



UNIVERSIDAD TÉCNICA  
FEDERICO SANTA MARÍA

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

## Confiabilidad de molinos gearless de alta potencia

Jorge Pontt<sup>a,b</sup>, Ulises Ramos<sup>b</sup>, Fernando Rojas<sup>b</sup>, Waldo Valderrama<sup>b</sup>,  
Francisco Albayay<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Laboratorio de Confiabilidad y Calidad de Servicio LACSE/NEIM, Universidad  
Federico Santa María (UTFSM), Chile

<sup>b</sup> Centro de Automatización y Supervisión para la Industria Minera (CASIM), Av.  
España 1680, Valparaíso, Chile

E-mail: [jorge.pontt@usm.cl](mailto:jorge.pontt@usm.cl), Fono: +56-32-2654553, Fax: +56-32-2797530

Calama, 4 de junio, 2010

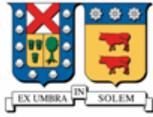
## **Presentación**

- **El problema**
- **Aspectos eléctricos**
- **Aspectos de proceso**
- **Aspectos mecánicos**
- **Resumen**



# UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

- **Formar capital humano**
- **Crear Valor y Bienestar a la sociedad**
- **Vía Ciencia-Tecnología-Innovación**



UNIVERSIDAD TÉCNICA  
FEDERICO SANTA MARÍA

# COBERTURA TERRITORIAL

## 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

# CENTRO DE AUTOMATIZACION Y SUPERVISION PARA LA INDUSTRIA MINERA

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



## 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**

# Trabajos en plantas concentradoras



# APLICACION PROCESOS FLOTACION

## EQUIPOS DE GRAN TAMAÑO

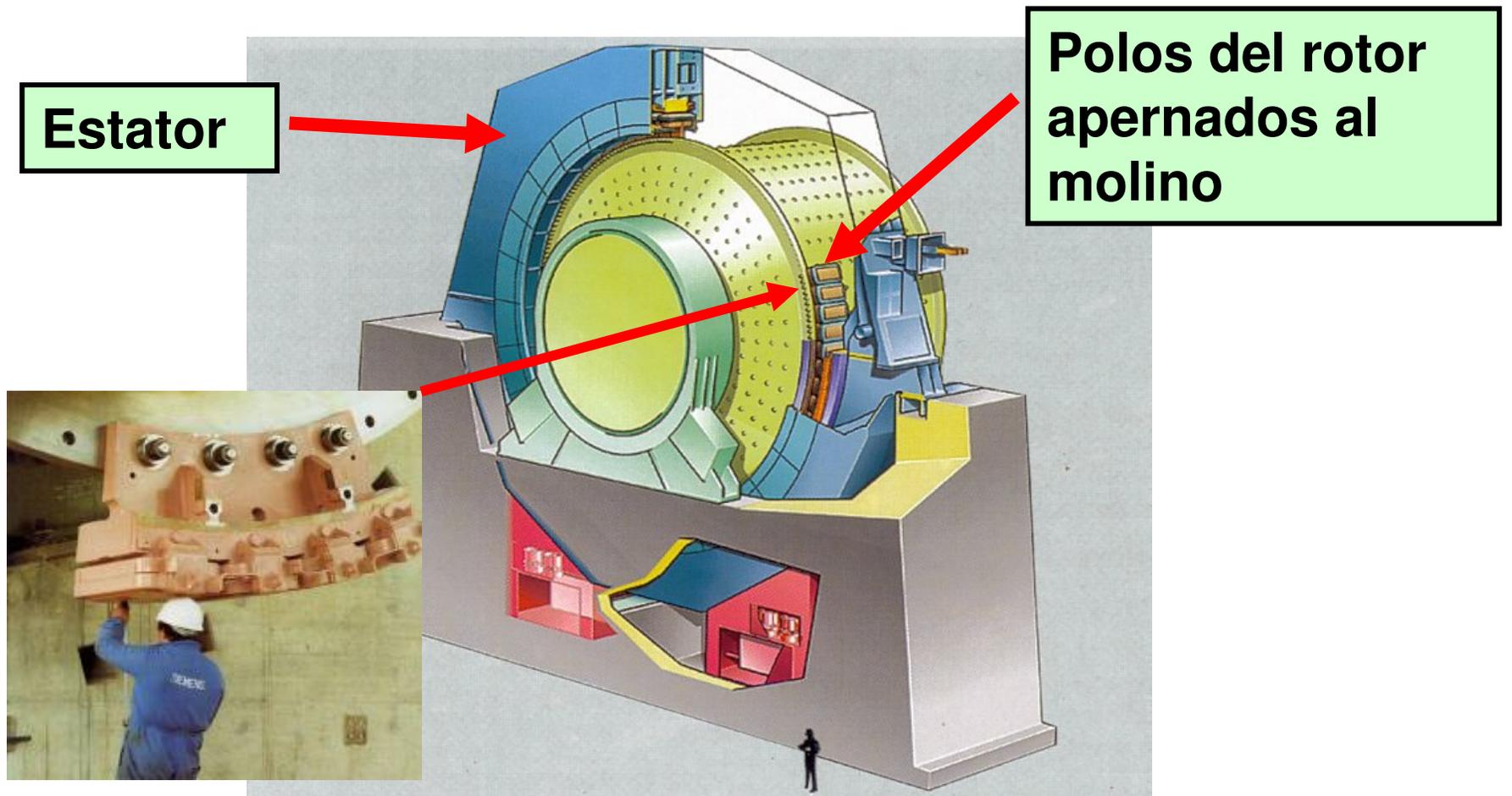


# EL PROBLEMA

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



# El molino gearless drive (GMD)

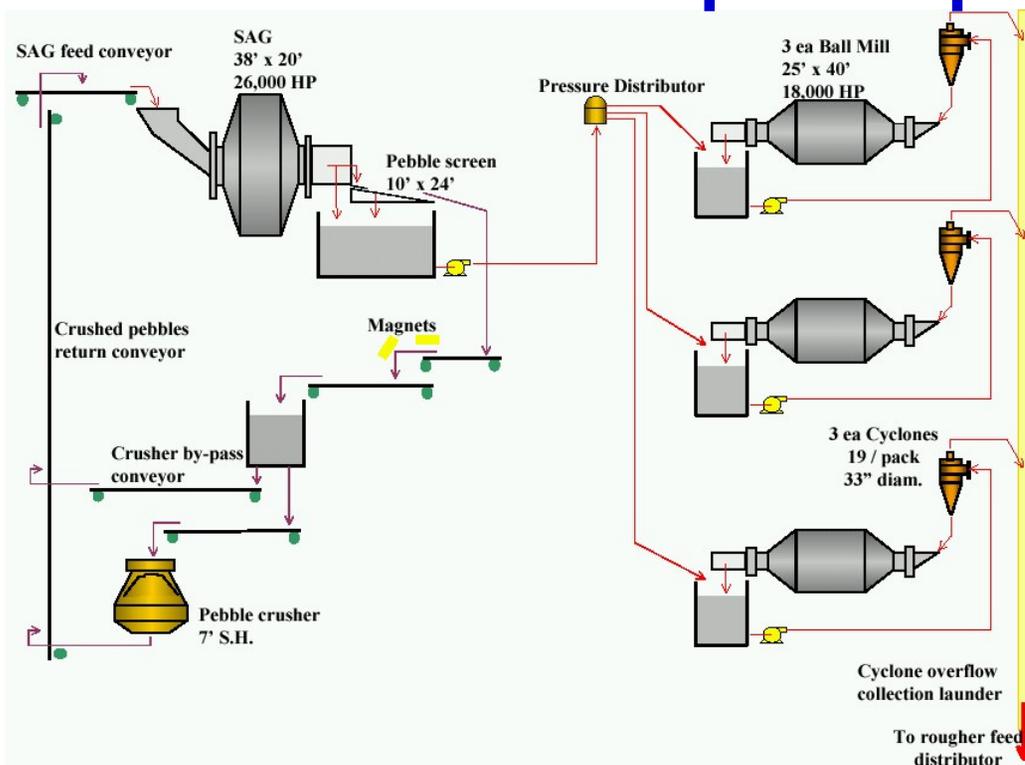


**Potencia es transferida sin engranajes**

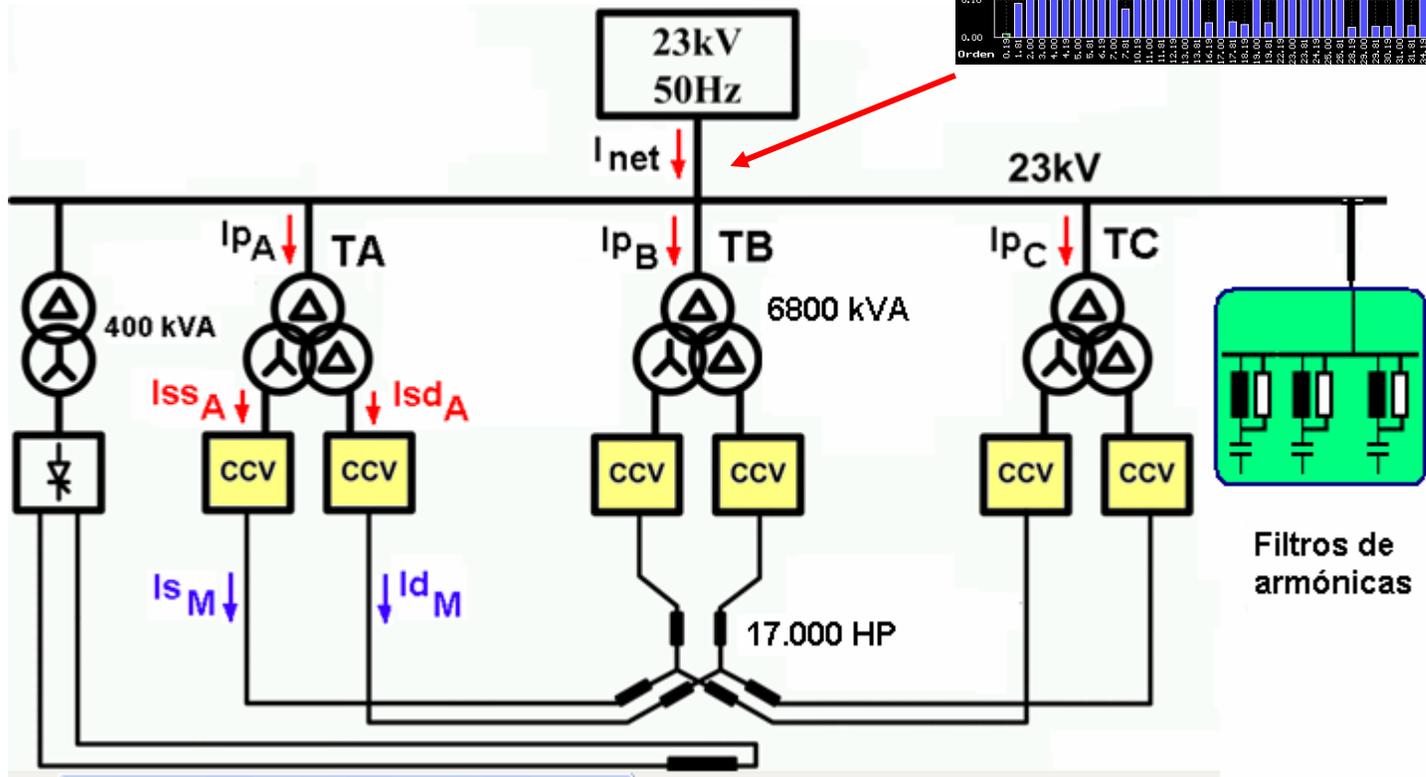
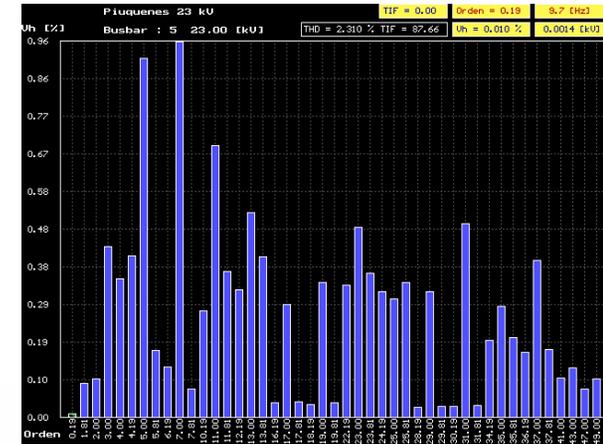
## Primeras aplicaciones de GMD en Concentrador Chuquicamata

Tecnología GMD se considera madura y exitosa.

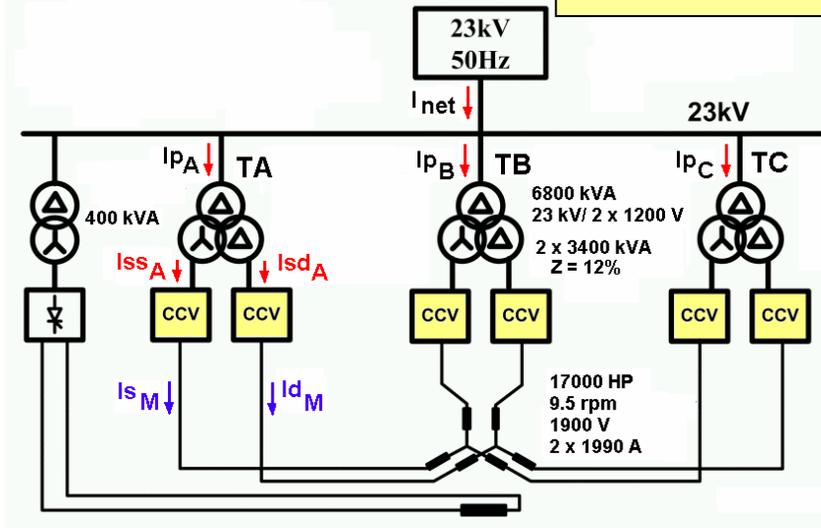
Recientes fallas han preocupado a la comunidad.



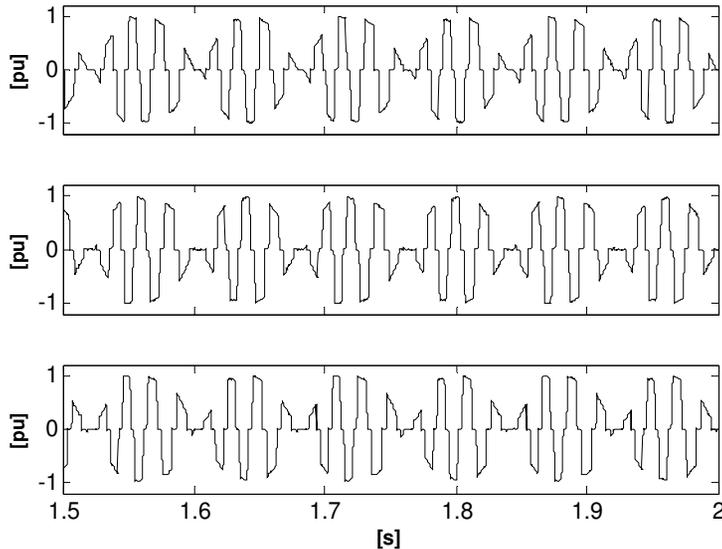
- Aspectos eléctricos
- Cicloconversor alimenta al motor con frecuencia variable
- inyecta armónicas a la red
- Es necesario filtros de armónicas



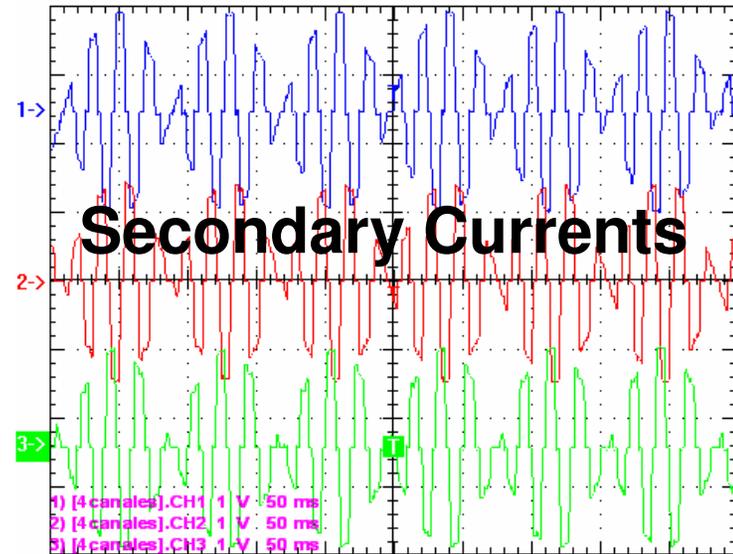
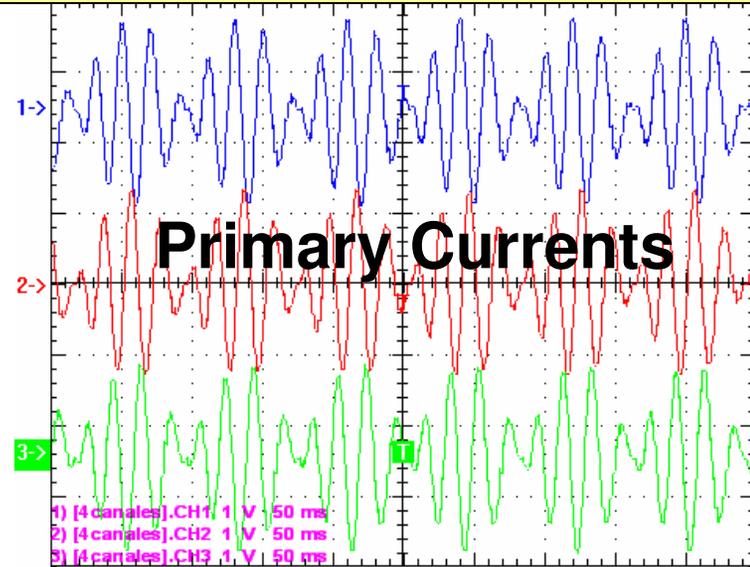
# Armónicas e interarmónicas



Currents Waveforms



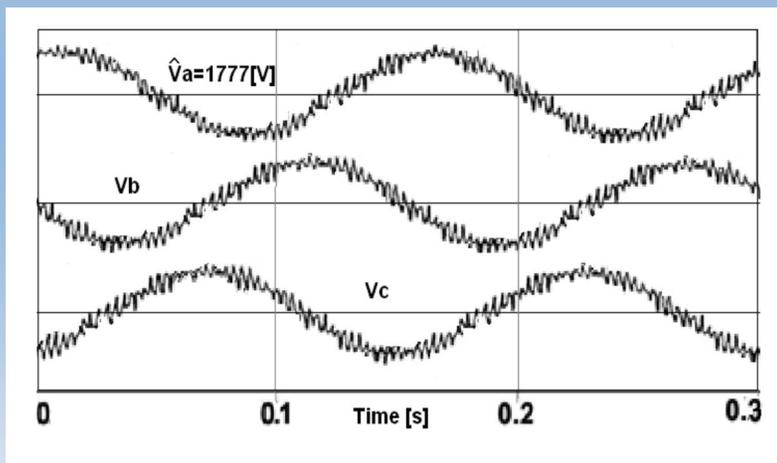
**Secondary Currents  
(Simulaton)**



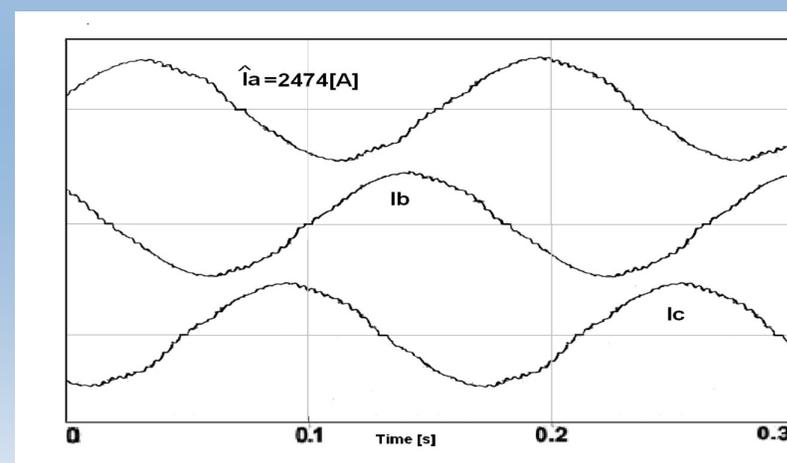
**Measurements**

# Operación bajo condiciones normales

Field measurements were performed in an actual drive

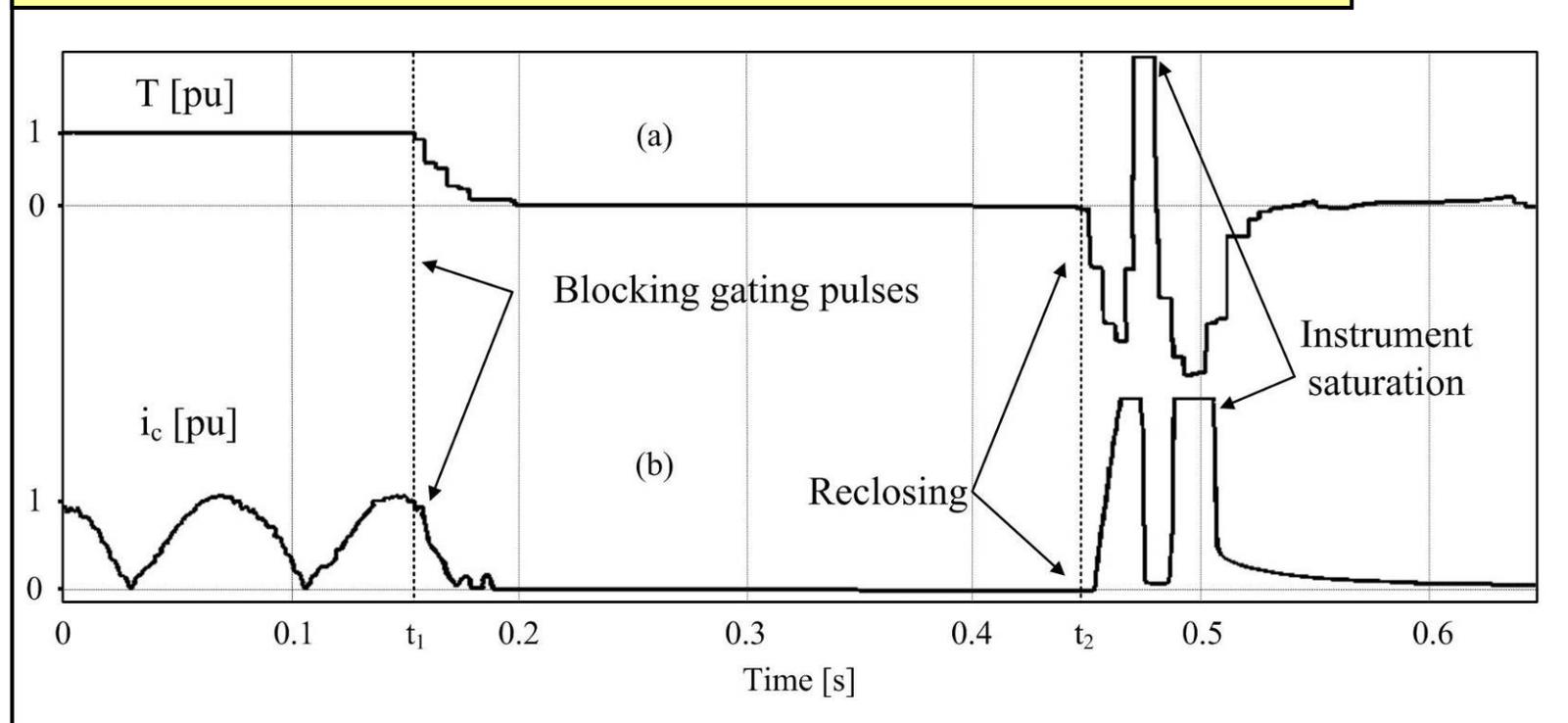


**Cycloconverter output voltages**



**Cycloconverter output currents**

## Comportamiento del torque y corriente provocado por falla de conmutación por evento en la red de potencia (Blackout)



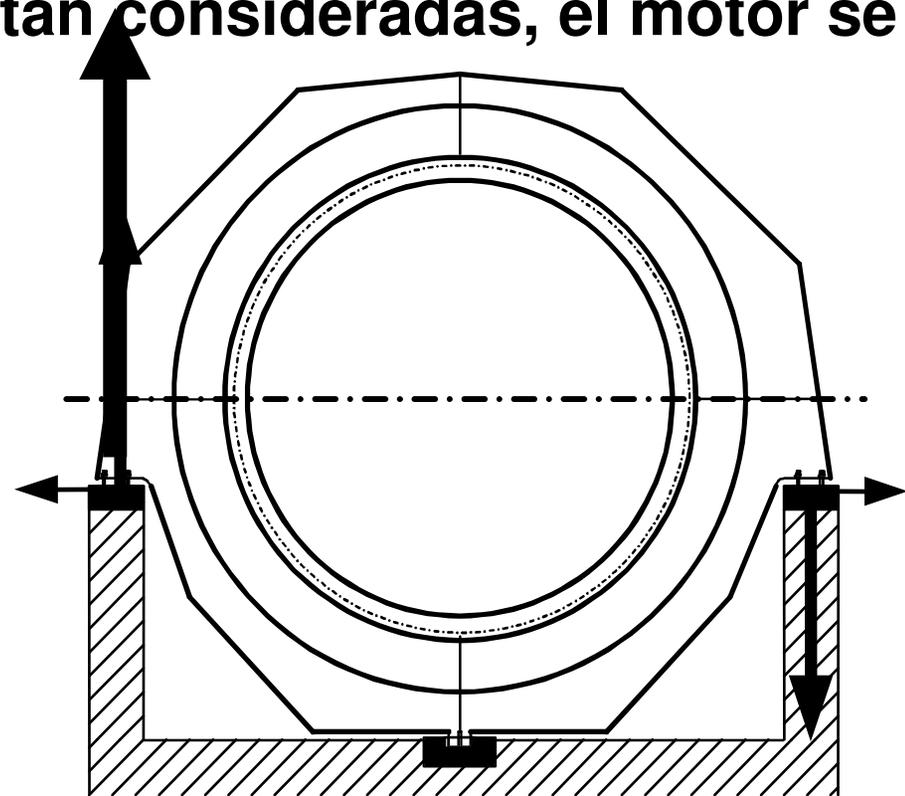
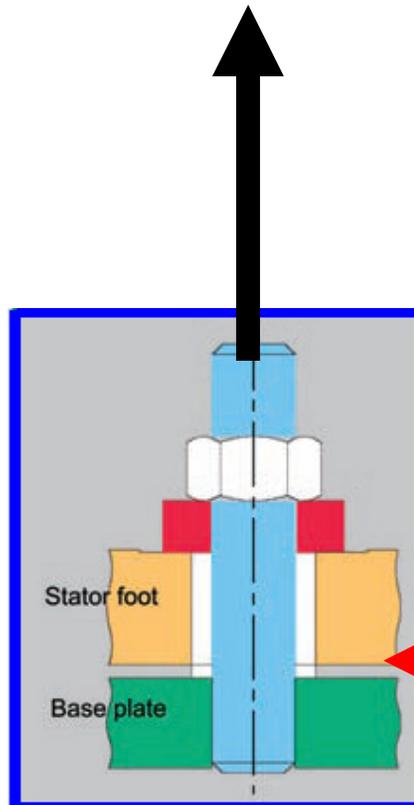
### Field measurement

Ref.: J. Rodríguez, **J. Pontt**, K. Tischler, N. Becker, J. Rebolledo, "Operation of High Power Cycloconverter-Fed Gearless Drives under Abnormal Conditions", IEEE Trans. On Ind. Appl., Vol.43, Nr.3, pp.814-820.

# Efectos de cortocircuito en el cicloconversor

- Fuertes componentes alternas de fuerza vertical (hasta 6 p.u.) . Si no están consideradas, el motor se puede mover.

**El perno se elonga**



**La fuerza de fricción se reduce y el frame del motor puede desplazarse**

# Aspectos de Proceso





UNIVERSIDAD TECNICA  
FEDERICO SANTA MARIA

# Proceso de conminución

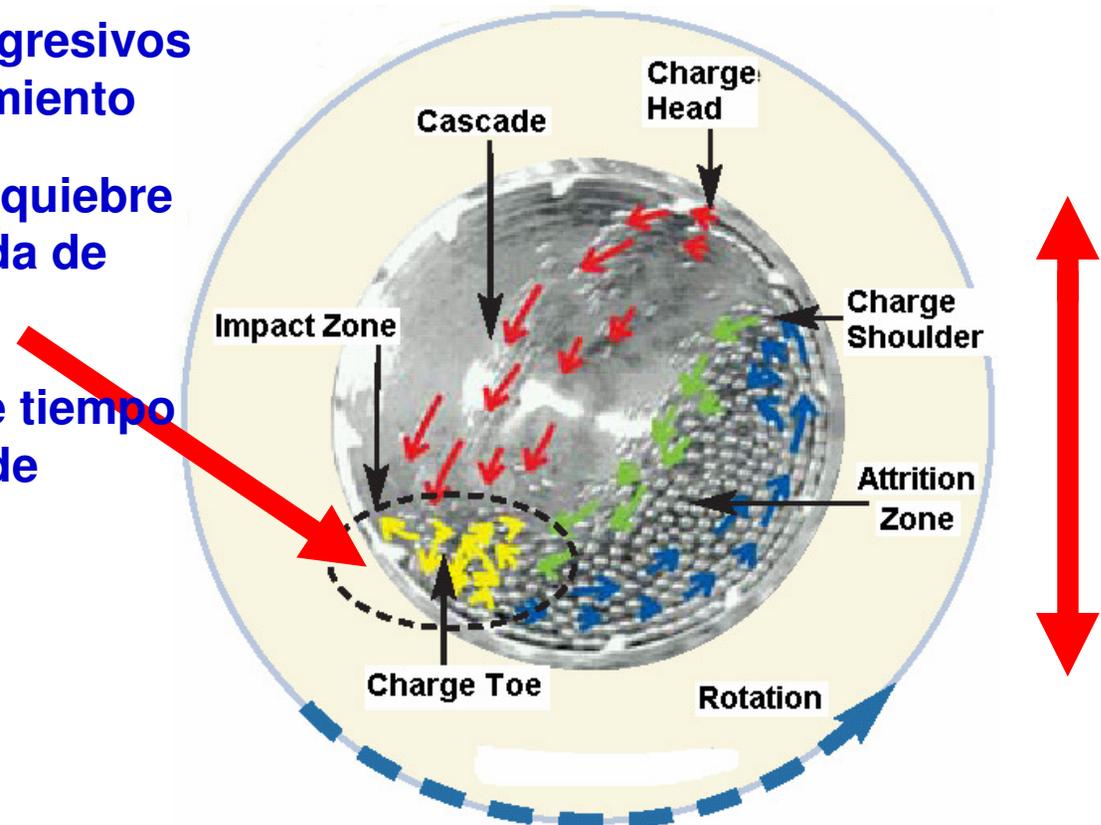
**CASIM**  
CENTRO DE AUTOMATIZACIÓN Y SUPERVISIÓN  
PARA LA INDUSTRIA MINERA

## Molienda por impacto y abrasión

Pero también hay impactos agresivos  
de bolas contra el revestimiento

Producen quiebre de bolas y quiebre  
de revestimientos y pérdida de  
energía

Además producen pérdida de tiempo  
productivo por recambio de  
revestimiento



**Problema**

**Liners quebrados**

**Bolas quebradas**





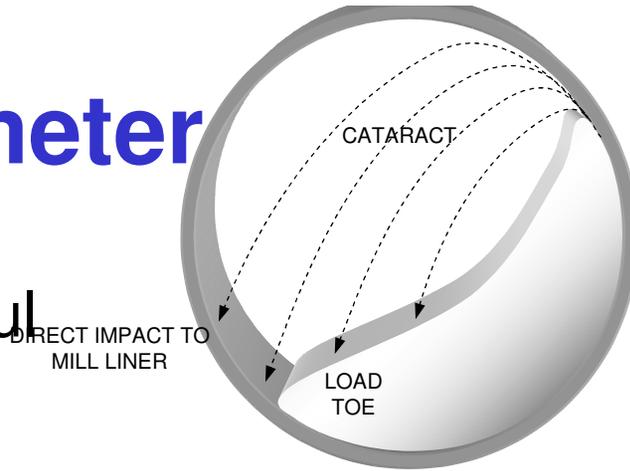
**Para evitar quiebre de revestimientos y  
quiebres de bolas**

**Impactmeter**

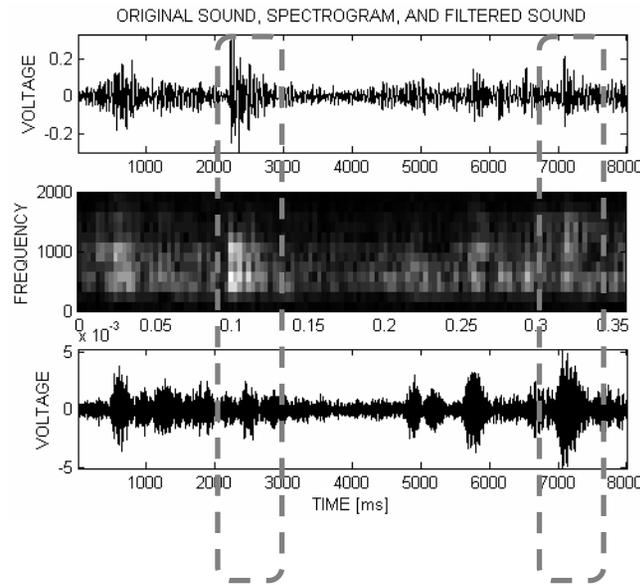
**MonSAG**

# Impactmeter

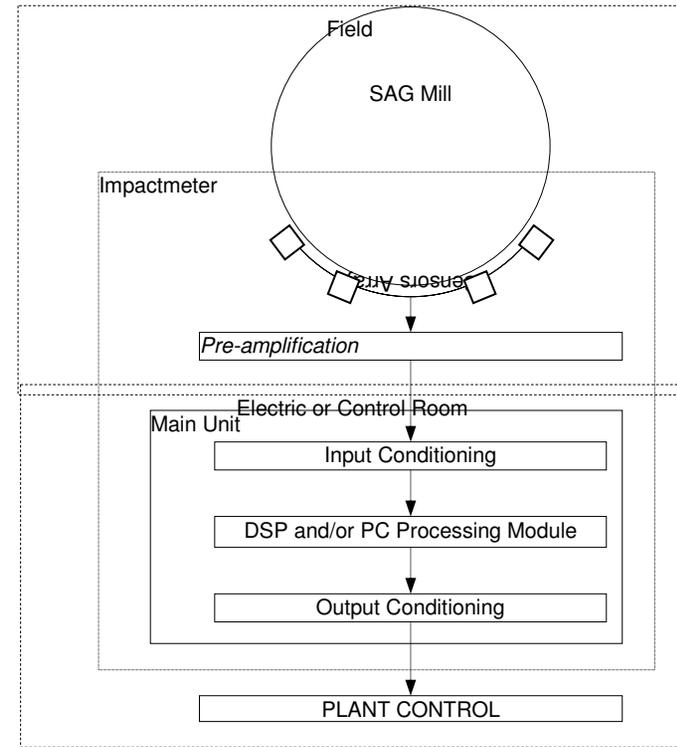
Avoid harmful impacts



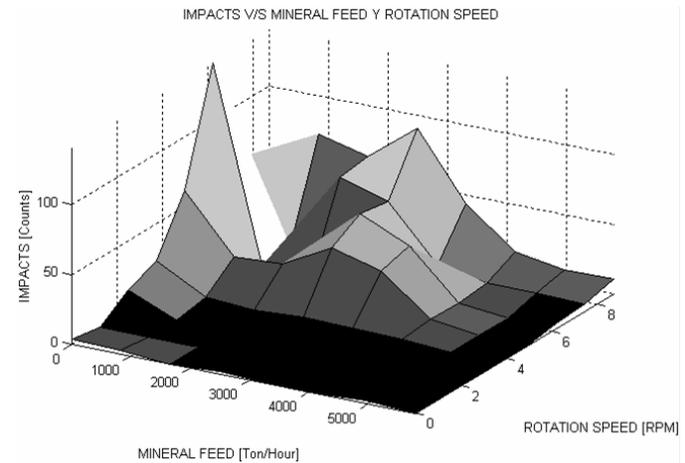
**Fig. 4.** Positioning alternatives for the load cataract in a SAG mill.



**Fig. 6.** Acoustic signal with signs of impacts. Upper graph with piece of original sound, central curve with spectrogram of the same, and lower curve with signal filtered on the interesting band. It can be observed that after filtering a sound signal, the relative amplitude between the Impacts A and B changes, due to the different nature of the impacting bodies.



**Fig. 5.** Block Diagram of Impactmeter.



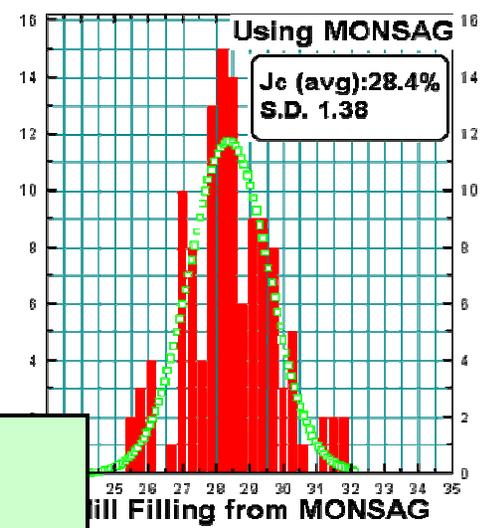
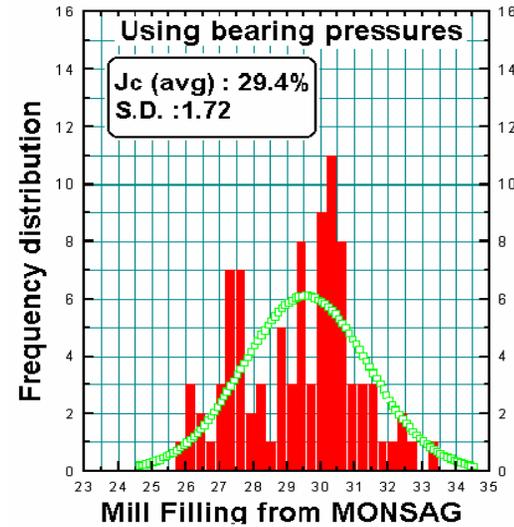
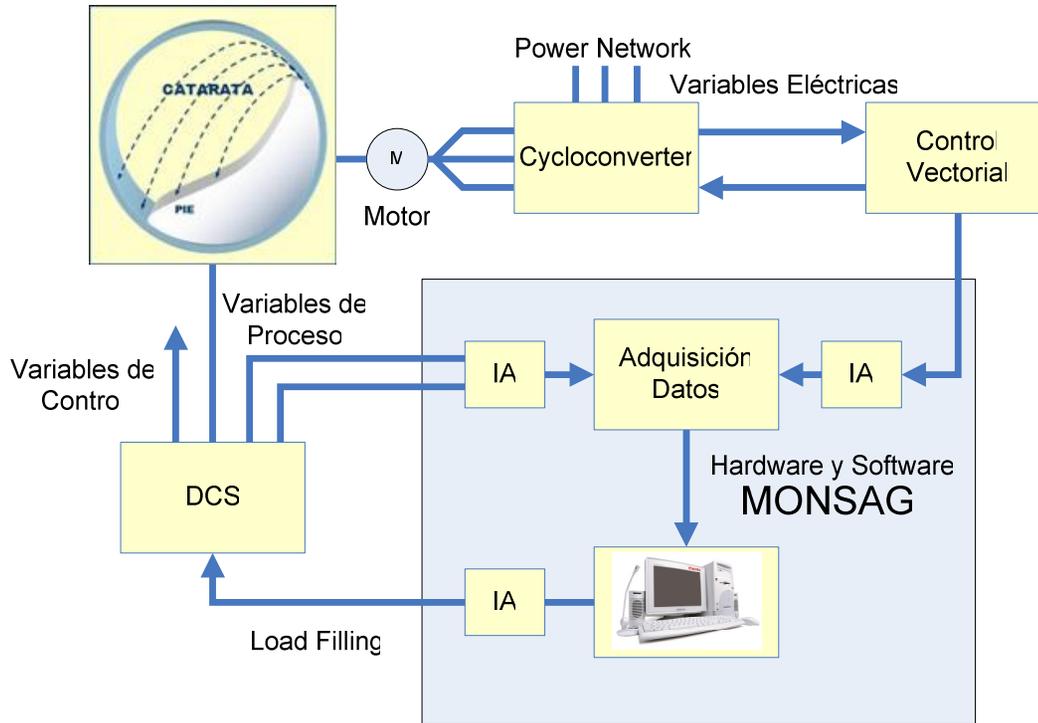
**Fig. 7.** Empirical relationship between Impactmeter, Mineral Feed to Mill and Mill Bearing Pressure (process variables).

# CASIM

CENTRO DE AUTOMATIZACIÓN Y SUPERVISIÓN  
PARA LA INDUSTRIA MINERA

# Para el control de llenado y eficiencia

■ Monsag System



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

**Mejor producción y energía específica, ca. 3%**

Monsag (Pat.pend)

# Aspectos mecánicos



## Problemas con manifestaciones de tipo mecánico (ORIGEN ?)



Fuente: National Instruments

Piezas quebradas de estator y rotor [Intl Conference SAG'06].

# Deformación estructural

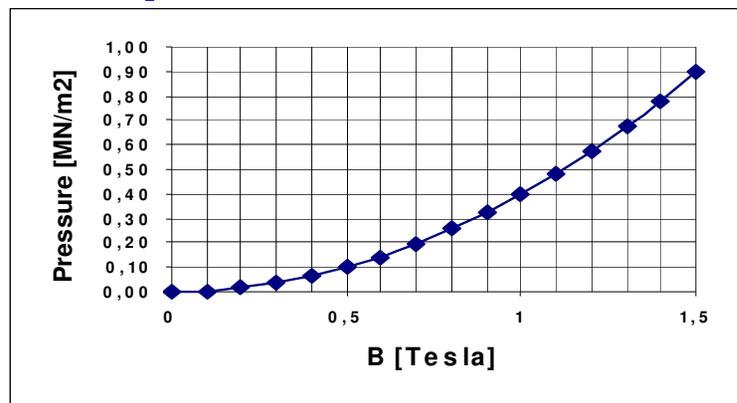
Por expansión térmica

Por fuerzas electromagnéticas

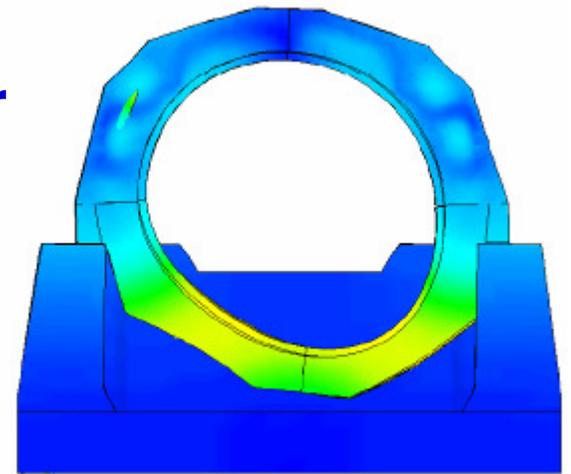
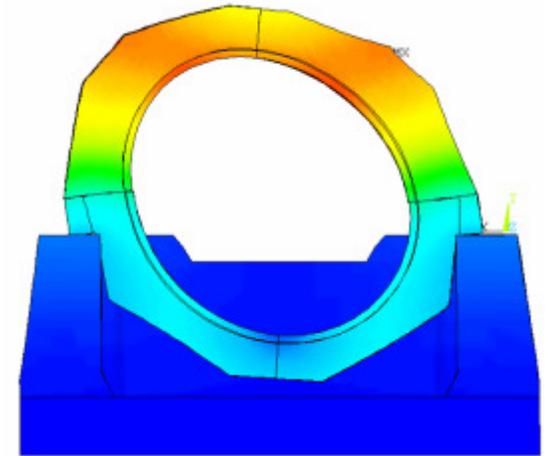
-Tangenciales

-Radiales (MP y UMP)

Comportamiento dinámico estator y rotor



El Pull magnético (estimación lineal).



# Diagnóstico

- **Qué variables?**
- **Instrumentación?**
- **Dónde?**
- **Cómo?**
- **Qué métodos?**
- **Modelo?**

→ **Voltajes,  
corrientes**

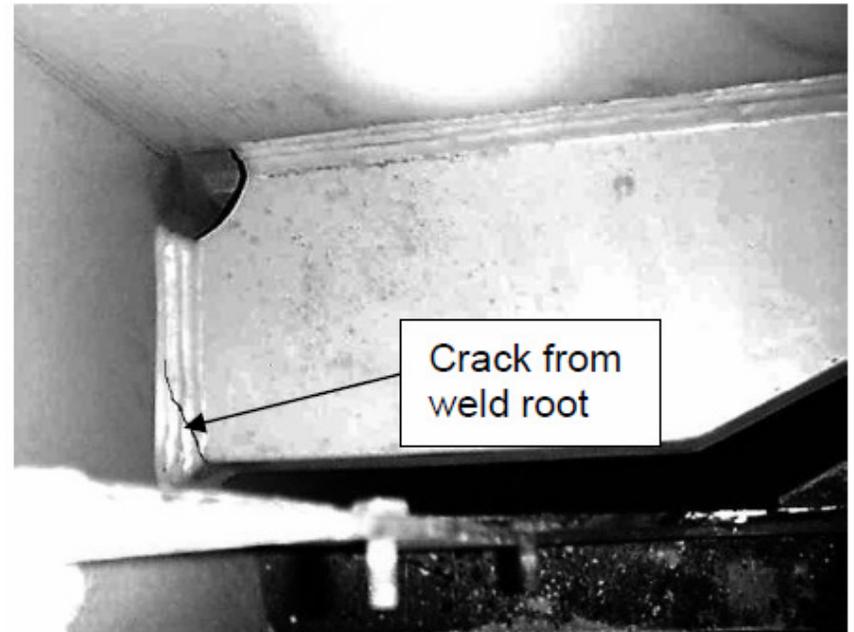
→ **Vibraciones**

→ **Deformaciones**

→ **Otras**

# Donde?

→ Cerca de lugares específicos

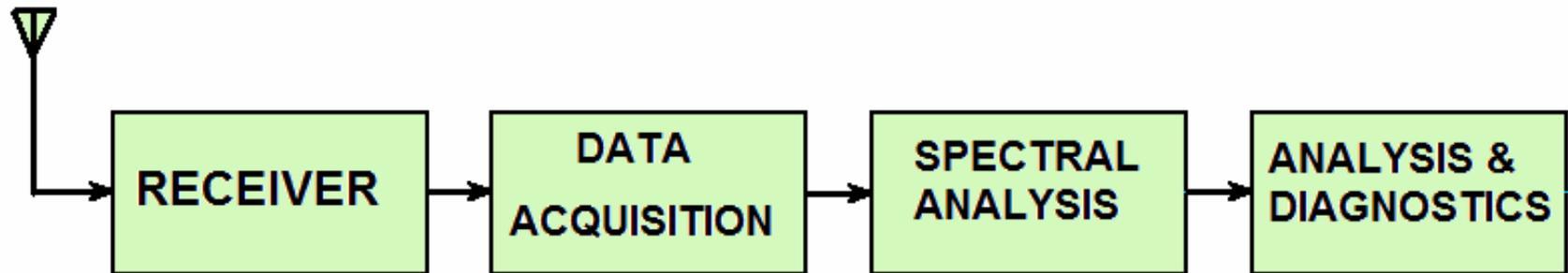


Ref.: How Big is big revisited, C. Meimaris, SAG'06.

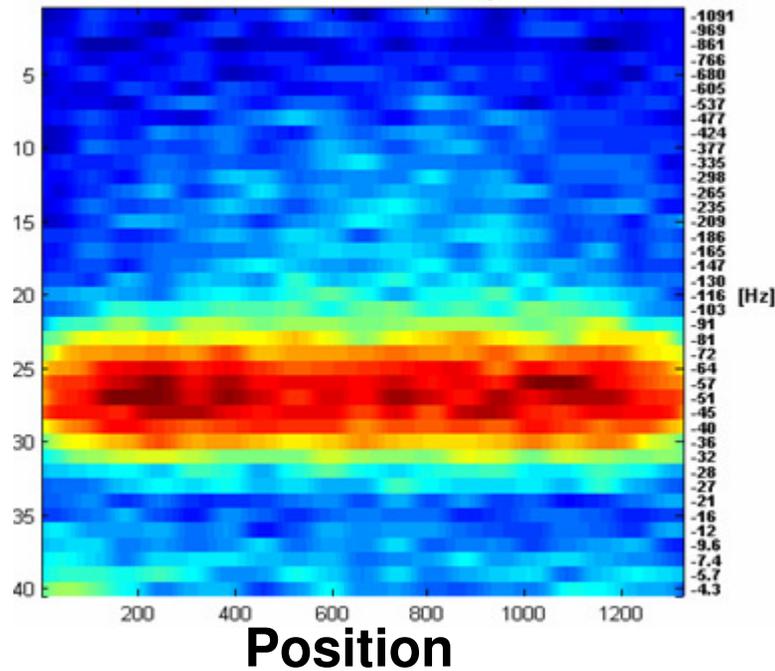
# COMO?

**Sensores y sistemas wireless**

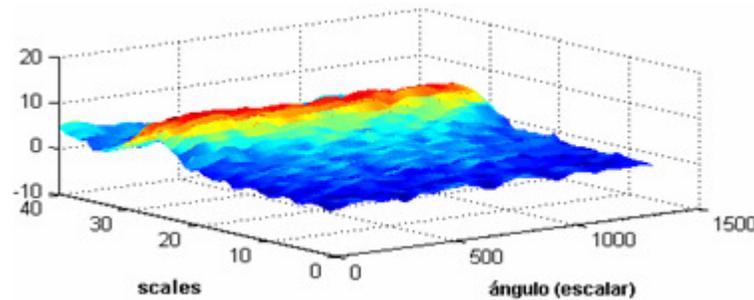
# Qué metodos usar para detección y diagnóstico?



# Métodos de pattern recognition (Análisis espectral)



Frequency



# Posibles mecanismos de fallas

**Torques oscilatorios causados por armónicas de flujo y corrientes**

- **Pull magnético (des)balanceado causado por entrehierro asimétrico.**
- **Deformación del estator causado por combinación de fuerzas térmicas y fuerzas oscilatorias de origen electromagnético**

# Experiencia funcional para detección de deformación y vibraciones

- El procedimiento ha sido probado
- Aplicaciones pueden emplear una pluralidad de sensores
- La misión de reconocimiento de patrones se calibra según los valores esperados de frecuencias naturales del estator y rotor.

# Características de sistema de instrumentación

- Para funciones de monitoreo, vigilancia y supervisión.
- → A nivel de terreno
- → Robusta frente a interferencias electromagnéticas
- → Robusta frente al ambiente industrial

# Confiabilidad

- **Especialistas de CASIM han tenido la tarea de análisis de causa raíz de varias de las fallas que han provocado perdidas importantes en equipos críticos de plantas mineras, como GMD's de Codelco y otras empresas en Chile y extranjero.**
- **Se ha desarrollado sistemas, métodos e innovaciones tecnológicas para diagnóstico.**

# Resumen

- **Tendencia a grandes equipos por economía de escala.**
- **En el escalamiento de molinos GMD de 38-40 pies han aparecido fenómenos nuevos.**
- **Los fabricantes se han visto sorprendidos.**
- **Las manifestaciones de fallas son mecánicas, pero con origen combinado de diversos fenómenos.**

# Lecciones aprendidas

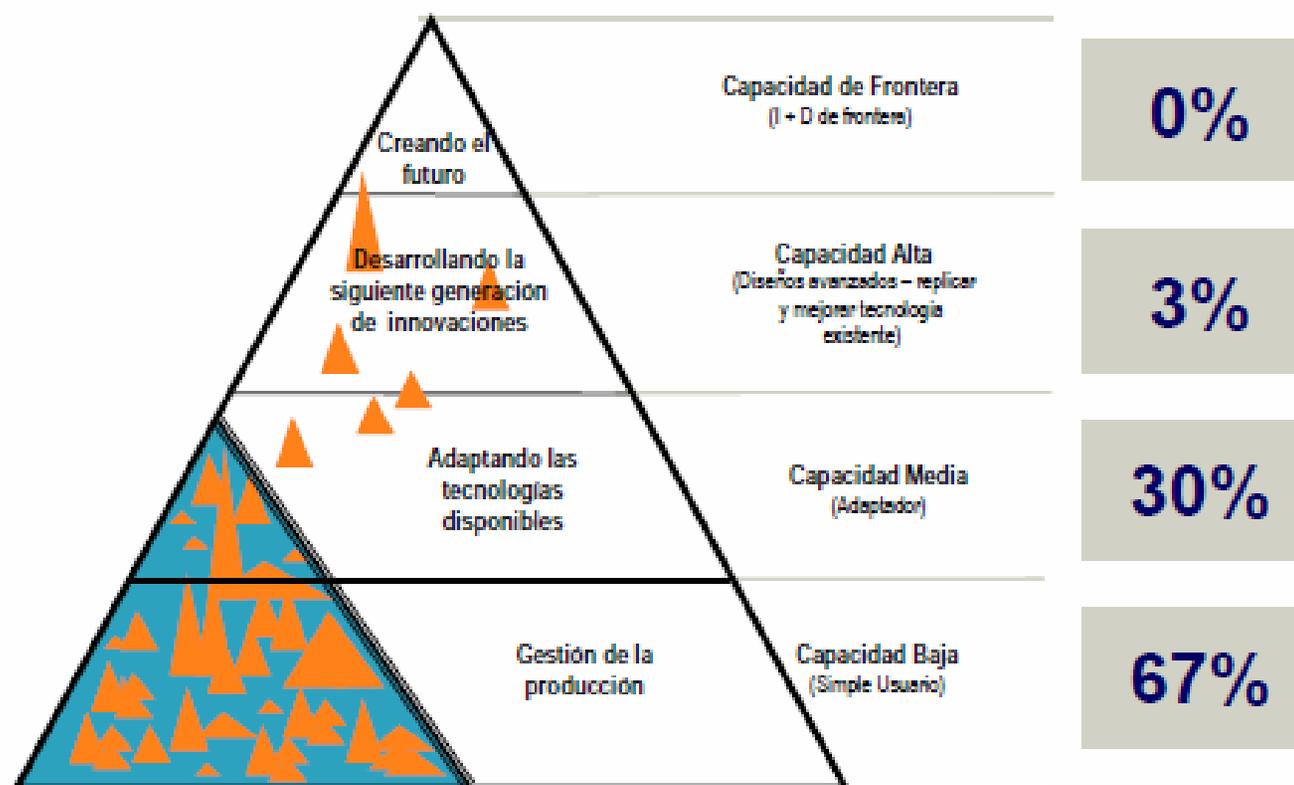
- **Importante el Know-how, I+D+I para mejor diseño, operación de grandes GMDs.**
- **Problemas complejos requieren un enfoque multidisciplinario.**
- **Necesidad de capacidades de Innovaciones**
- **Indispensable incrementar aplicaciones de las TI's en niveles físicos y de supervisión.**
- **Calibración basada en modelos de referencia**

# **Cómo? Desafíos del cluster**

- **Capacidad de innovar**
- **Desarrollo de Pymes de base tecnológica cluster minero hacia clase mundial**
- **Encadenamiento productivo**
- **Nuevos modelos de negocios**

## El estado real del Clúster minero

Los proveedores del Clúster minero son mayoritariamente usuarios de tecnologías (67%) y en una menor proporción adaptadores (30%)



Ref.: "Prog. Innovación en Minería", Omar Hernández, Subdirector minería, medioambiente e infraestructura, CORFO-Innova, 28.05.2010

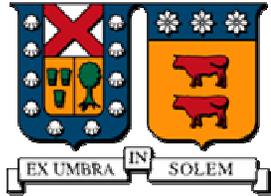
...trabajo integrado.



Ref.: “Prog. Innovacion en Minería”, Omar Hernández, Subdirector minería, medioambiente e infraestructura, CORFO-Innova, 28.05.2010

- **Camino de solución?**
- **I+D+i (CONICYT, ICM, CORFO)**
- **CORFO - UTFSM:**
- **Centro de Extensionismo Tecnológico para Industria Minera – CETIM**
- **Se invita a empresas innovadoras**
- **Colaboración Centros Intl's**





# 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**