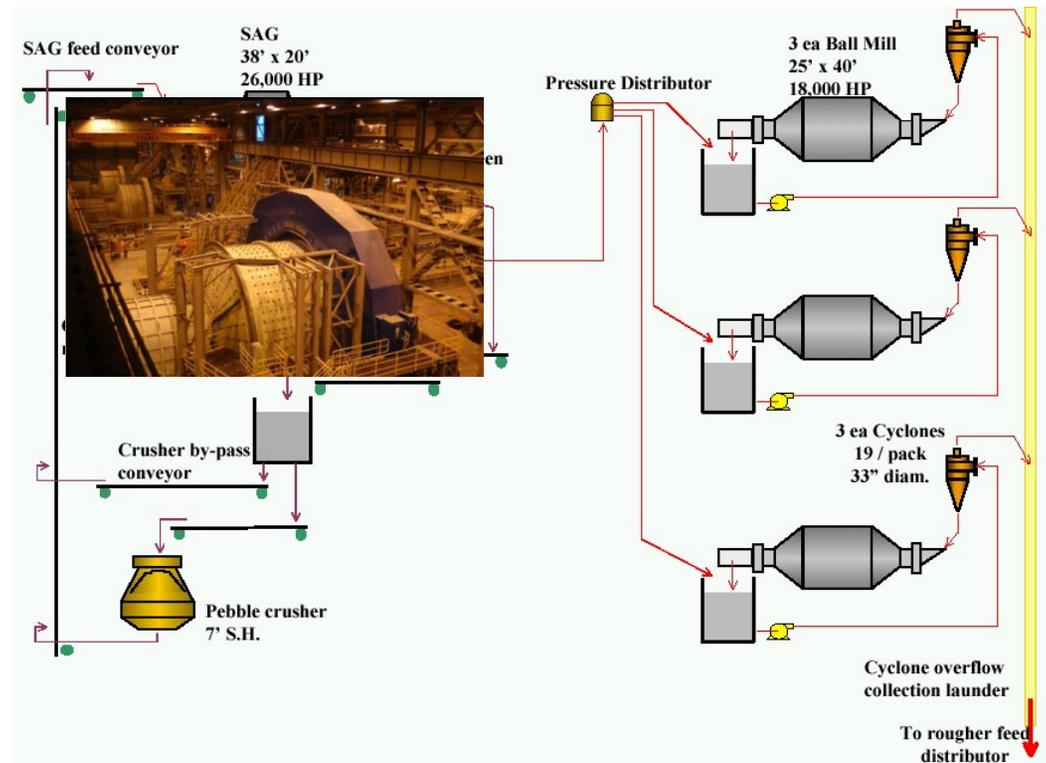
- **Modelo del proceso en tiempo real**
- **Uso de sensores duros y soft para medir las variables principales.**
- **Toma de decisiones en TR**
- **Trabajo colaborativo**
- **Proceso de aprendizaje continuo**

**• Tecnologías duras**

**• Tecnologías blandas**

# Plantas concentradoras-Molienda

- Sistemas, circuitos, equipos. Confiabilidad, disponibilidad, desempeño.
- Gestión de procesos y optimización
- Eficiencia uso energía y agua
- Gestión de revestimiento
- Gestión medios de molienda





CENTRO DESARROLLO DE  
GESTIÓN DE PROYECTOS TI  
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA / USM



UNIVERSIDAD TÉCNICA  
FEDERICO SANTA MARÍA

**CASIM**  
CENTRO DE AUTOMATIZACIÓN Y SUPERVISIÓN  
PARA LA INDUSTRIA MINERA

# El futuro de los Sistemas Eléctricos

- *Smart grid.*



**Electrical Infrastructure**

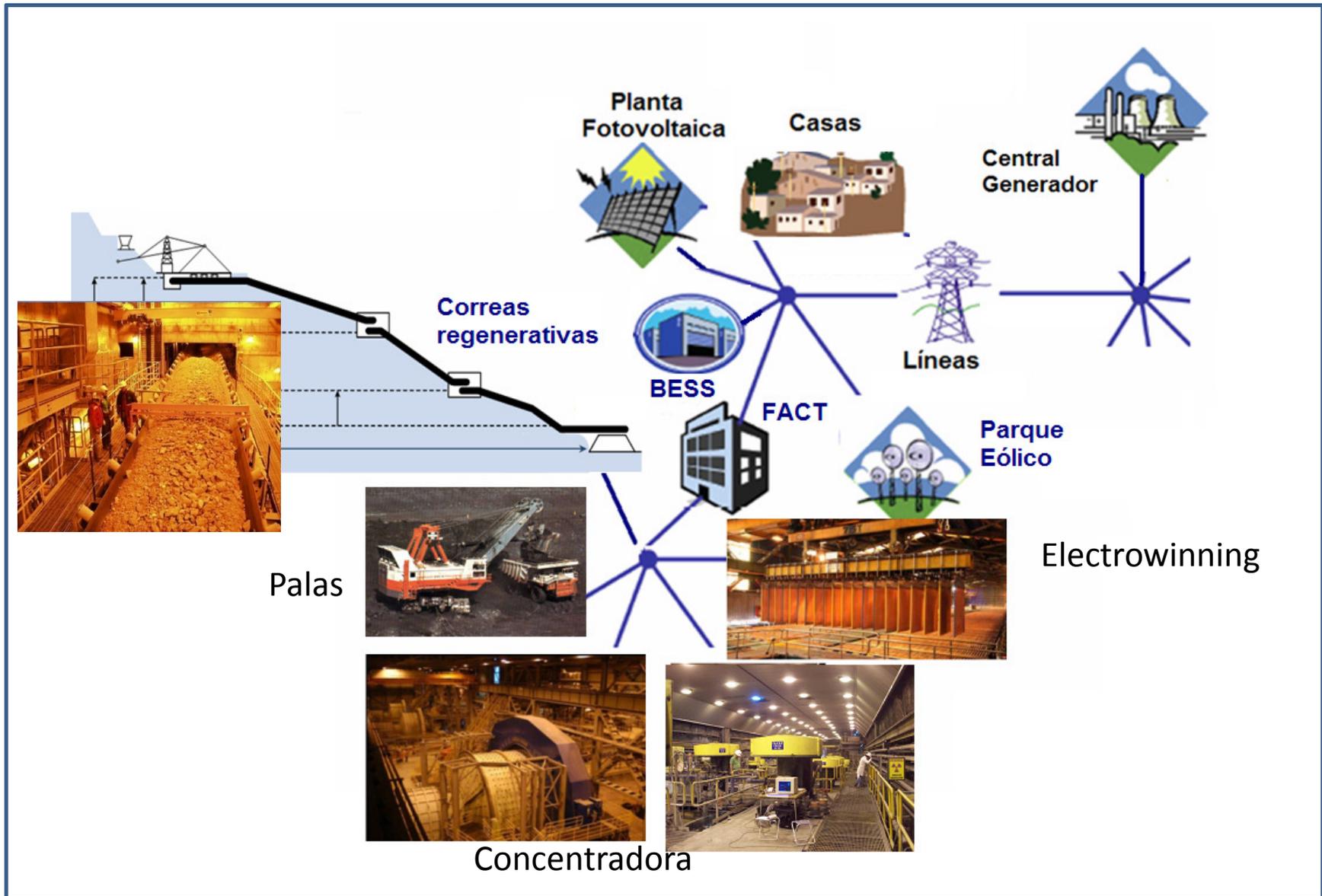


CENTRO DESARROLLO DE  
GESTIÓN DE PROYECTOS TI  
DEPARTAMENTO DE INFORMATICA / USM



UNIVERSIDAD TECNICA  
FEDERICO SANTA MARIA

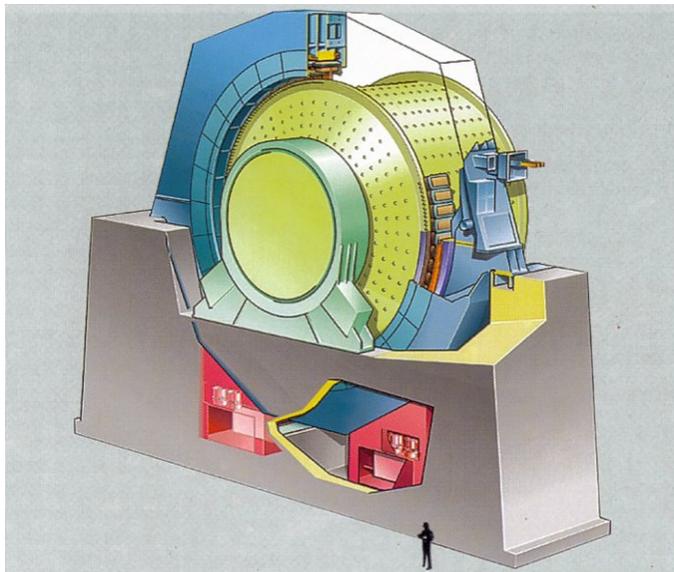
**CASIM**  
CENTRO DE AUTOMATIZACIÓN Y SUPERVISIÓN  
PARA LA INDUSTRIA MINERA



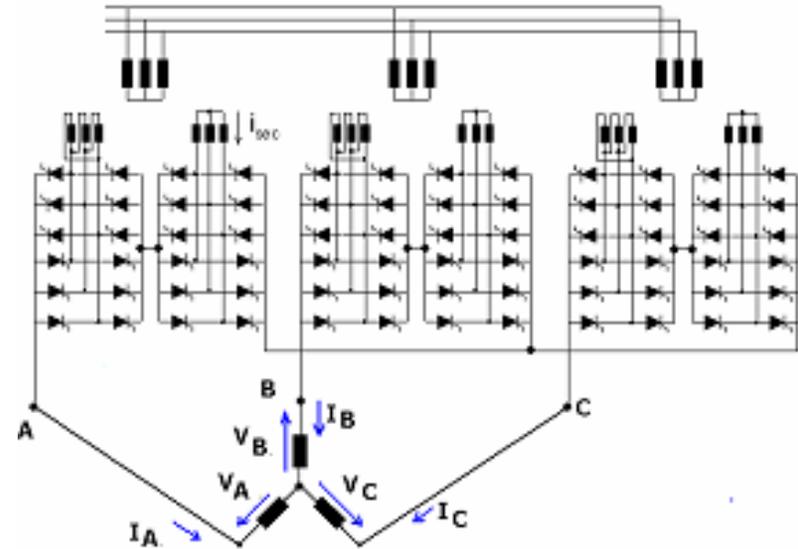
Consumen 25% de la energía eléctrica del SIC (2012)

Usan Sistemas Electrónica de Alta Potencia

Requieren ser “smart grids”



Esquema GMD alta potencia  
(cortesía ABB)



Esquema de cicloconvertor  
de alta potencia



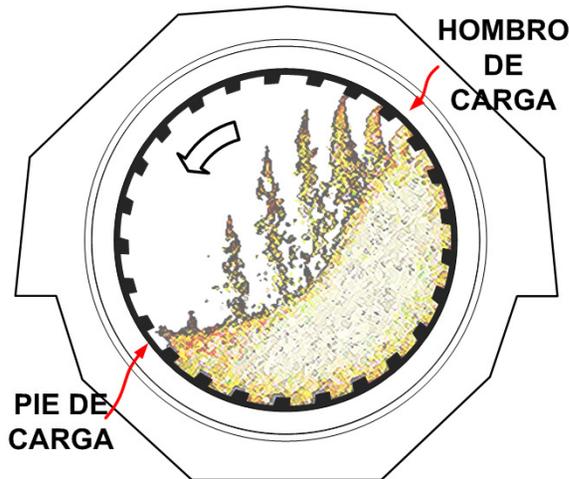
CENTRO DESARROLLO DE  
GESTIÓN DE PROYECTOS TI  
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA / USM



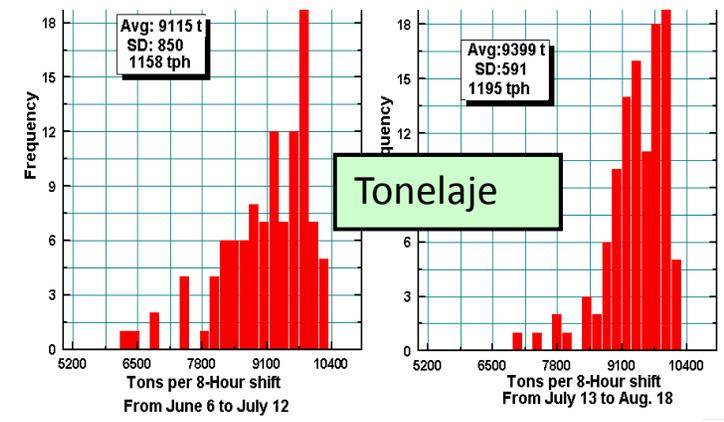
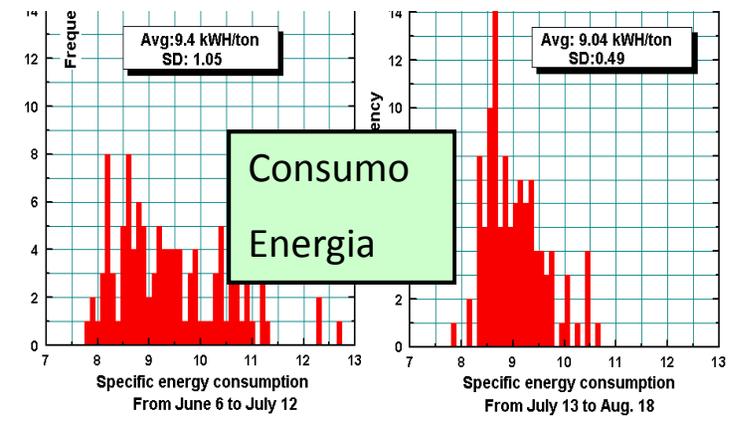
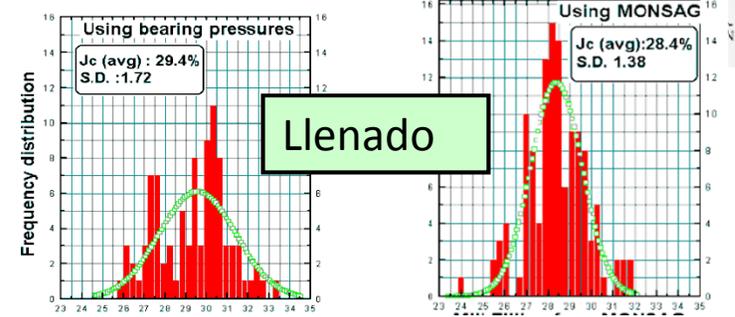
UNIVERSIDAD TECNICA  
FEDERICO SANTA MARIA

# Ejemplos

- Instrumentación en molino SAG = Eficiencia energética y aumento en producción.



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



# Nuevos métodos: Control predictivo

Previous work of Authors:

J. Rodriguez, J. Pontt, C. Silva, P. Correa, P. Lezana, P. Cortes, U. Ammann

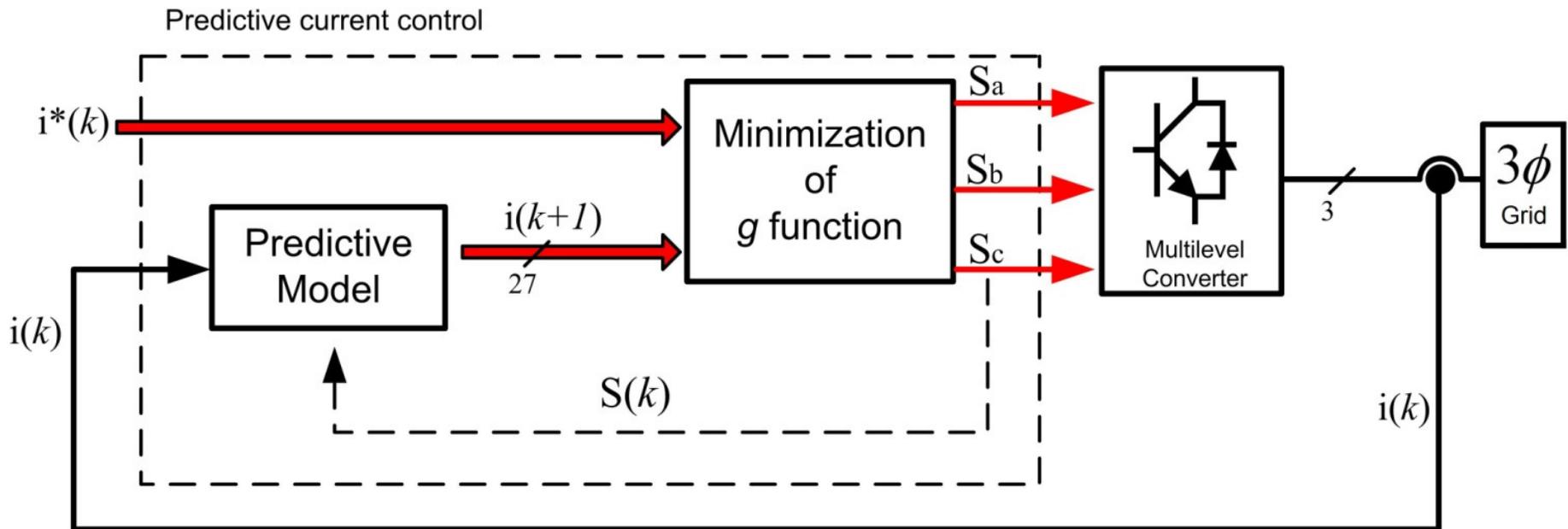
**“Predictive Current Control of a Voltage Source Inverter”**

**(Best paper Award year 2007, IEEE –TIE IEEE**

Trans. On Industrial Electronics, Vol. 54, Nr. 1, Febr., 2007, pp. 495-503.

# Outline of a shunt Active Filter with Predictive Control

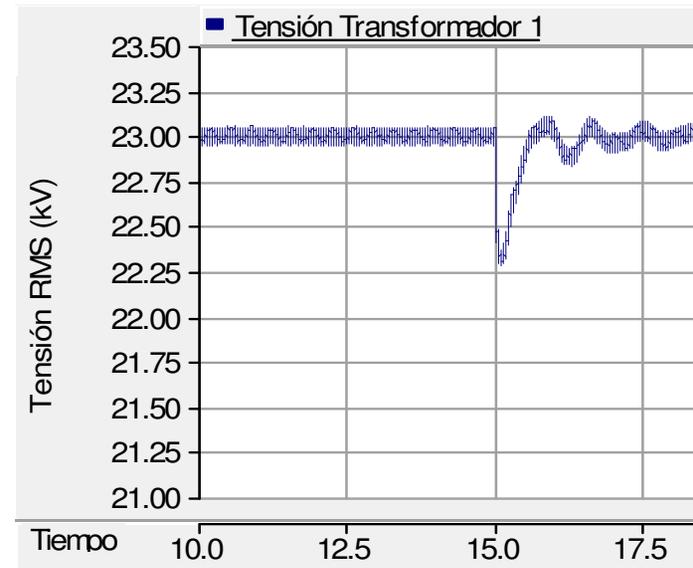
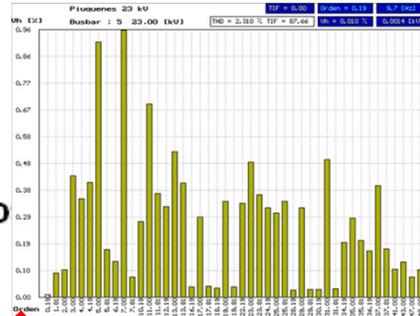
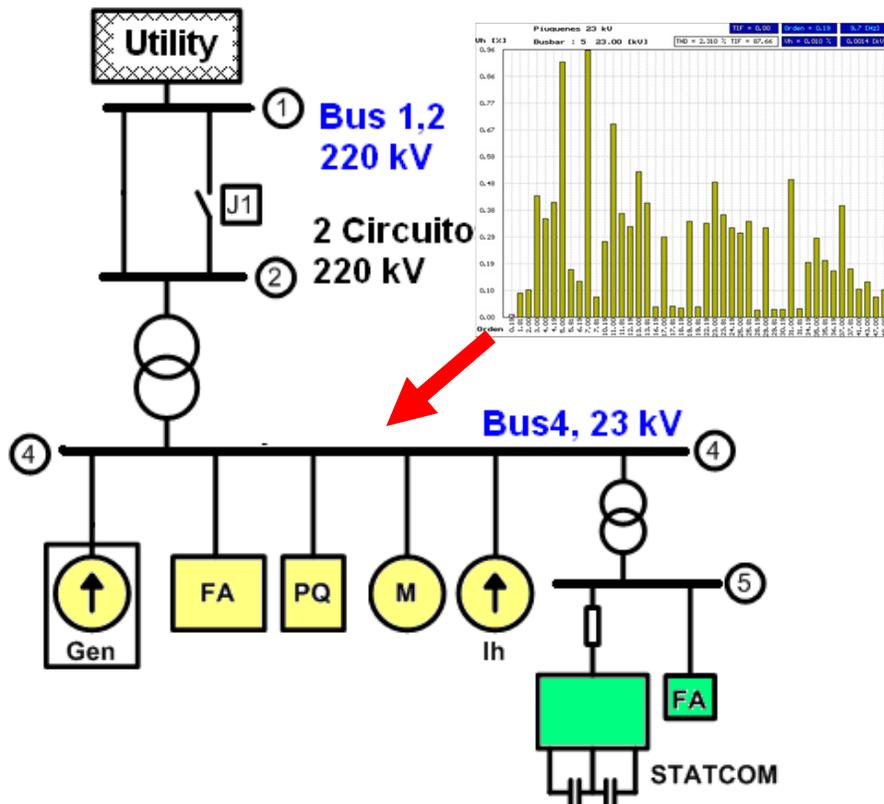
## Power Converter with controlled current into the grid





## Ejemplos: Desempeño y contingencias

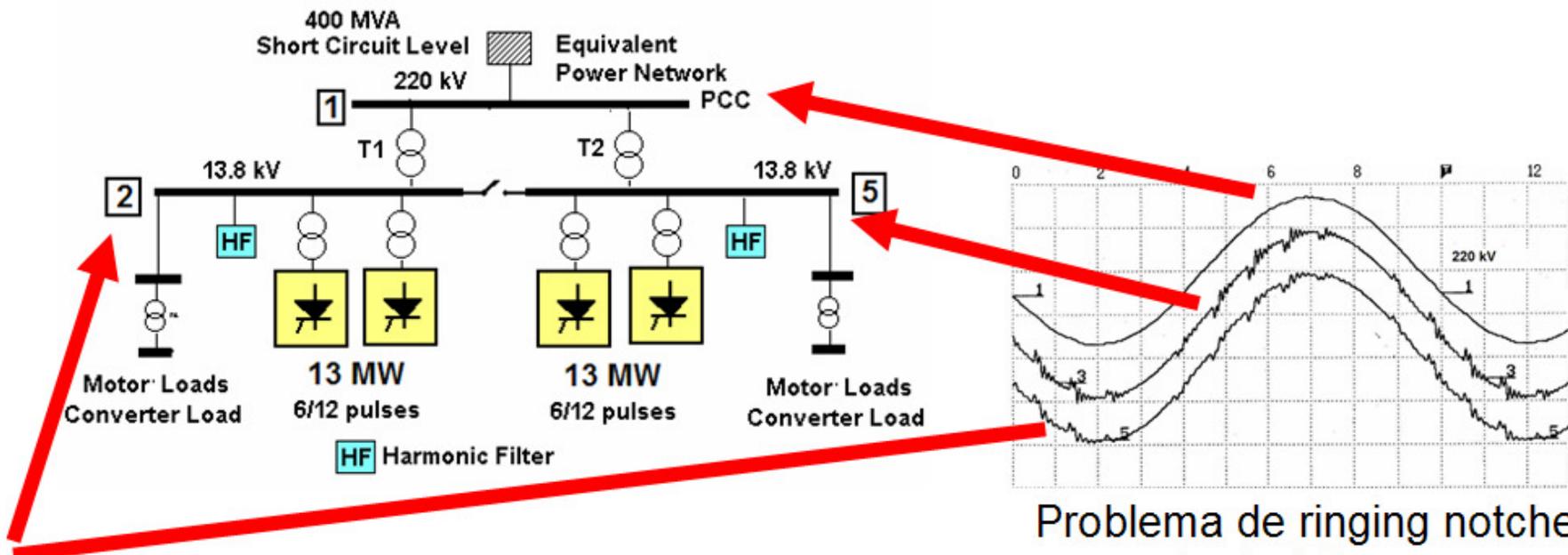
- *Compensación dinámica = Confiabilidad y Disponibilidad*





# Ejemplos

- Red industrial con armónicas = Posibles inconvenientes



Problema de ringing notches  
causante de fallas



## **Propuesta: Diploma en nuevas tecnologías en el sector minero**

**CASIM**  
CENTRO DE AUTOMATIZACIÓN Y SUPERVISIÓN  
PARA LA INDUSTRIA MINERA

**Para los desafíos y oportunidades en el sector minero, este Diploma espera potenciar la formación de capital humano en 6 ejes:**

- **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**



Int'l Mineral Processing Conference 2014

**IMPC'2014, Chile**

# Nuevas Energías

## Ejemplo: Solar – CSP

- **Interesante Potencial**
- **0.5 MW/Há**
- **Almacenamiento**



# Solar – Térmico

## Ej.: Calentamiento de soluciones

-Ingeniería

-Instalación/Soporte

-Espacio



# Seminario Energías Renovables ERNC

## 3-4 Sept., Casino Viña del Mar

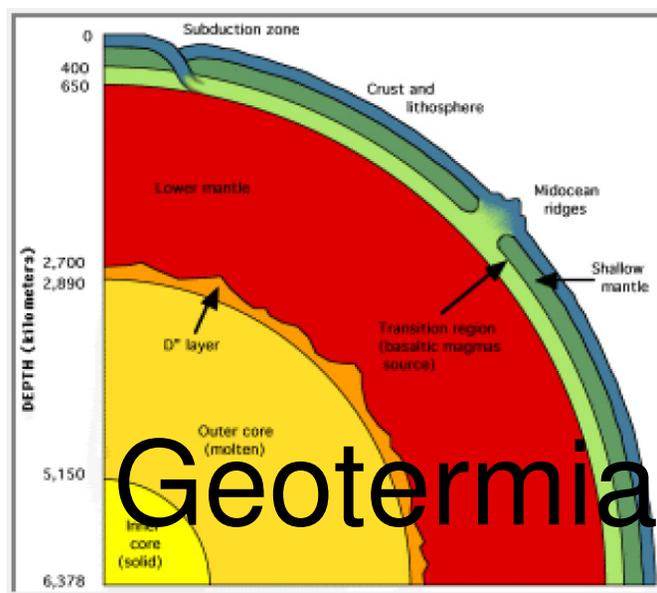


Figure 7-2  
Earth Soil Composition with Depth (Courtesy: ABB)

# Seminario Energías Renovables ERNC

## 3-4 Sept., Casino Viña del Mar



## **Comentarios finales**

- Sustentabilidad: Fuerte desafío**
- Cultura: Hacer bien las cosas.**
- Interesantes oportunidades para la Minería Nacional (círculos virtuosos)**
- Educación “just in time”, competencias.**
- Automatización: Procesos, TICs, Electrónica**

# Comentarios finales

- Difusión y atracción de talentos jóvenes
- Desarrollo basado en conocimiento
- Inversión en I+D debe crecer ca. 2.5% PGB
- Networking internacional





# 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

Muchas Gracias!

[jorge.pontt@usm.cl](mailto:jorge.pontt@usm.cl)

