

Transporte con pre-concentración de mineral en minas de superficie

Por: Ing. Tulio Antezano

Profesor: Departamento de Ingeniería Mecánica

Universidad de Ingeniería & Tecnología UTEC

*"Quien sobrevive no es el más fuerte ni el más inteligente, sino el que se adapta mejor al cambio", **Charles Darwin**, naturalista creador de la ley de la selección natural.*

"Nuestra industria sufre por el hecho de que la inversión en innovación es una décima parte de la petrolera... Si no nos enfocamos nuevamente en la Innovación.... Las principales empresas diversificadas serán filiales de General Electric u otro conglomerado que aún sabe innovar."

– Mark Cutifani, CEO, Anglo American

AGENDA

- Situación de la minería actual
- Bulk mining y Bulk transport
- Antecedentes y experiencia local
- Ore sorting para pre-concentración
- Innovaciones asociadas
- Conclusiones

SITUACION DE LA MINERIA ACTUAL

Contexto global en minería a tajo abierto



Panorama futuro complicado...

Easy ore bodies have gone!

Lower grades & fewer high quality discoveries
Mining smaller, deeper, more remote, or simply larger low grade ore bodies

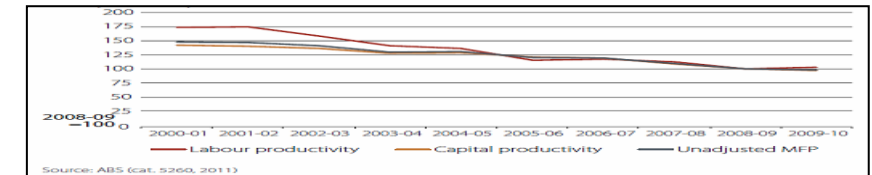
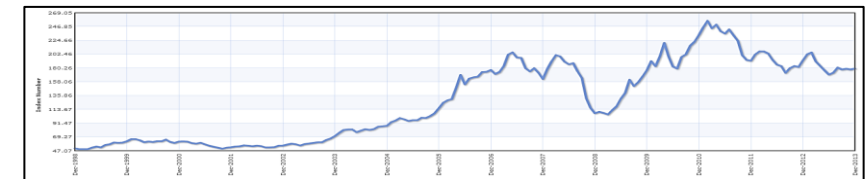
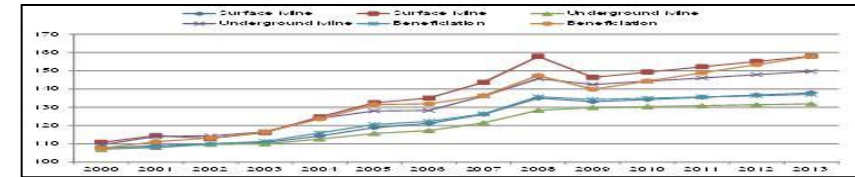
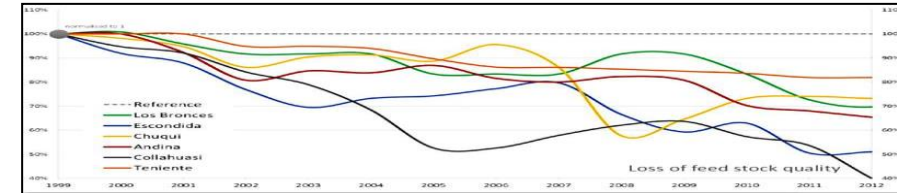
Costs are escalating

-Capital costs driven by high input costs esp. metals
-Operating costs driven by energy and labour

-Metal prices under pressure

- Prices not low, just not as high as they have been
- Not high enough to support current cost inflation

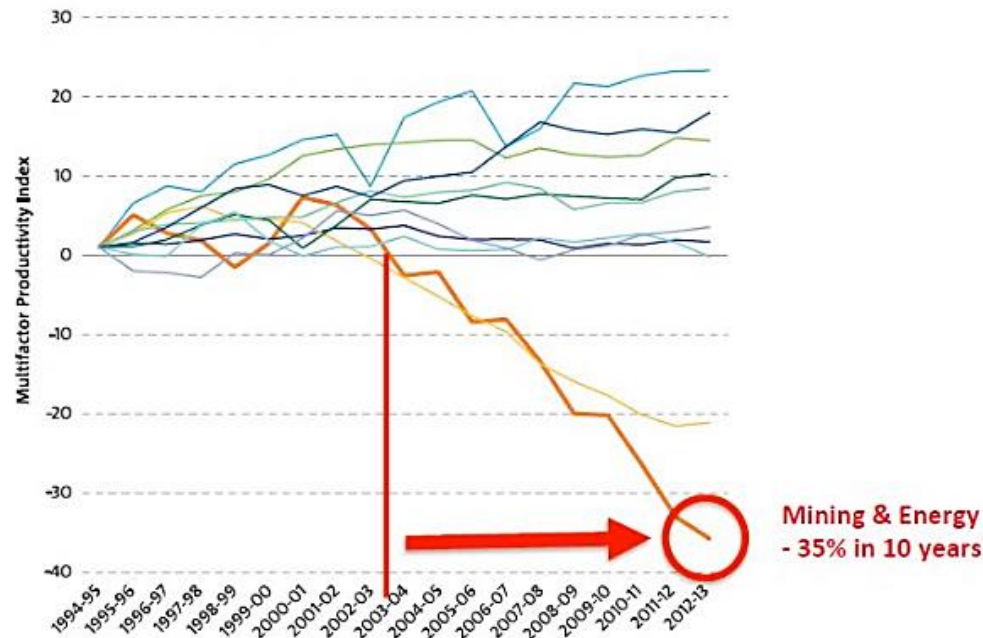
Declining productivity has been masked by high metal prices (so far)



Therefore desperately seeks new efficiencies...

Perdida de productividad en Minería y Energía

Multifactor Productivity in Mining and Energy vs other Industries



Source: Australian Bureau of Statistics, 2014

Overall Equipment Effectiveness (OEE)

(Eficacia total del equipo)

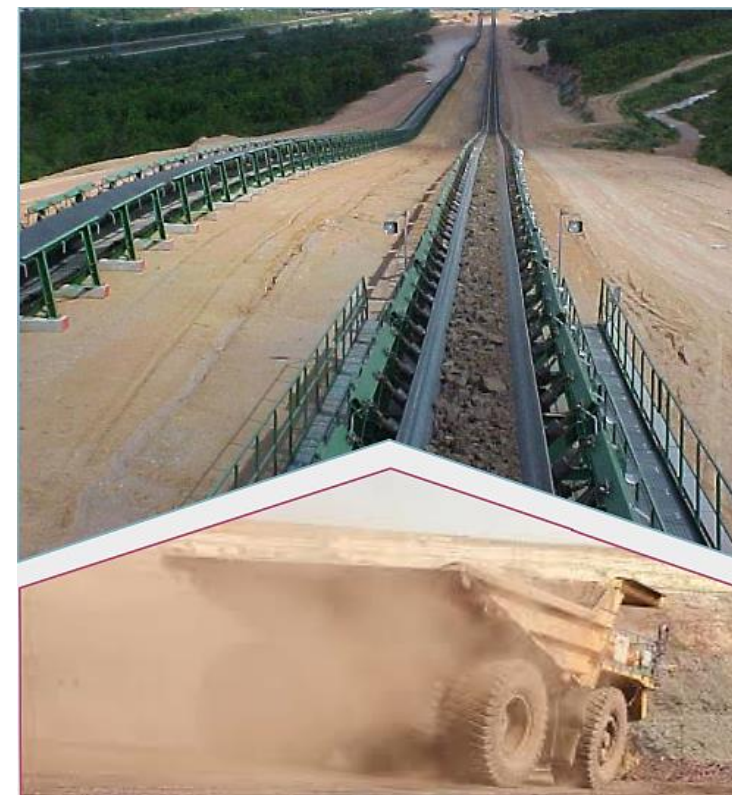
$$A \times P \times Q = OEE$$



Source: Mining's next performance horizon, McKinsey, 2015



BULK MINING & BULK TRANSPORT



IPCC en minas a tajo abierto



Fajas transportadoras en minería



Situación de la
minería actual

Bulk mining &
Bulk transport

Antecedentes
y experiencia
local

Ore sorting
pre-
concentración

Innovaciones
asociadas

Conclusiones

Sistema Discontinuo - Camiones

Perf/Volad y Carguío

Trasporte Camiones

Planta



Perforación
y Voladura



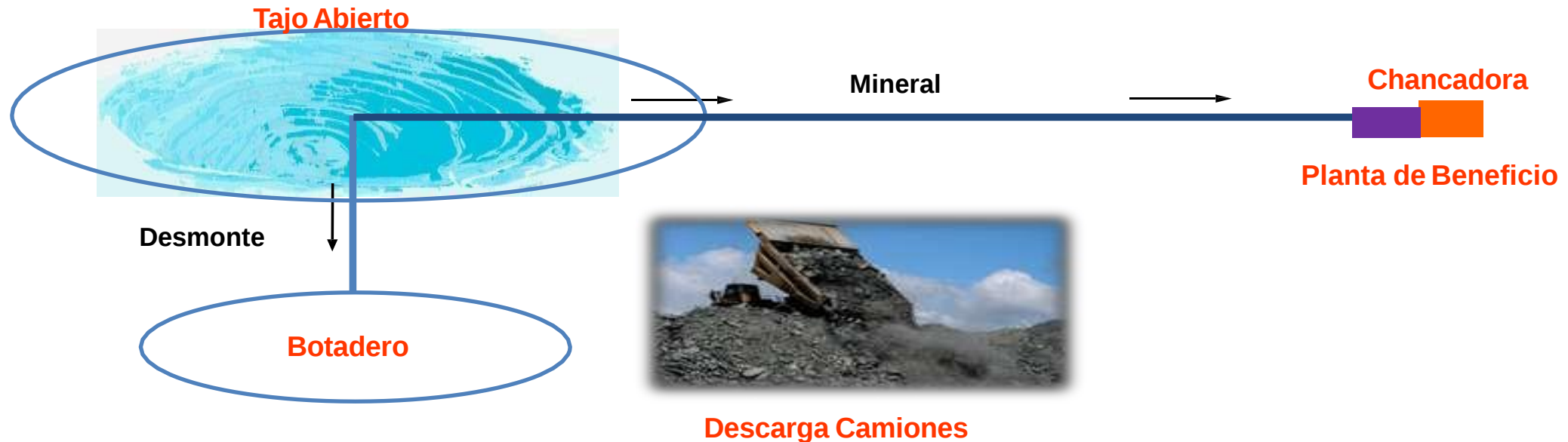
Carguío



Acarreo



Proceso



Situación de la
minería actual

**Bulk mining &
Bulk transport**

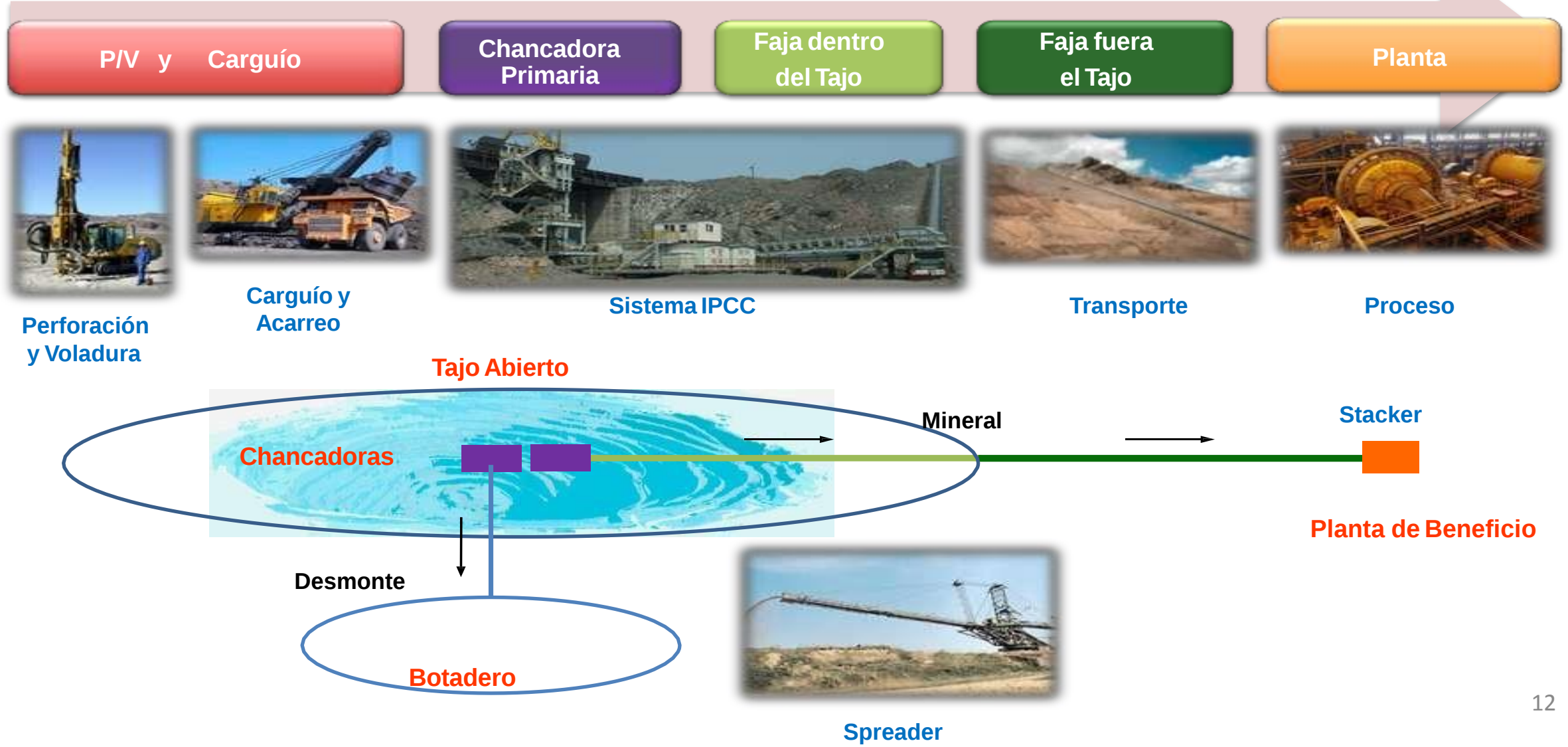
Antecedentes
y experiencia
local

Ore sorting
pre-
concentración

Innovaciones
asociadas

Conclusiones

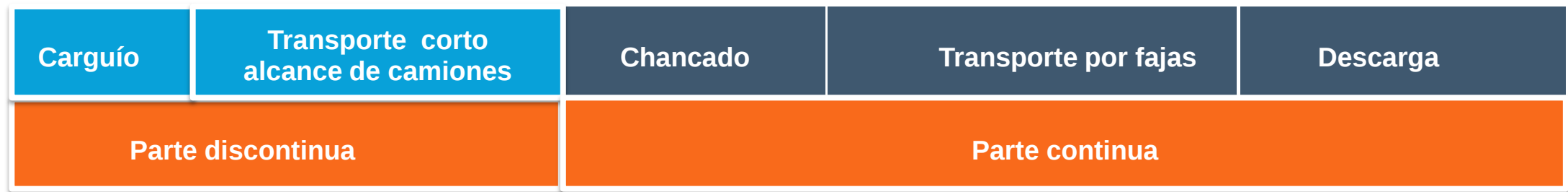
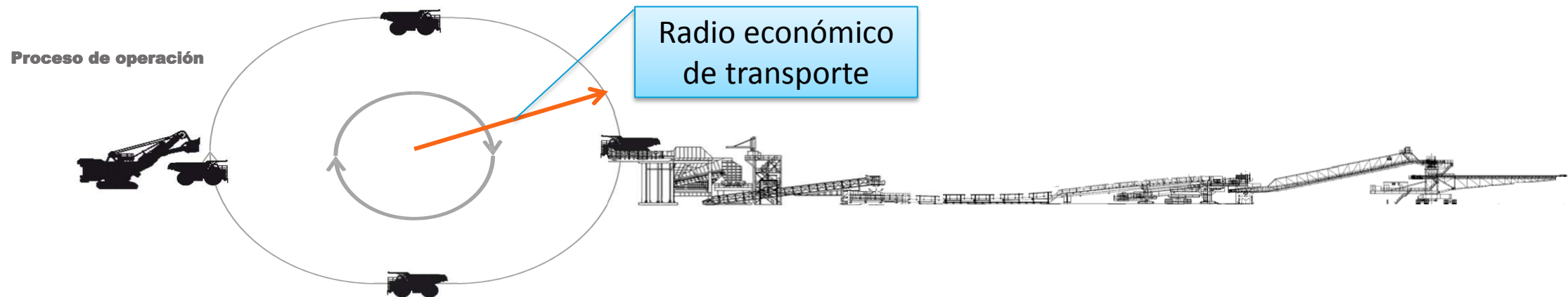
Sistema mixto incluyendo Chancadora semi-móvil en el tajo (In Pit)



Chancadora Semi-Movil en tajo y transporte mixto Camiones y fajas



Chancadora Semi-Movil en tajo y transporte por fajas



Evacuación de estéril o desmonte



Transporte por fajas a botaderos



La descarga ordenada de los cúmulos favorece la estabilidad de los botaderos

Incremento de las flotas de equipos de mina

Low Intensity High complexity

20,000 tph

High Intensity
Low complexity

Depth Below Surface

250m

500m

750m

1000m

1250m

~10 trucks

?

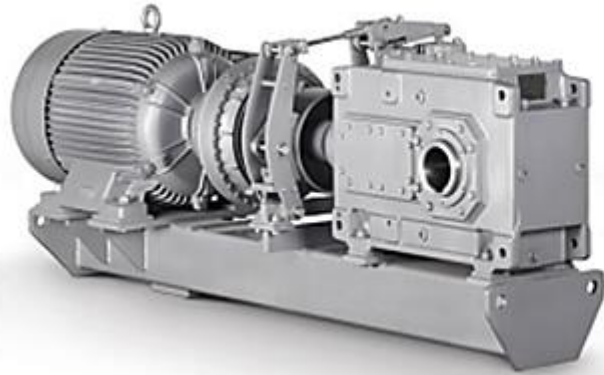


20x



ANTECEDENTES Y EXPERIENCIA LOCAL

Introducción de sistemas de accionamiento “Gearless” para fajas transportadoras



Conventional
(Courtesy Image by Siemens)

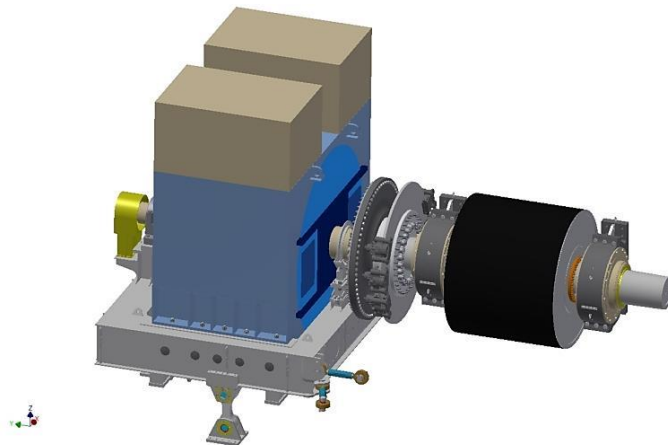
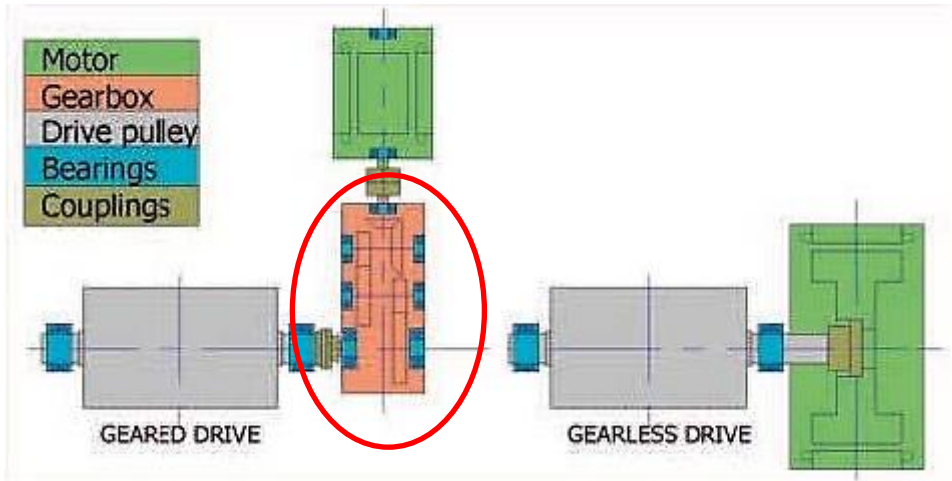


Gearless
(Courtesy Image by Siemens)



FusionDrive®
(Courtesy Image by DB Santasalo)

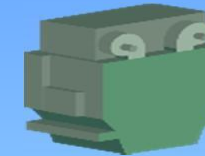
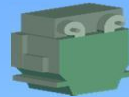
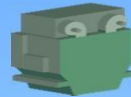
Accionamiento sin engranajes para fajas transportadoras



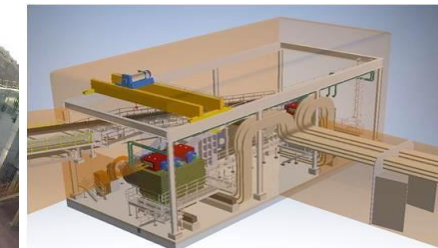
Gearless Conveyor Drive - Evolución

Strong partnership between thyssenkrupp & Siemens

SIEMENS
Ingenuity for life



	Antapaccay	Prosper Haniel	Las Bambas	Escondida OGP1	Oyu Tolgoi	Julong Copper	Cuajone
Country	Peru	Germany	Peru	Chile	Mongolia	China	Peru
Site Elevation	4,100m	60m	4,000m	3,050m	1,200m	5,000m	3,500m
P _{install}	2 x 3,800 kW	2 x 3,200 kW	4 x 4,400 kW	5 x 5,000kW	8 x 5,500kW	2 x 6000kW	2 x 6,000kW
year	2012	1985	2015	2015	2019/2020	2018/2019	2017
nominal torque	576kNm	631kNm	637kNm	774kNm	942kNm	1023kNm	1042kNm
nominal speed	63rpm	47rpm	66rpm	62,5rpm	57rpm	56rm	55rpm
mass	43,6t	45,5t	52,5t	58t	80t	80t	80t



Faja “Overland” de Minera antapaccay



**Longitud 6.8 Km
Chancadora primaria
En Antapaccay
a
Planta en Tintaya**

Definición de disponibilidad utilizada para las unidades Gearless en Antapaccay



- Pérdida de producción en caso de tiempo de inactividad: > 100.000.- USD
> El tiempo de actividad es primordial
- Operación: 24h / 365d = 8760 hr / año
- Solo sistema de transmisión Gearless
- Mantenimiento correctivo +
Mantenimiento preventivo
(hecho durante el mantenimiento
de transportador / planta concentradora)

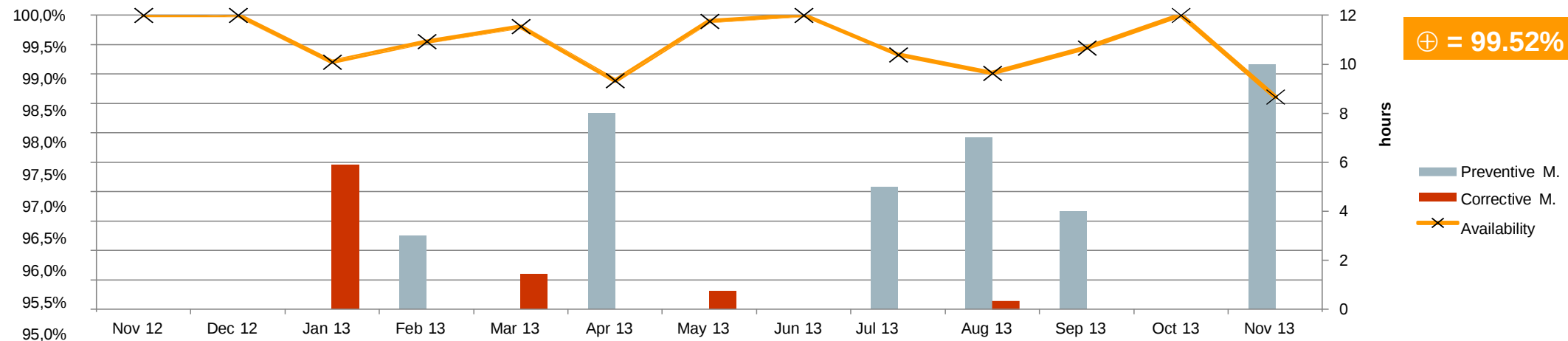


$$Availability < \frac{8760 - (\text{Corrective} + \text{Preventive} - \text{Maintenance GD})}{8760} \quad h/y$$

Disponibilidad de faja con el sistema Gearless

Antapaccay Overland Conveyor – 2 x 3.8 MW

SIEMENS
Ingenuity for life



Detailed failure logbook

Months	Hours	Corrective Maintenance - Description
January-13	5,90	Stoppage of drive due to Profibus communication failure
February-13	0,00	
March-13	1,42	Stoppage of drive due to signal failure of air gap sensor
April-13	0,00	
May-13	0,75	Stoppage of drive as emergency pull cord on the right side activated
June-13	0,00	
July-13	0,00	
August-13	0,33	Stoppage of drive as different operation modes on the (2) drives selected; DCS changed to remote operation

Faja “Overland” en Las Bambas



**Longitud 5 Km
Chancadora primaria
a
Planta concentradora**

Faja “Overland” en Mina Cuajone SPCC



**Longitud 6 Km
Chancadora mina
a
Planta “Botiflaca”**



BULK ORE SORTING

Pre-concentración de grandes volúmenes de mineral primario a granel por clasificación por su contenido fino o ley

¿En que consiste la clasificación de minerales a granel?

- La clasificación de mineral a granel es una tecnología de pre-concentración en la que se separan por medio de un sensor grandes volúmenes de ganga estéril traslada por una faja transportadora cargada con mineral bruto con una ley medida o inferida por geología. Con la clasificación del mineral a granel, el mineral que anteriormente no calificaba para el procesamiento puede incrementar su ley, permitiendo su procesamiento económico mejorando el aprovechamiento de los recursos. Se puede extraer más metal valioso del recurso mientras que la planta de procesamiento trata menos toneladas con un mineral con ley de cabeza mas alto.
- La clasificación de mineral a granel también puede utilizarse para separar diferentes tipos de mineral para tratar en diferentes rutas de proceso, o para reducir la dilución y la pérdida de mineral en las operaciones mejorando el control de ley. Es una forma eficiente de lidiar con las incertidumbres de leyes, particularmente cuando la complejidad de la geología de la mina dificulta la estimación de la ley. Esto ayuda a alcanzar la ley de corte planificada a la operación y optimizar la extracción del recurso.

Situación de la
minería actual

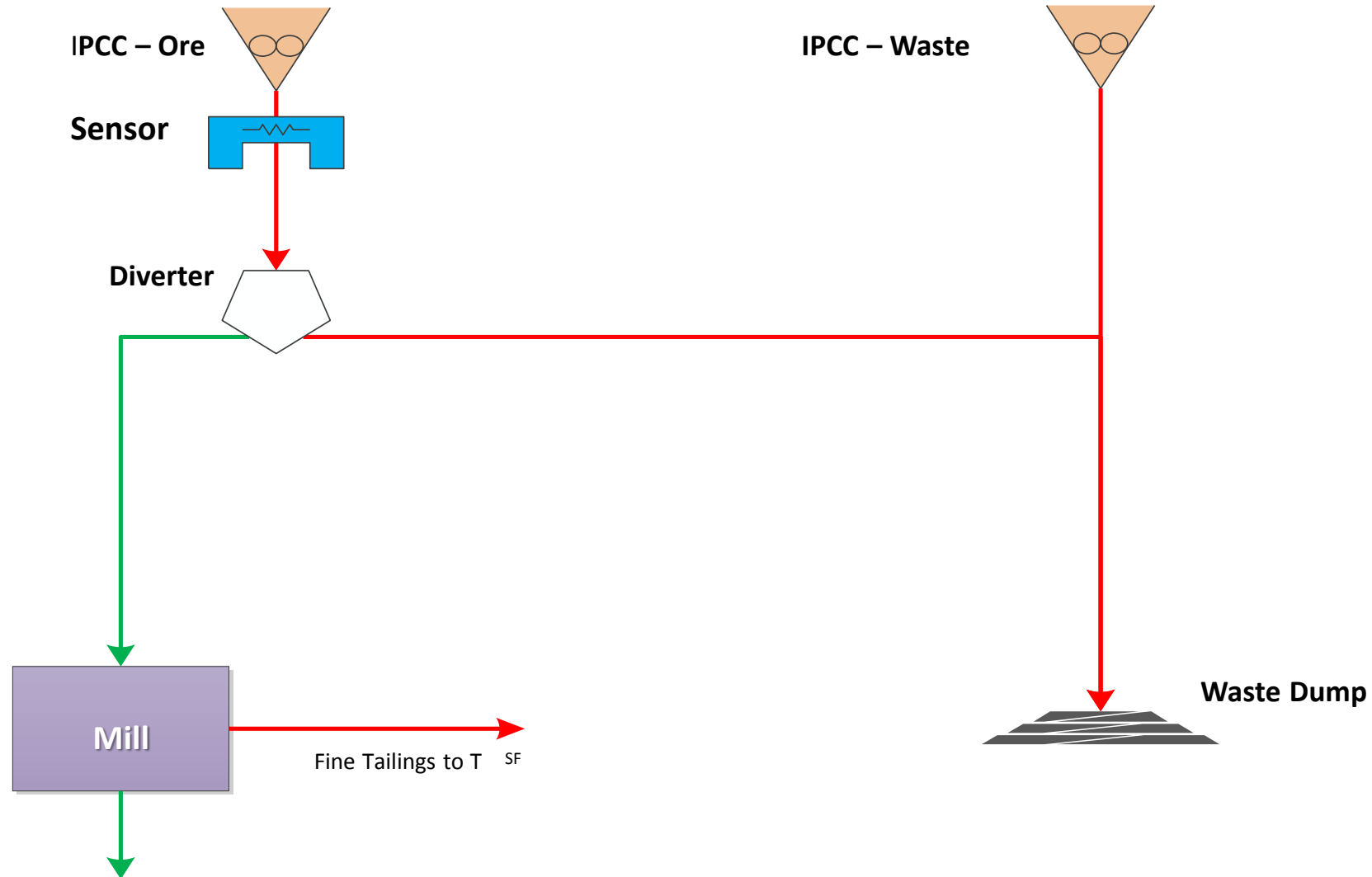
Bulk mining &
Bulk transport

Antecedentes
y experiencia
local

Ore sorting
pre-
concentración

Innovaciones
asociadas

Conclusiones



Bulk Ore Sorting

Situación de la
minería actual

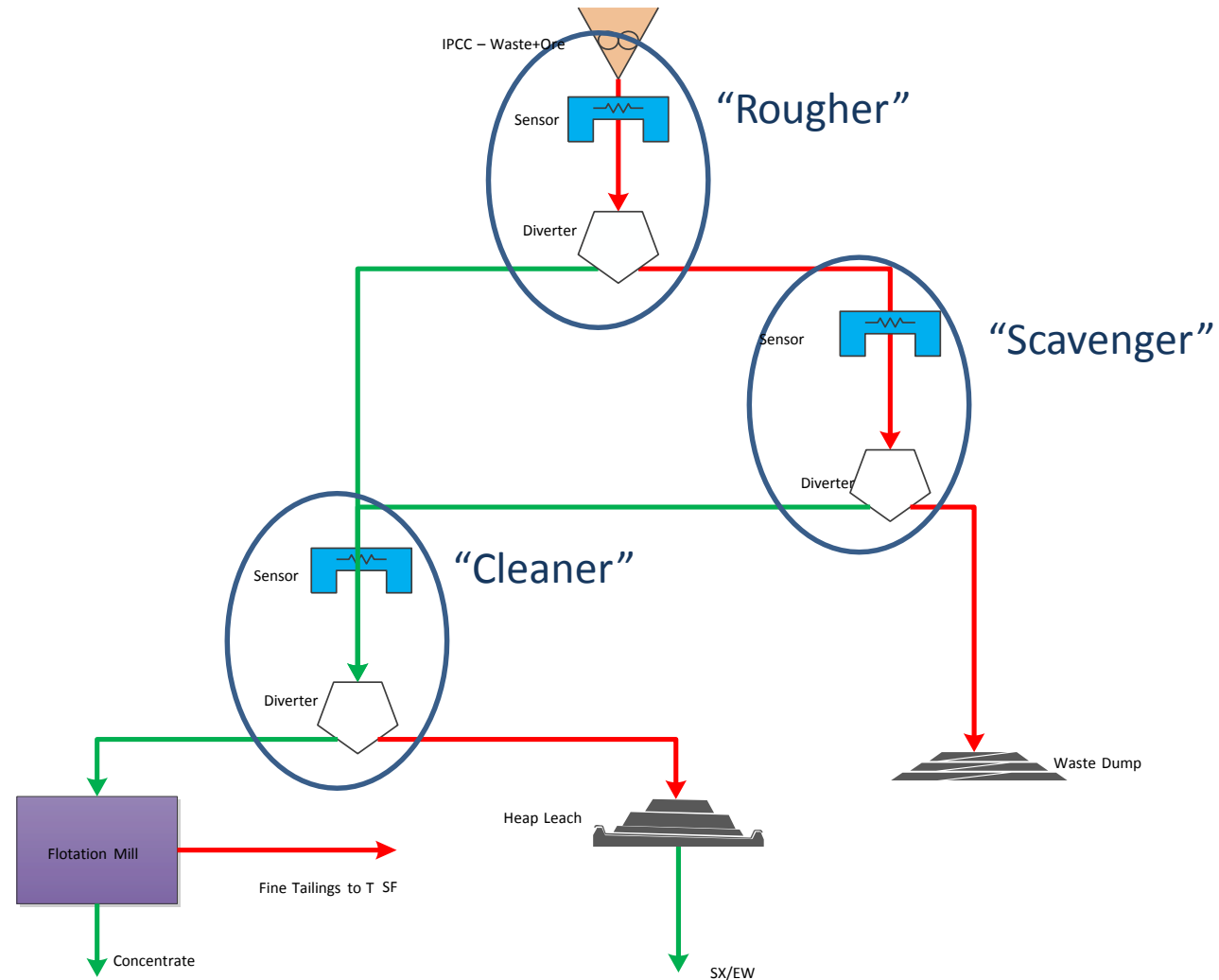
Bulk mining &
Bulk transport

Antecedentes
y experiencia
local

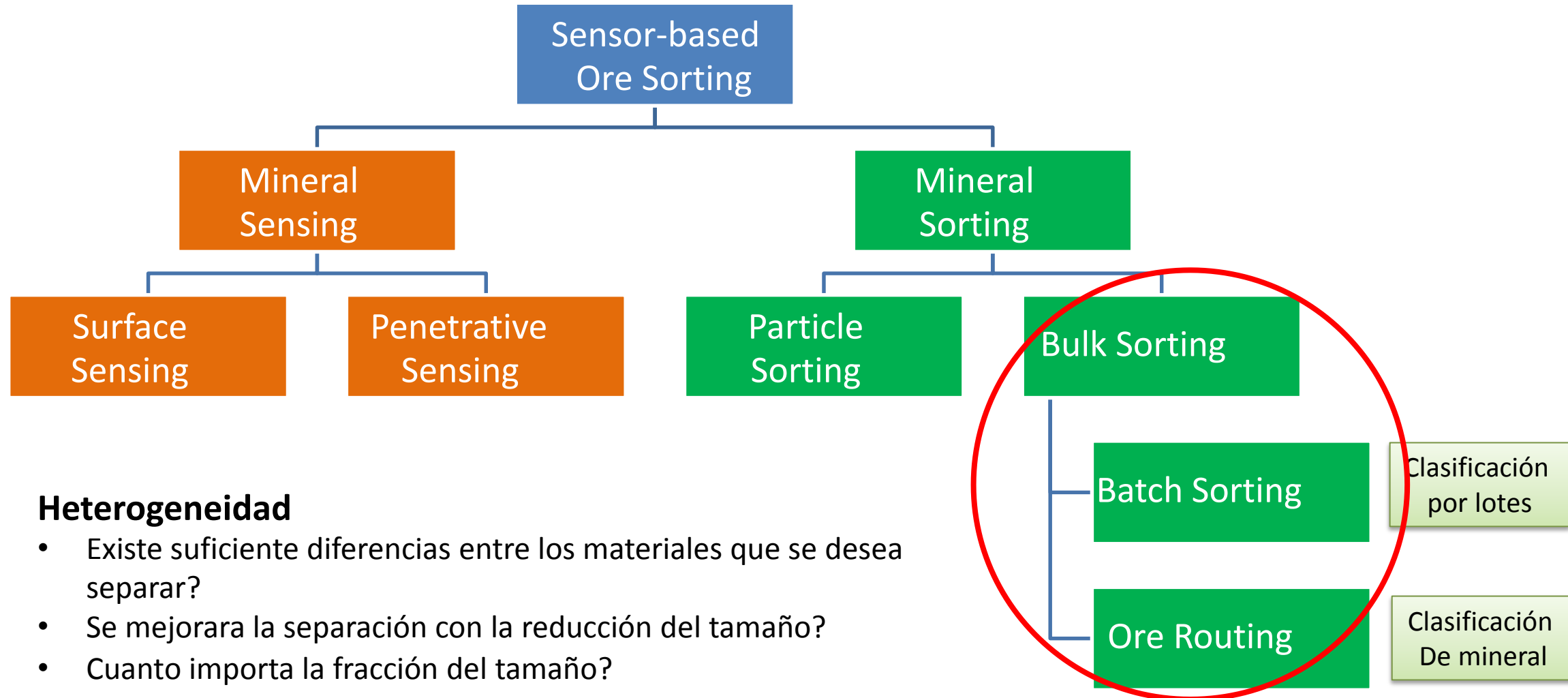
Ore sorting
pre-
concentración

Innovaciones
asociadas

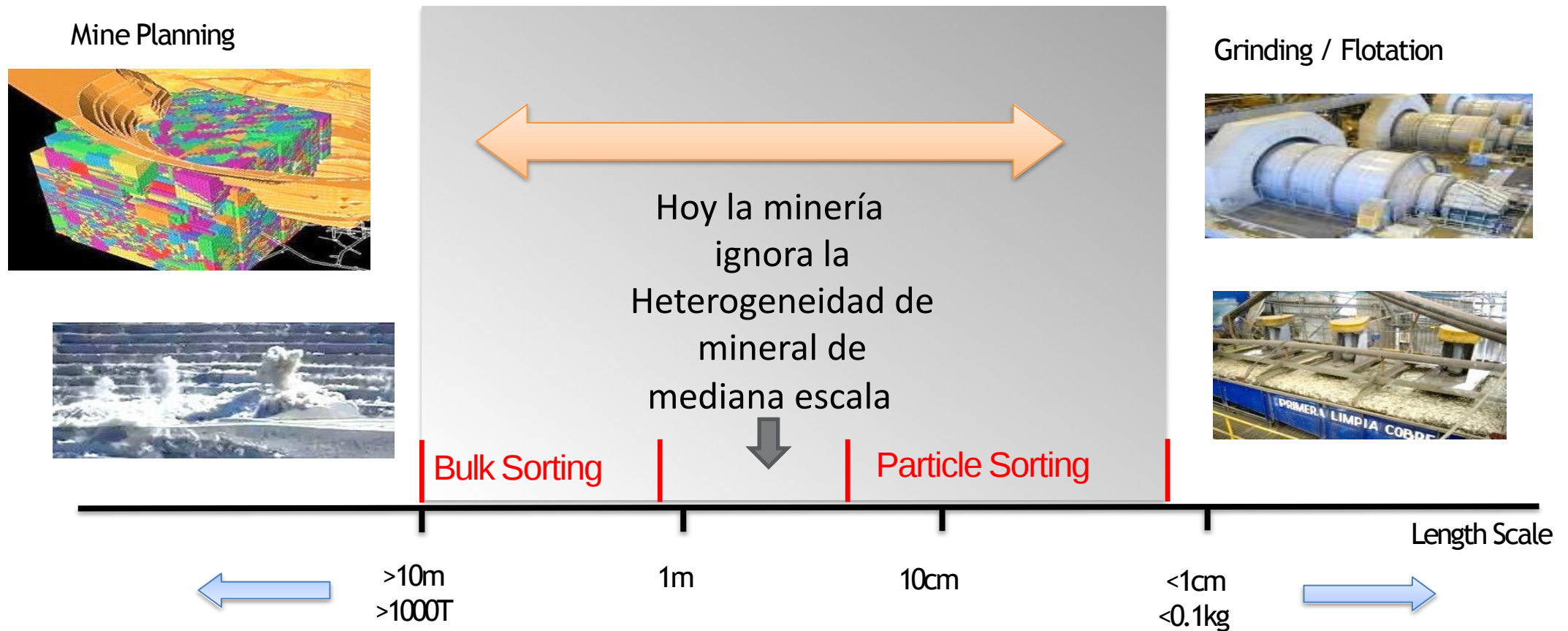
Conclusiones



Terminología de clasificación por Bulk Sorting



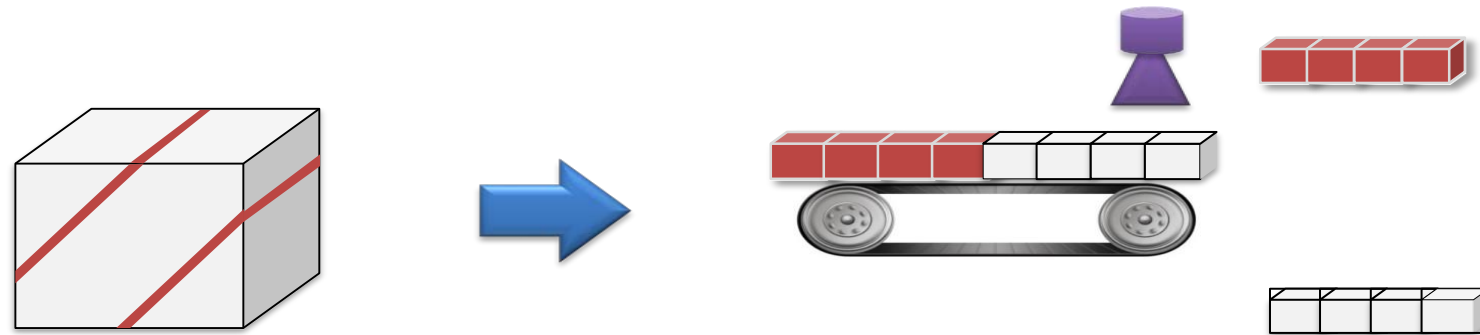
Heterogeneidad / Oportunidad en cada longitud de escala



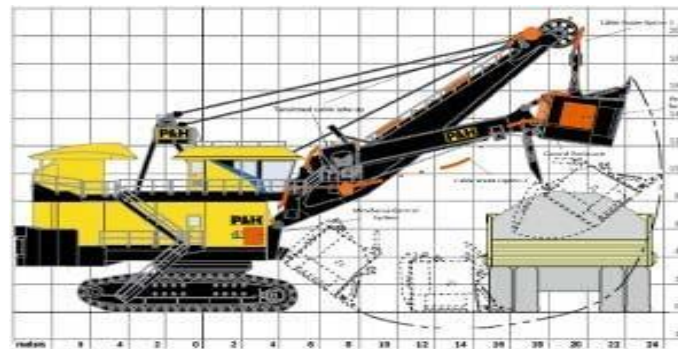
Bulk Sorting (Clasificación de material a granel)

Bulk Sorting

- Con fajas

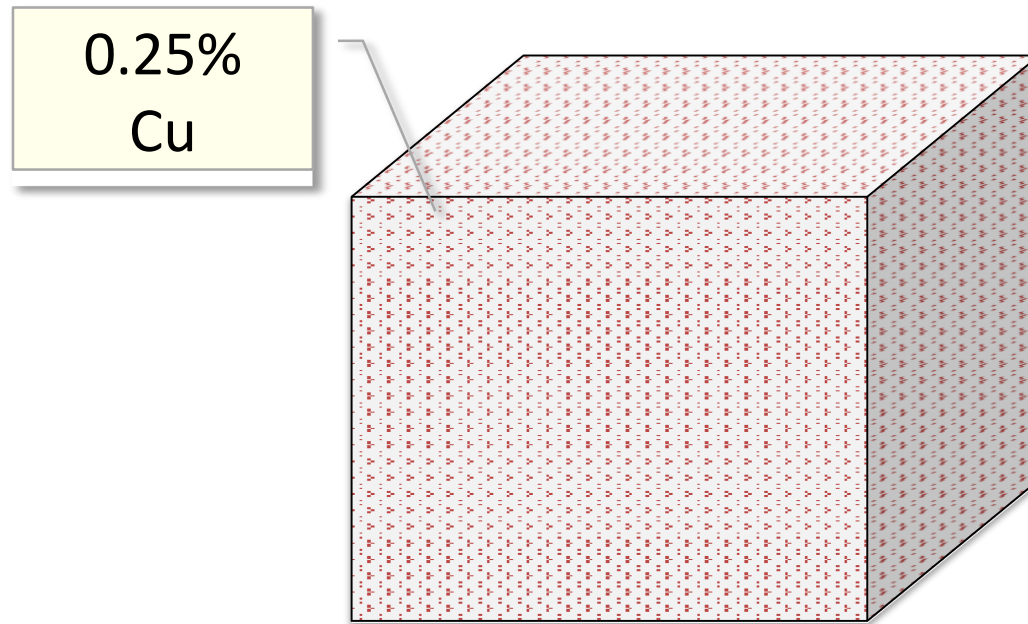


- Con la pala

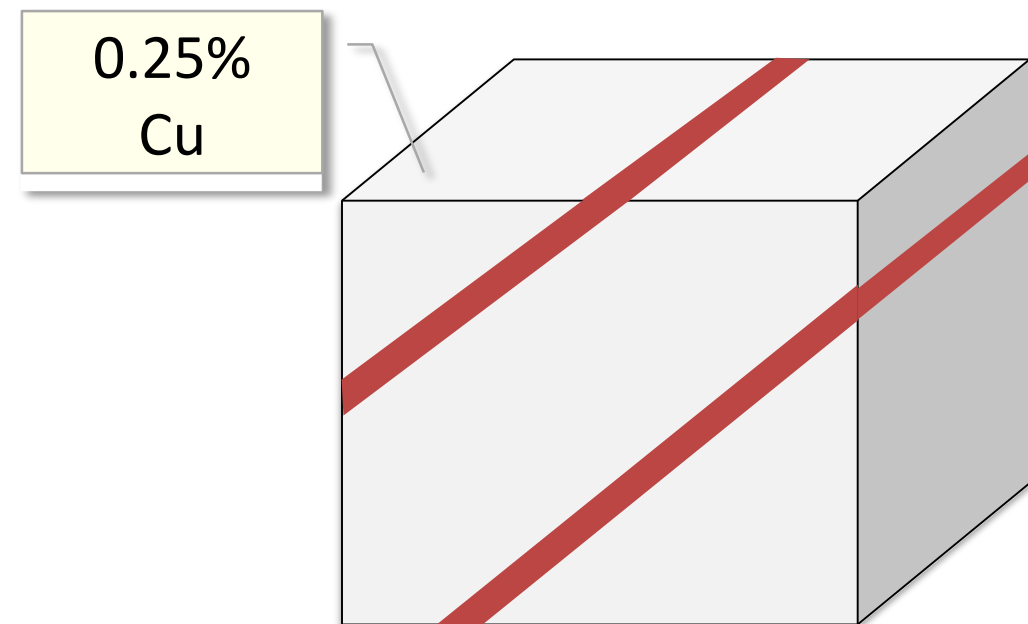


From MineSense

Heterogeneidad del mineral



Homogeneos

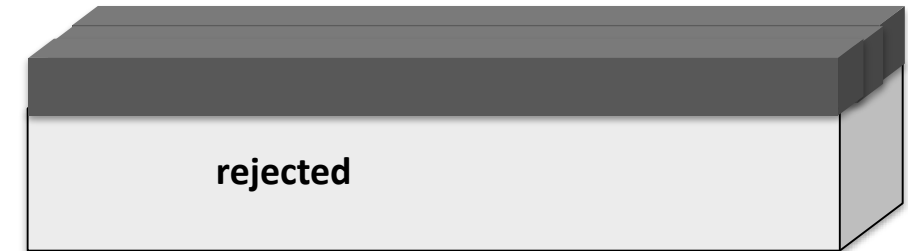
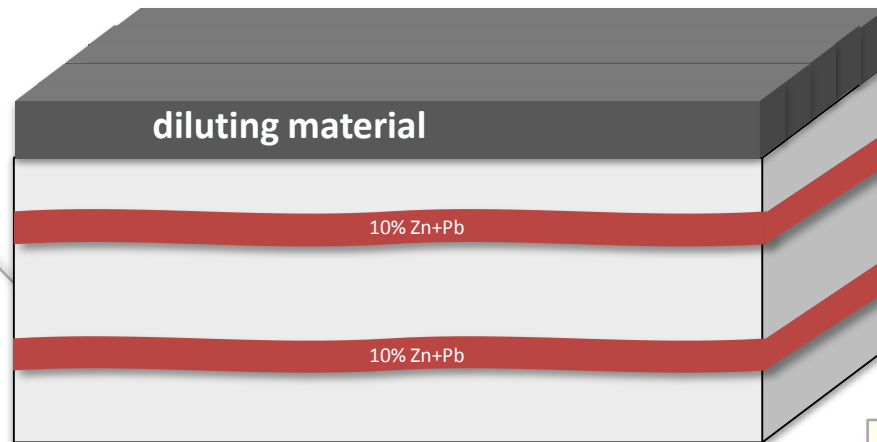


>2% copper in barren matrix

Heterogéneos

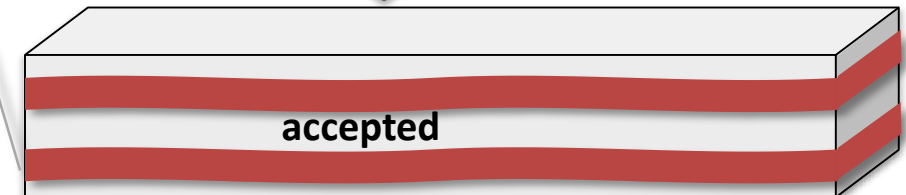
Pre-Concentración – Rechazo de estéril

A combination of in-situ heterogeneity and dilution



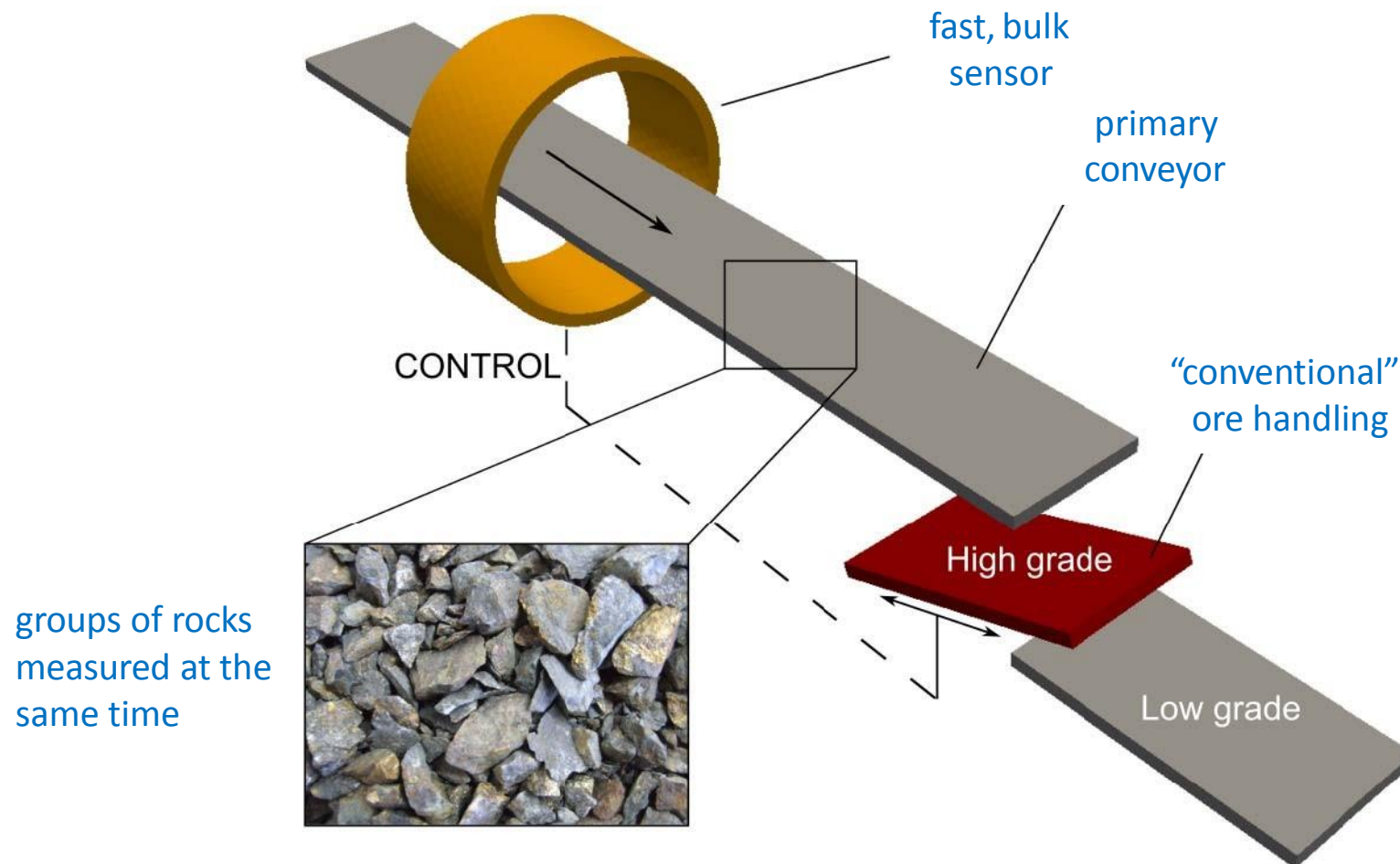
pre
concentrate

>3%
Zn+Pb



40 to 50% mass
>90% metal

Bulk ore sorting - Clasificación veloz de mineral fragmentado

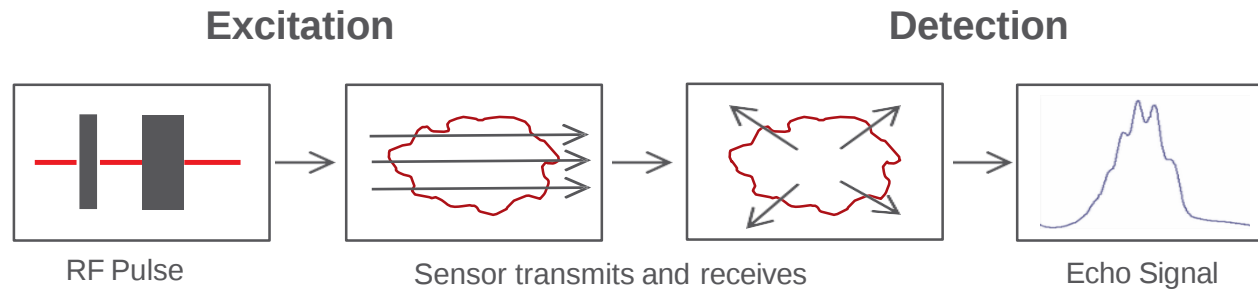


Existen diferentes tecnologías para sensor minerales

Sensor Type	XRF, XRD, Laser, Near Infra-Red, Colour	X-Ray	PGNAA*	Magnetic Resonance
Measures / Senses	Composition, Colour	Density	Elemental Composition	Mineral Composition
Material Top Size	250mm	150mm	300mm	300mm
Material Bed Depth	Single particle	Single particle	Up to 350mm	No restrictions
Feed Rate (tph)	Up to 80	Up to 150	Limited by measurement time	Up to 5,000
Sorts	Individual particles	Individual particles	Large Pods	Pods (1 – 10 tonnes)
No extra prep (wash, etc)	✗	✓	✓	✓
Measures all material	✗	✗	✓	✓
Accurate grade estimate	✗	✗	✓	✓
Instantaneous (<2s) result	✓	✓	✗	✓
No health and safety issues	✓	✗	✗	✓
Single calibration only	✗	✗	✗	✓

*Prompt Gamma Neutron Activation Analysis Rayos Gama Instantáneos de Activación Neutrónica (PGNAA).

Tecnología de Resonancia Magnética

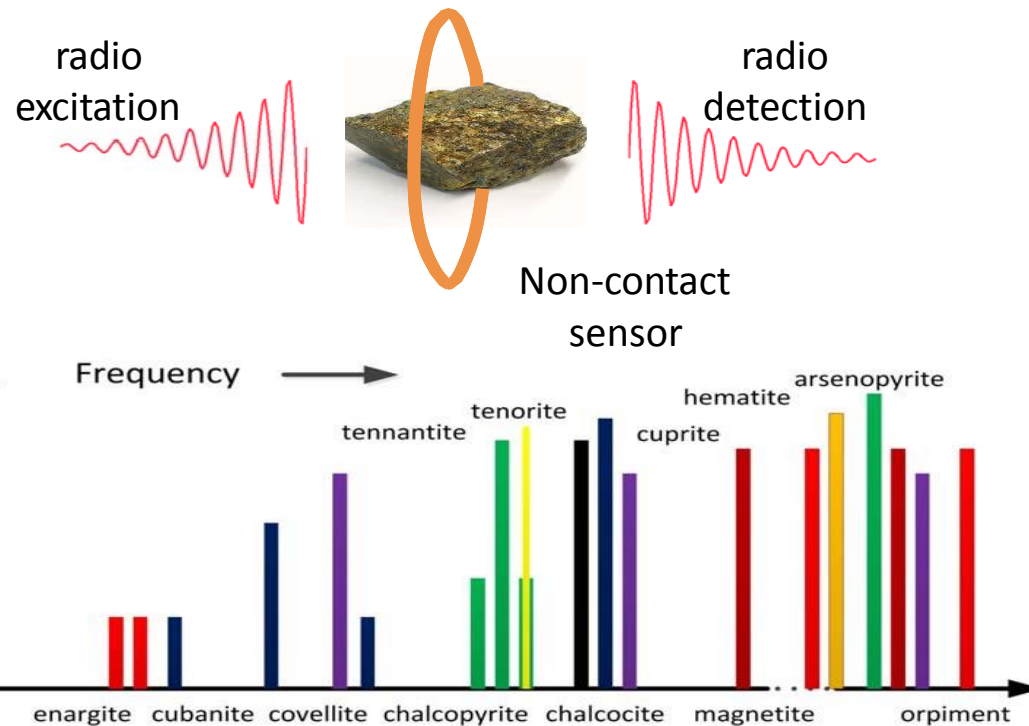


Source: Bennett et al., *Minerals Engineering* (2009)

Mineral	Sensitivity
Chalcopyrite	High
Cubanite	High
Covellite	Medium
Chalcocite	Medium
Enargite	Low
Tennantite	Low
Cuprite+delafossites	High
Tenorite	Low
Arsenopyrite	High
Orpiment	High
Realgar	High
Lollingite	High
Niccolite	Medium
Hematite	High (texture dependant)
Magnetite	High
Maghemite	High
Bismuthinite+others	Medium
Stibnite+others	Medium

Copper Bulk Sorting: Magnetic Resonance (MR)

Clasificación de cobre a granel por Resonancia magnética (RM)

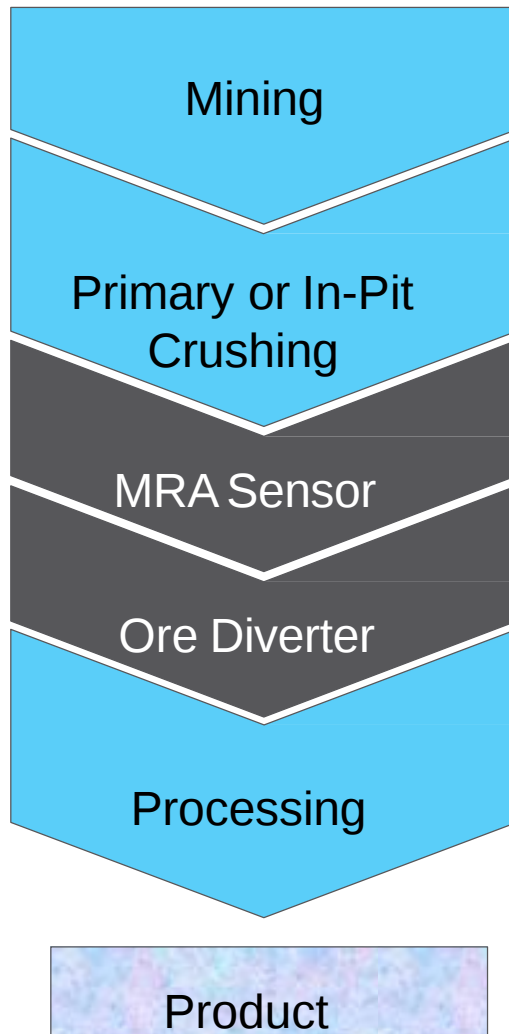


Radio Spectroscopy (MHz band)

- Related technology to MRI
- Good penetration of radio waves into and out of rock
- Mineral specific response (not elemental)
- Excellent, robust detection limits
- Cu, Fe, As minerals favoured

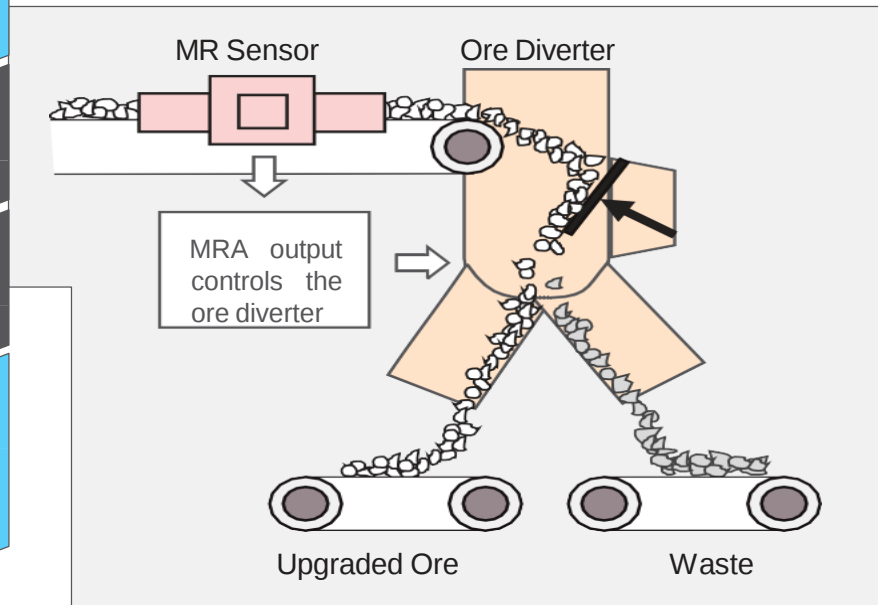
- Already at **TRL 6** for on-conveyor chalcocite detection
- Existing CRC Centre funded project to enhance MR technology for covellite detection (completion March 2017)

Descripción general de Ore sorting por resonancia magnética



El sensor de MR mide la ley de mineral triturado que se extrae de la mina y elimina selectivamente los fragmentos del material por debajo de una ley de corte para producir una alimentación de mayor ley y menor tonelaje.

El sensor ha sido diseñado para instalarse sobre una faja transportadora y mide con precisión la cantidad de un mineral objetivo dentro de la cámara del sensor. Esta información se combina luego con los datos de una balanza de la faja transportadora para calcular la ley del material separado..



Características de aplicación

- Para mineral sin pre-tratamiento o lavado
- Para fragmentos de hasta 300 mm de diam
- Las lecturas se pueden tomar tan rápido como cada 2 segundos
- **Capaz de procesar hasta 5,000tph por faja**
- Calibración individual durante la instalación

Los fragmentos de mineral que caen por debajo de una ley mínima especificada por el usuario, se desvían a una faja de rechazo o reserva. Cuanto más variable sea la ley de la alimentación, metro por metro (mayor heterogeneidad), más eficaz será el clasificador en la mejora del flujo de material. 40

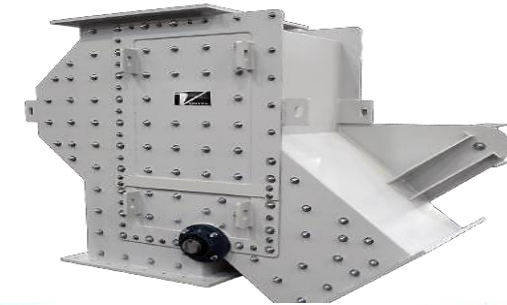
Equipamiento de un sistema de bulk sorting

Unidad sensor MR

- Se adapta fácilmente a las fajas transportadoras existentes
- El equipo se transporta fácilmente en un container mediano
 - » Fuente de alimentación
 - » Tablero lógico y almacenamiento
 - » Comunicaciones
- Compatible con corriente de 220V - 1KV de potencia
- No hay riesgos de salud y seguridad para el personal

Manejo de Materiales y Desviador (Diverter)

- Diseñado para uso con fajas transportadora estándar
- Diseño variable determinado por la aplicación
 - » Tamaño: basado en el ancho de la faja y sus características
 - » Tarea - mineralogía y velocidad de avance
 - » Configuración - restricciones de espacio y costos de capital



Bulk sorting - Rendimiento

El rendimiento de un equipo de sorting de RM fue calculada usando la data obtenida en una mina subterránea con método Block Caving en un periodo de 18 meses

Sensibilidad a la mezcla

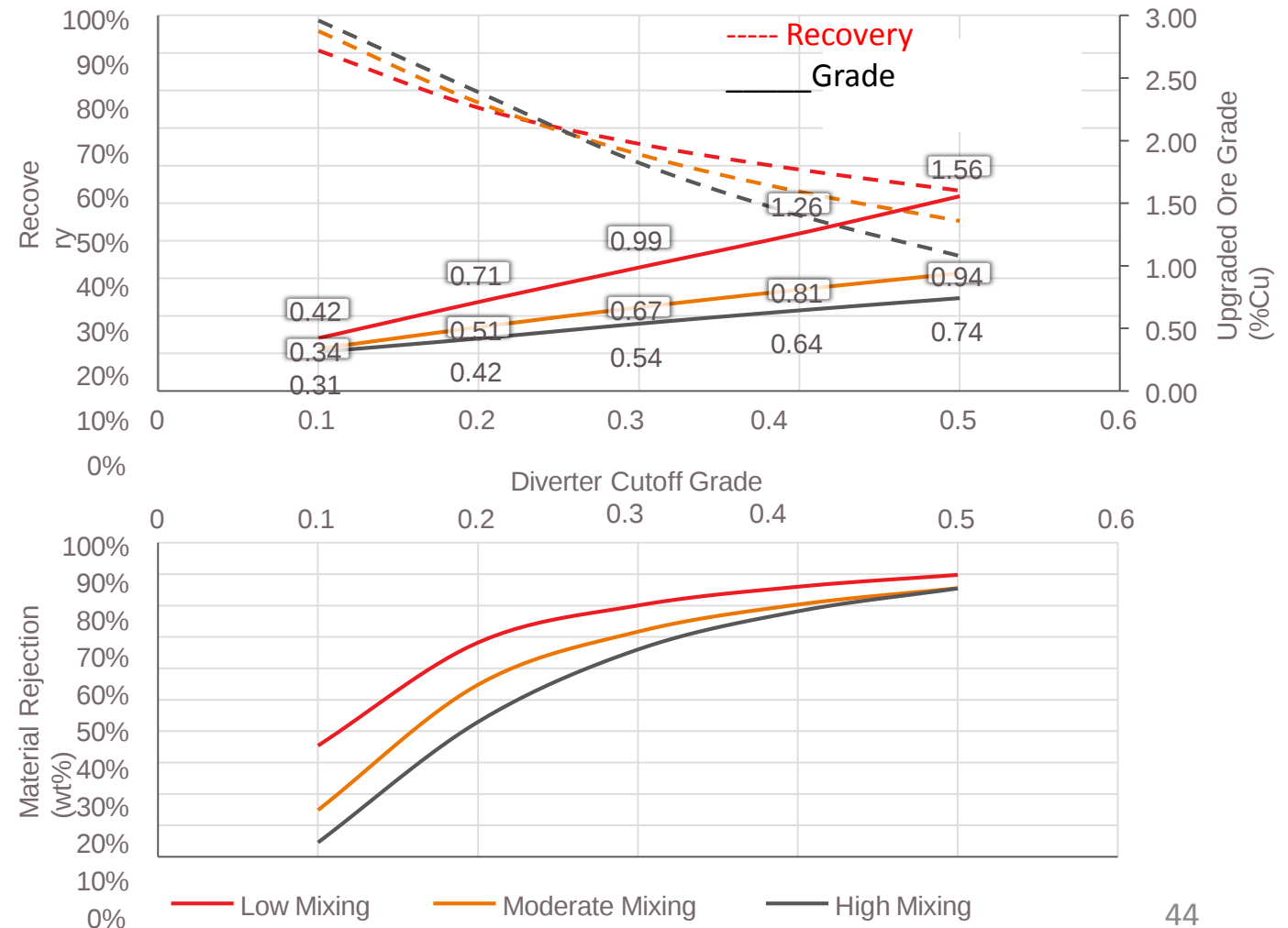
En los gráficos se muestra como mezcla "Baja", "Moderada" y "Alta", la clasificación por MR es más efectiva cuando la variabilidad de ley presente en el yacimiento se conserva en el flujo de mineral.

En el ejemplo mostrado se tomaron flujos de mineral de una mina subterránea donde no es posible evitar la mezcla de mineral de varias fuentes:

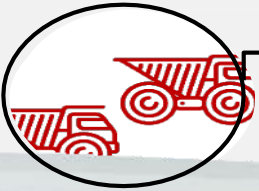
- Mezcla en el proceso de minado
- Mineral que vienen de los puntos de carguío
- Se dispuso de dos chancadoras que alimentaban a una sola faja de producción

El sensor de Resonancia Magnética fue instalado en superficie para clasificar mineral de las tres fuentes que confluyeron en una sola faja cuyo material fue sensada por el sistema de sorting

Cadia MR installation data (0.30%Cu feed grade)



Beneficios del Bulk ore sorting en minería



Mejora la rentabilidad de tajos existentes

- Rechaza el estéril antes del transporte
- Reduce la flota de camiones, tamaño y costos
- Revaloriza cuerpos satélites de un yacimiento

Alarga vida de tajos en operaciones maduras

- Gana valor en las reservas de baja ley o recursos de ley decreciente sin desplazar material de mayor valor

Incremento de la recuperación de mina a través de la disminución de la ley de corte

- Mineral de baja ley puede ser mejorado en valor antes de ser enviado a la planta
- La recuperación total de mina mejora sin extraer mineral de mas alta ley
- Reduce el ratio desmonte-mineral y los costos asociados para obtener menor cash cost posible

Beneficios del Bulk ore sorting en procesamiento

Mejora calidad de alimentación a la planta

- Mas consistente y alta ley de mineral de cabeza entregada a planta
- Potencial para mejorar el proceso analizando características para obtener mayor recuperación

Reduce el tamaño de la planta de procesamiento

- Disminuye el costo de capital para obtener la misma cantidad de metal producido
- Elimina o reduce requerimientos de capital para proyectos de expansión manteniendo la misma capacidad inicial

Alta capacidad de producción de metal

- Mas toneladas de metal por tonelada de mineral de alimentación
- Reduce costos unitarios de procesamiento

Beneficios del bulk sorting en control ambiental y costos

○ Reduce consumo de energía

- Conminación, flotación, y lixiviación, representa el 80% del consumo de una planta.
- Menor cantidad de mineral de alimentación origina menor consumo

○ Reduce consumo de agua

- Menor cantidad de mineral en la alimentación reduce proporcionalmente consumo de agua

○ Menor cantidad de relave

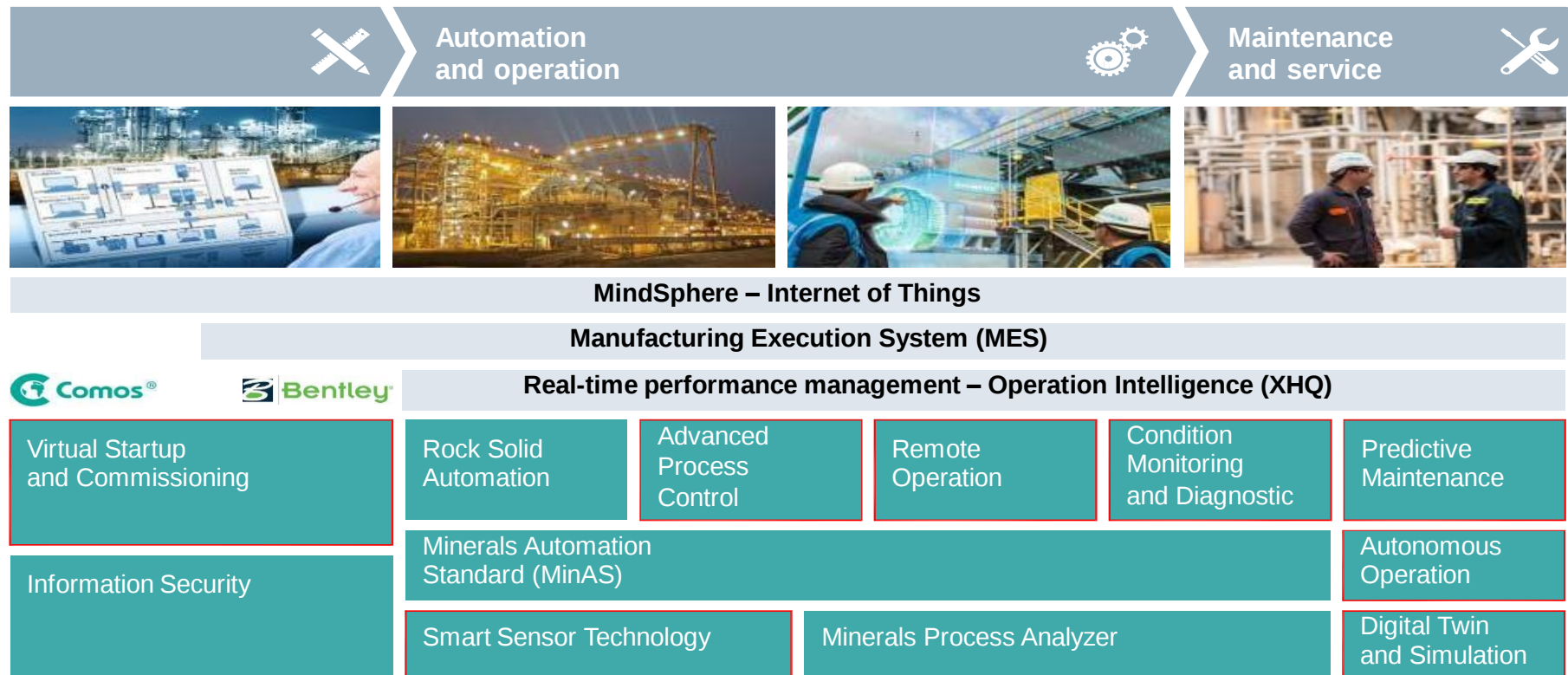
- Almacenamiento de los relaves y la rehabilitación periódica de las relaveras son considerables a lo largo de la vida de una mina
- El bulk sorting de mineral reduce el volumen del material para procesar y consecuentemente reduce las facilidades y costos de toda la operación de procesamiento

INNOVACIONES ASOCIADAS

Minería digital – Oportunidad para los sistemas IPCC



Integración sin problemas desde el diseño del proceso hasta la ingeniería en funcionamiento



Key trends and challenges

- Operational excellence through data analytics, equipment automation and asset management
- Remote, centralized operations of global facilities
- Standardized modular design with open automation
- Increased focus on environmental protection

Faja transportadora de alto ángulo tipo Sandwich,

Sandwich Conveyor for Copper Mine, Eastern Europe

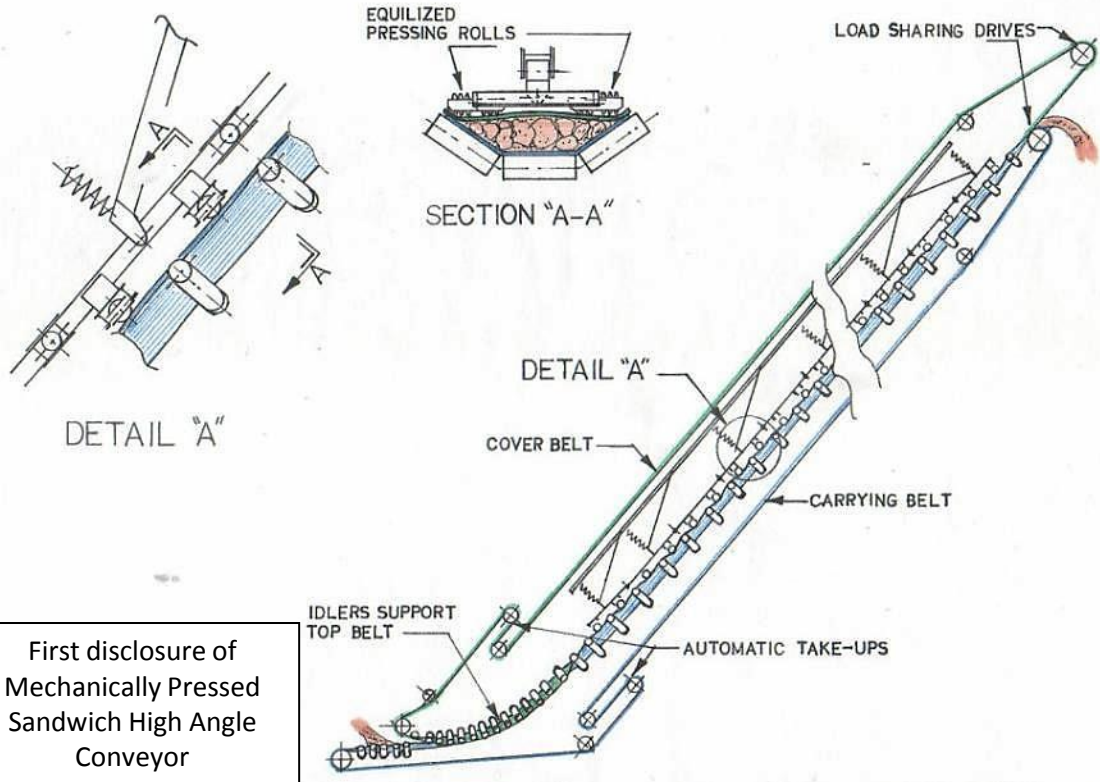
Material	- Copper Ore
- Density	- 2.08 t/cu-m (130 PCF)
- Size	- To 250 mm (10") minus
Conveying Rate	- 4000 t/h (4409 STPH)
Conveying Angle	- 35.5 degrees
Belt Width	- 2000 mm (78.7")
Belt Speed	- 2.85 m/s (561 FPM)
Lift	- 93,500 mm (307')
Drives	
- Top Belt	- 450 kW (600 HP)
- Bottom Belt	- 2x450=900 kW (1200 HP)



Majdanpek IPCC System, Serbia

- Impidió triplicar la flota de camiones (10 camiones eliminados)
- Se eliminó la necesidad de construir rampas de 4 km para transporte, de los cuales 3,5 km serían de constante ascenso
- Ahorro de US \$ 12 millones por año

Faja transportadora de alto ángulo tipo Sandwich,



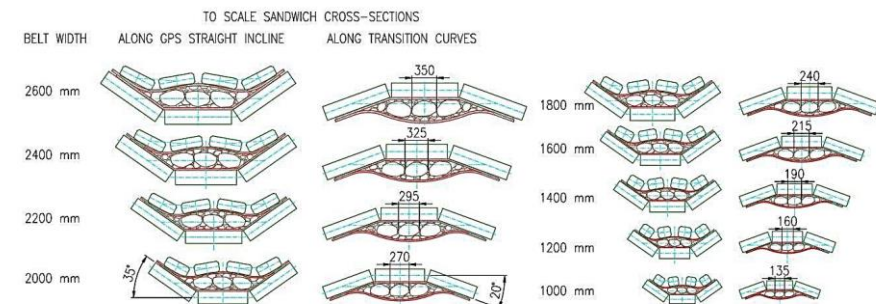
General: DSI Sandwich Belt High Angle Conveyors use all conventional conveyor equipment including smooth surfaced rubber belts that can be continuously scraped clean. They feature the operating characteristics of conventional conveyors; high reliability, low O&M costs

Capacity: Unlimited; with wide belts at typical belt speeds rates can exceed 10000 t/h

Material Size: Large belts can handle large lumps, 300mm +

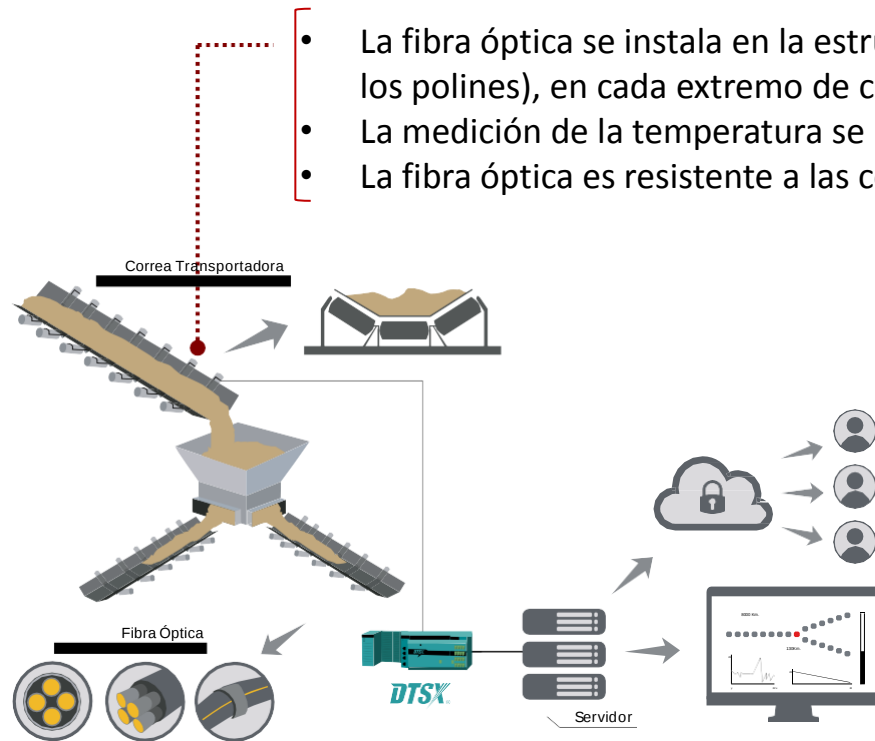
Belt Speed: Recommended belt speeds are same as conventional conveyors and may exceed 5m/s in some industries

Belt Width: Unlimited; belt width is available to 3000mm wide and beyond



Monitoreo a distancia de condición de polines de faja transportadora

- La fibra óptica se instala en la estructura mecánica de la faja transportadora (siguiendo la forma de la instalación de los polines), en cada extremo de cada polín,
- La medición de la temperatura se realiza para determinar el estado operacional de cada polín a lo largo del tiempo.
- La fibra óptica es resistente a las condiciones ambientales (impacto mecánico, radiación UV y otros)



Continuous conveyor belt idler monitoring.



Specific idler status identification.



Can be connected to enterprise ERP (SAP or Maximo) to inspection, maintenance or reparation tasks.



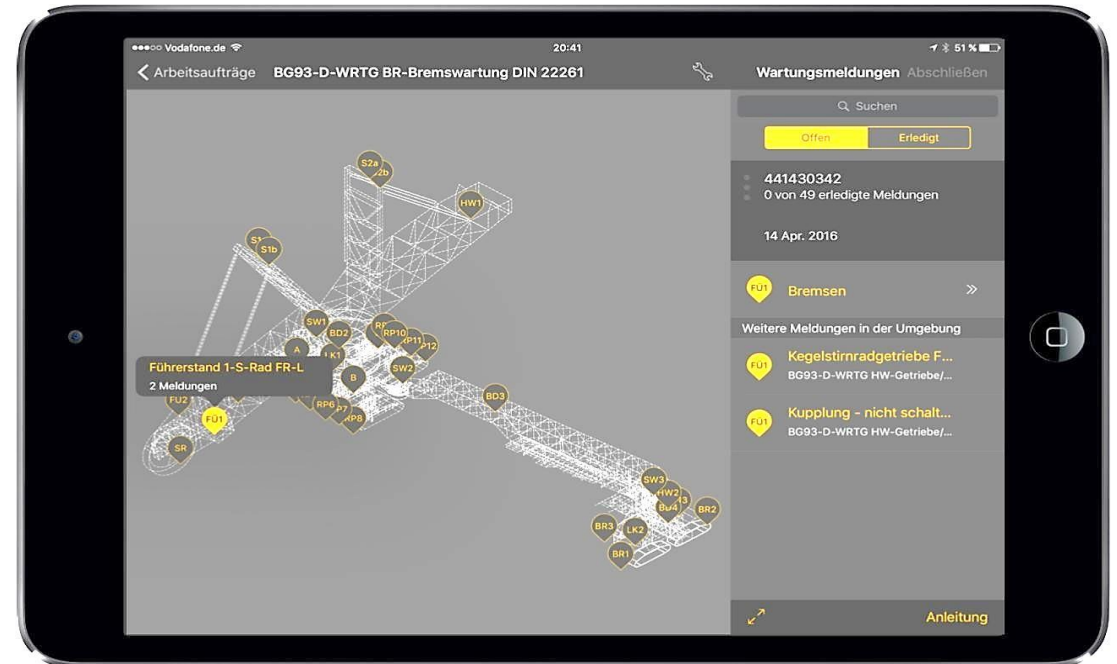
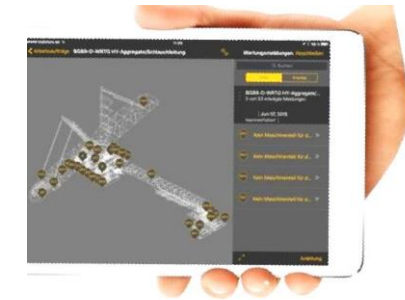
Incorporated trends and alarms.



Simplified and friendly user interface.

APP para ingenieros y técnicos de mantenimiento

- Aplicación implementada para personal supervisor en la operación usando iPads
- Centrado en el usuario! ¿Qué necesitan los empleados en el campo y no qué necesita el sistema?
- Monitoreo en tiempo real del estado de los activos
- Reducción de tiempos de inactividad de mantenimiento
- Basado en estándares de SAP, es fácil de transferir a otros objetos de mantenimiento y activos



CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- La situación global de industria minera justifica el cambio
- Transporte de material en tajos de mayor profundidad es de alto costo y el IPPC puede reducirlo
- Los sistemas de accionamiento GEARLESS revoluciona el transporte por fajas
- El Ore Sorting a gran escala es producto de la evolución de los sistemas de pre-concentración
- El “Bulk ore sorting” incrementara la eficiencia de las plantas de concentracion
- Para minerales lixiviables conformar stock piles uniformes en ley hara predecibles los resultados
- Mantenimiento de fajas y chancadoras esta facilitada por las tecnologías de monitoreo y control
- Mirando al futuro el IPCC asociado al ore sorting se presta para automatizar el minado
- El IPCC y el ore sorting contribuyen a reducir el calentamiento global y mejora las condiciones para obtener mejores niveles de seguridad para los trabajadores
- El concepto expuesto es aplicable a minas subterранеas



UTEC

UNIVERSIDAD DE INGENIERÍA
Y TECNOLOGÍA



MUCHAS GRACIAS

tantezano@utec.edu.pe



UTEC
UNIVERSIDAD DE INGENIERÍA
Y TECNOLOGÍA

