

Integración geometalúrgica MMG - Las Bambas

Poblamiento metalúrgico del bloque
geológico y desarrollo de modelo
fenomenológico.

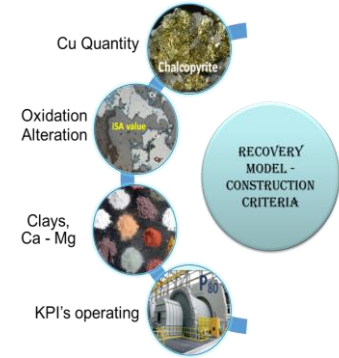
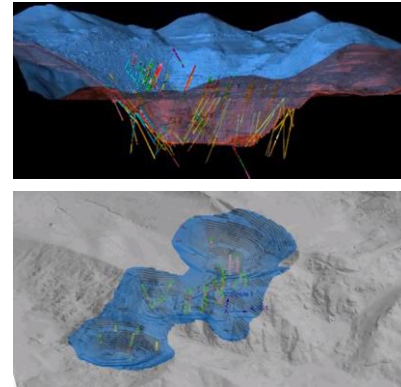
Hernan Guerrero Flores – Principal metallurgist
Septiembre, 2024



Objetivos



- Mejorar la estimación de la recuperación metalúrgica y throughput, implementando el modelamiento de la variabilidad del depósito mineral.
- Realizar la integración geometalúrgica, usando los DDH Geomet para desarrollar la estimación de respuestas metalúrgicas y el desarrollo del modelamiento fenomenológico usando data operativa de planta concentradora.
- Incrementar la confianza de la valorización económica del bloque procesado US \$/h.



Circuito Estándar	
Molino SAG	Valor
Características	
Dimensiones (pies x pies)	40' x 20'
Condiciones Operación	
Jb	15.0
Jt	25.0
Vc	70.0
Grate aperture	0.09
Ball Sizing	125
Pebble Port Aperture, mm	56 (100%)
Open Area	7%
Trommel	Valor
Cut Size, mm	12
Pebble Crusher	Valor
CSS, mm	10

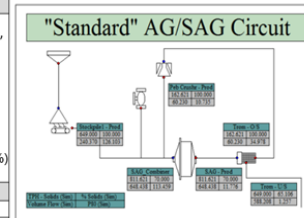


Figure 2: Flowsheet used for "Standard" AG/SAG circuit simulations

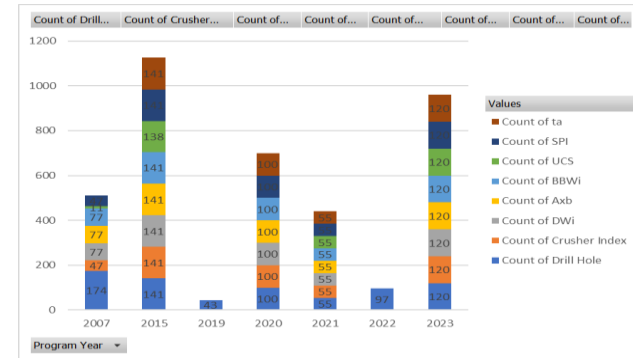
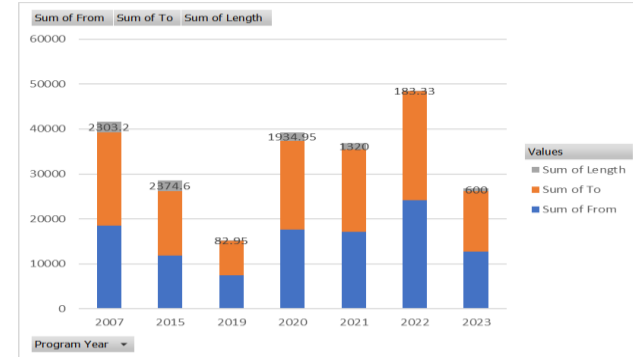
Establecer K1 y K2 para cada circuito con su respectiva condición de trabajo y granulometría.

Proceso →
$$E_{SAG} = k_1 * \left(\frac{DW_i}{SG} \right)^{k_2}$$

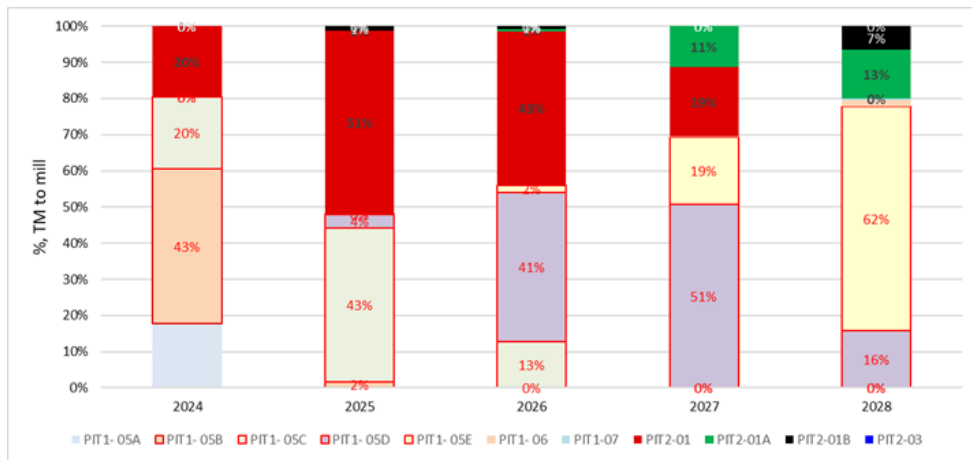
Base de datos



- Para Ferrobamba se cuenta con 730 test metalúrgicos, desde 2007 hasta 2023; con diversas pruebas de variabilidad (también algunas mezclas): conminución, flotación, mineralogía y sedimentación. Aprox se tiene perforado 8,799 mt de sondaje
- Para Chalcobamba se cuenta con 235 test metalúrgicos, 2007 y 2021; con diversas pruebas de variabilidad (también algunas mezclas): conminución, flotación, mineralogía y sedimentación. Aprox se tiene perforado 1,218 mt sondaje.



Plan geometalúrgico 4 años



El aporte de PIT02 para el 2024 es 20 %, 2025 es 52 %, 2026 es 45 %, 2027 es 30 % y 2028 es 20 %.

La representatividad de la muestra está considerada entre 1.0 a 1.4 muestras / 1 MM TM procesadas

Phases 24-28	MM TM	# Samples	variability
PIT1- 05C	27,566		28
PIT1- 05D	57,449		57
PIT1- 05E	43,195		43
	128,209		128

PIT2-01	57,074		57
PIT2-01A	13,107		13
	70,181		70

PITs	MM t	#DDH
1	128,209	128
2	70,181	70

198

Procedimiento y tipo de prueba metalúrgica

Selección de muestras

- Coordinación entre geólogo del laboratorio Geomet y equipo de Las Bambas.
- Identificación de muestras según litologías, plan minero y ley de corte.
- Estimación de las muestras requeridas según taladros disponibles y cantidad de pruebas a ejecutar.

Recepción y preparación de muestras

- Recepción de muestras.
- Registro físico de cada muestra.
- Registro fotográfico del proceso.
- Generación de reporte de recepción.
- Validación del cliente.
- Chancado controlado.
- Homogenización.
- Subdivisión de muestras.
- Generación de cargas para ensayos metalúrgicos (variabilidad y compósitos)

Caracterización química y mineralógica de muestras

- Análisis químico global para alimentaciones.
- Análisis químico por 5 fracciones de tamaños para alimentación y colas en muestras de compósitos.
- Análisis químico ICP para determinar 35 elementos en alimentación.
- Análisis DRX para identificar y cuantificar arcillas en muestras de alimentación.

Ensayos de conminución y geotécnicos

- Pruebas SMC.
- Pruebas de abrasión AI.
- Pruebas Wi Bond bolas.
- Pruebas UCS.
- RQD

Pruebas de flotación

- Cinéticas de molienda.
- Pruebas cinéticas Rougher.
- Pruebas cinéticas variando P80 (gruesos y finos).
- Pruebas cinéticas de limpieza.
- Pruebas LCT
- Ensayos de concentración magnética.

Pruebas de dewatering

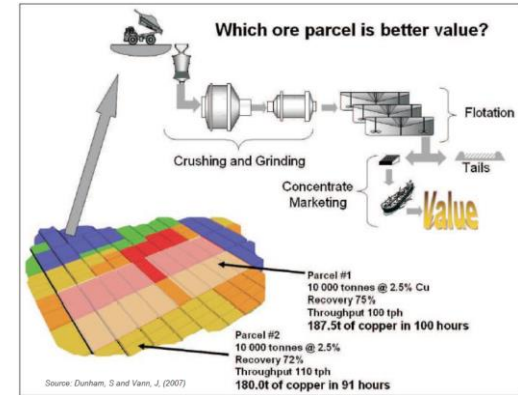
- Ensayos de sedimentación y reología para colas.
- Pruebas de filtrado para concentrados.

¿Qué modelar?

100%

I. Poblar y/ o estimar la respuesta metalúrgica en el bloque geológico.

- **Rec Cu, Rec Mo, Rec Ag, Rec Au, AxB, Dwi, Bwi, UCS, Abrasión, %piroxenos, %granates, RQD, %magnetita, %calcita: Modelo a Generar (analizando poblar CCE y Mia)**
- Definición de UGMs.



II. Producción de cobre= TPH x Ley Alimentación x Recuperación

30%

Ley Alim. → Modelo de bloques (existente)

TPH → Modelo a generar

Recuperación → Modelo a generar

Grado conc → Modelo a generar

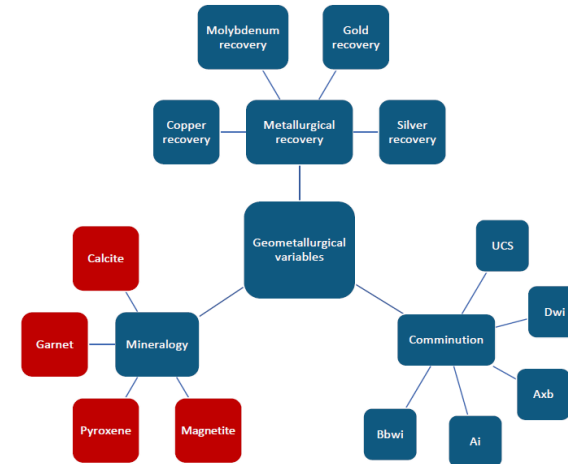
Consumo acero → Modelo a generar

**Modelo Geometalúrgico Predictivo
(MGMP)**

Poblamiento metalúrgico del bloque geológico 2024

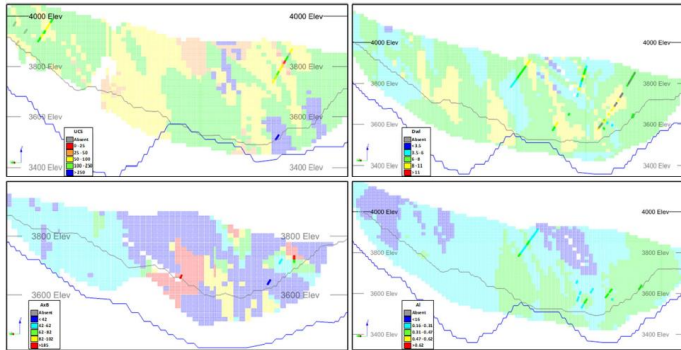
- I. Integrar variables metalúrgicas y mineralógicas en los modelos de bloques del Ferrobamba y Chalcobamba.
- II. Las variables de interés según prioridad son: 4 variables de recuperación metalúrgica (Cu, Mo, Au y Ag), 5 variables de conminución (UCS, Dwi, Axb, Ai y Bbwi) y 4 variables mineralógicas (Piroxeno, Magnetita, Granate y Calcita).
- III. Definición de unidades geo metalúrgicas en función de competencia de roca (AxB, SAG Mill) y %recuperación Cu.

UGM Final	UGM Descripción	Recuperación de Cobre		Axb (valores)	Rango de Dureza
		Valores	Descripción		
1	Buena Rec. y Material Suave	>80	Buena	>56	Suave
2	Buena Rec. y Material Moderado			38-56	Moderado
3	Buena Rec. y Material Duro			<38	Duro
4	Moderada Rec. y Material Suave	60-80	Moderada	>56	Suave
5	Moderada Rec. y Material Moderado			38-56	Moderado
6	Moderada Rec. y Material Duro			<38	Duro
7	Baja Rec. y Material Suave	<60	Baja	>56	Suave
8	Baja Rec. y Material Moderado			38-56	Moderado
9	Baja Rec. y Material Duro			<38	Duro

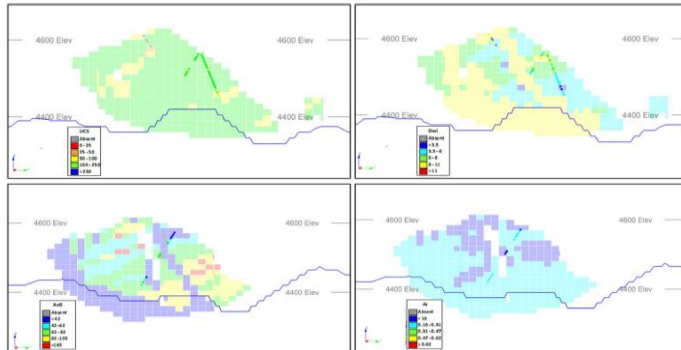


Poblamiento metalúrgico del bloque geológico 2024

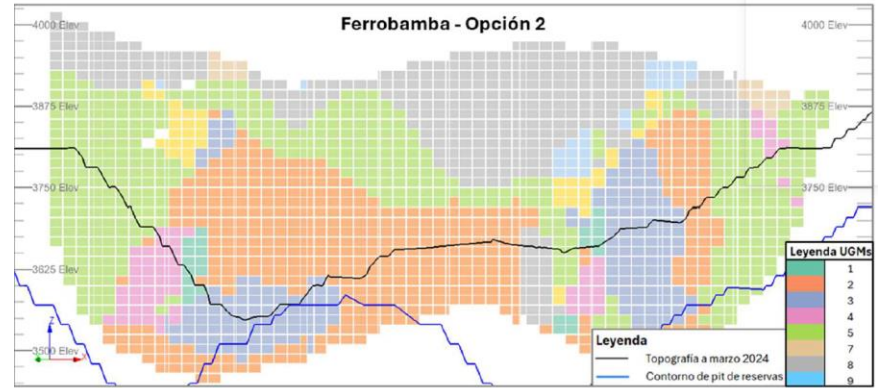
Ferrobamba VARIABLES



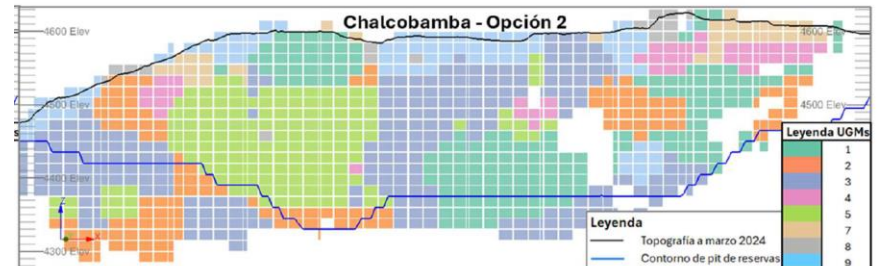
Chalcobamba VARIABLES



Ferrobamba UGM



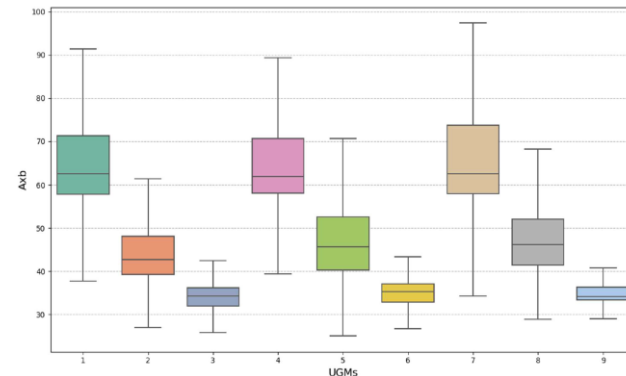
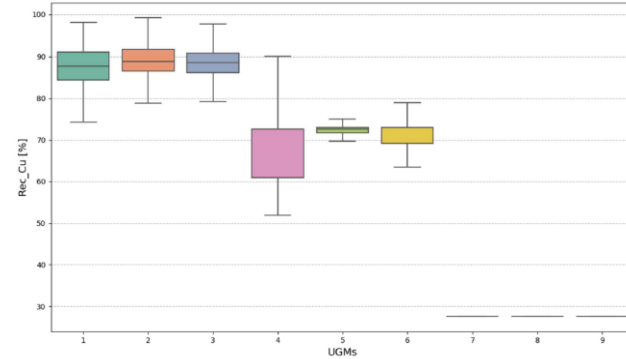
Chalcobamba UGM



Poblamiento metalúrgico del bloque geológico 2024

- I. Las UGMs 3, 6 y 9 son las más competentes a la molienda SAG, teniendo una media < 38 en AxB.
- II. Las UGMs 1, 2 y 3 tienen la máxima recuperación hasta un $>80\%$ Cu.
- III. Las UGM 1, 2, 4 y 5 son consideradas las más rentables a explotar Recuperación $> 65\%$ y AxB > 48 .
- IV. Las UGM 3 es de alta recuperación $> 80\%$ Cu, pero con competencia alta < 38 , similar caso en la UGM 6 pero recuperación $> 70\%$ Cu.

Ferrobamba



Modelo fenomenológico predictivo

100%

Obtención de Muestras

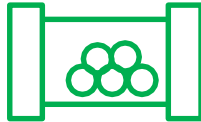


Plan Minero U. Geológicas

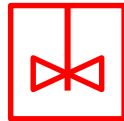


Selección Muestras

Pruebas Laboratorio



Pruebas Conminución



Pruebas Concentración

Sim. Estado Estacionario



Simulaciones de Conminución

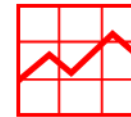


Simulaciones de Flotación

Construcción Modelo



Modelo CEE, kWh/t (Tratamiento)



Modelo Producción Metal (Recuperación)

Estimación Geoestadística



Conminución



Flotación

100%

Validación Modelo

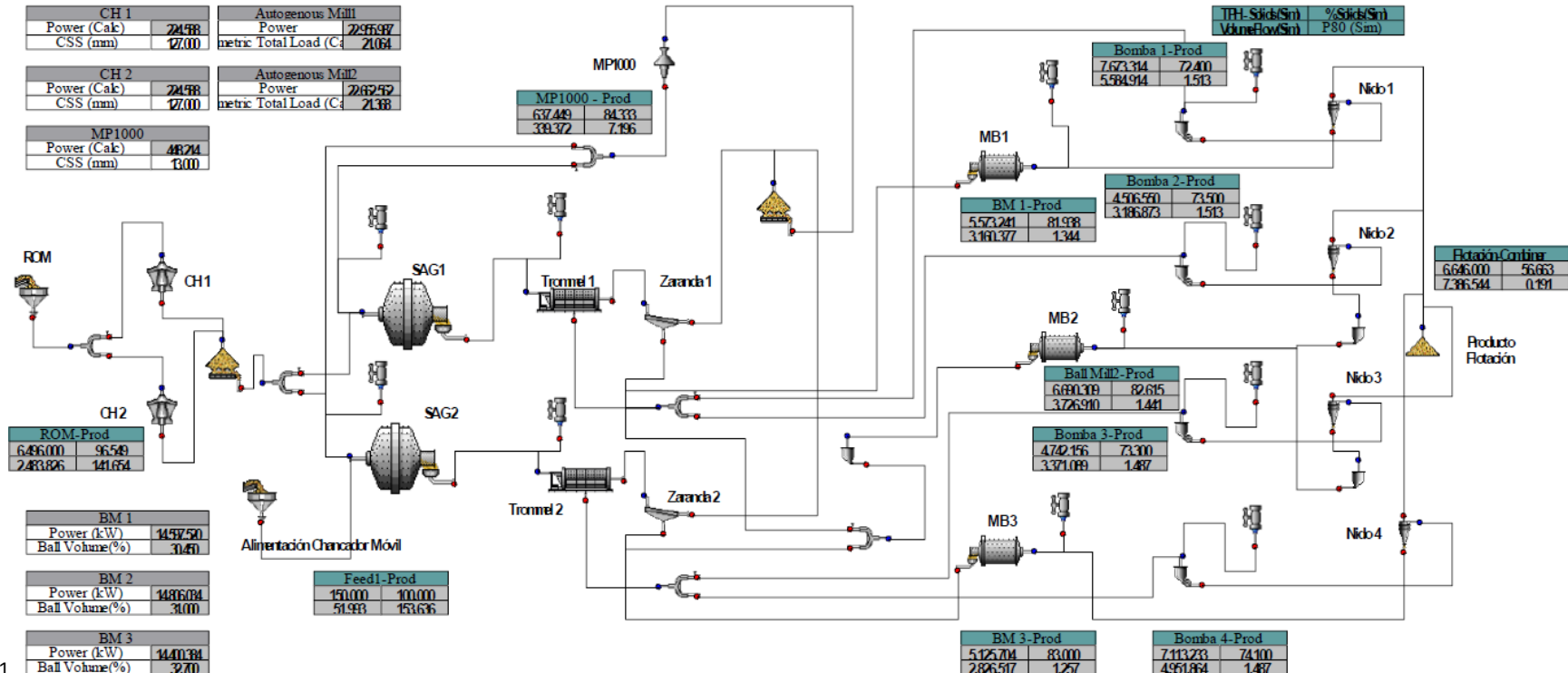


Información Histórica

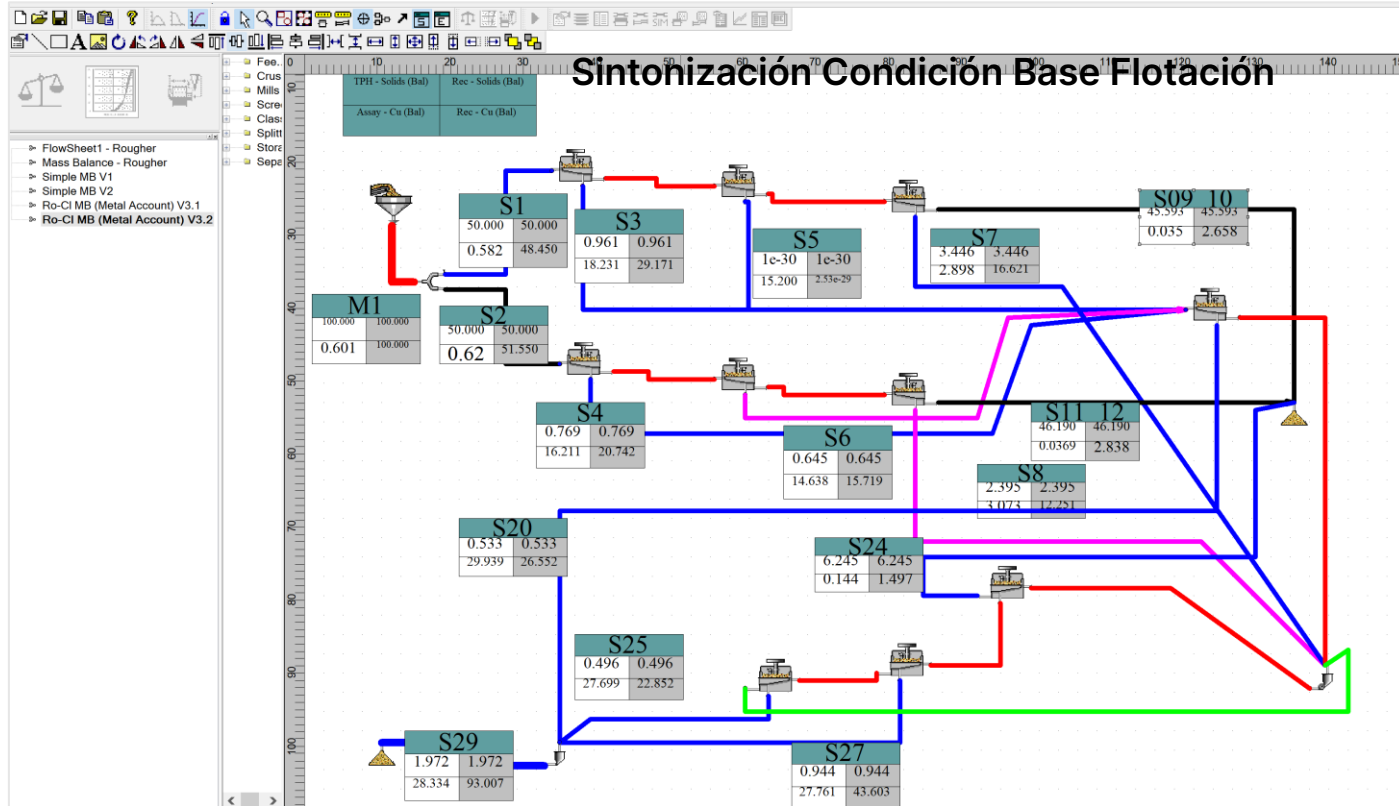
Modelo fenomenológico predictivo



Sintonización Caso Base



Modelo fenomenológico predictivo

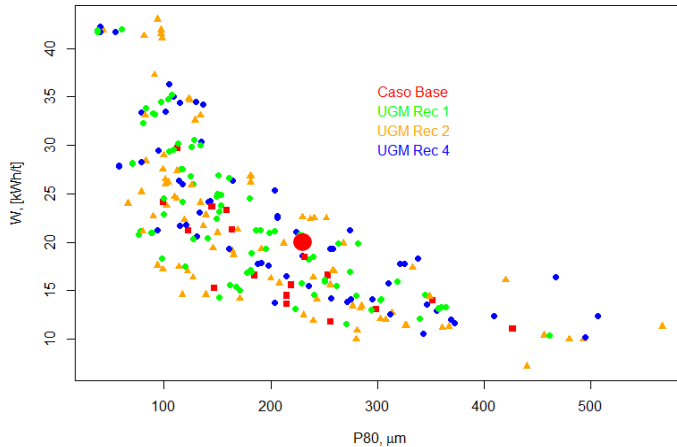


Modelo fenomenológico predictivo

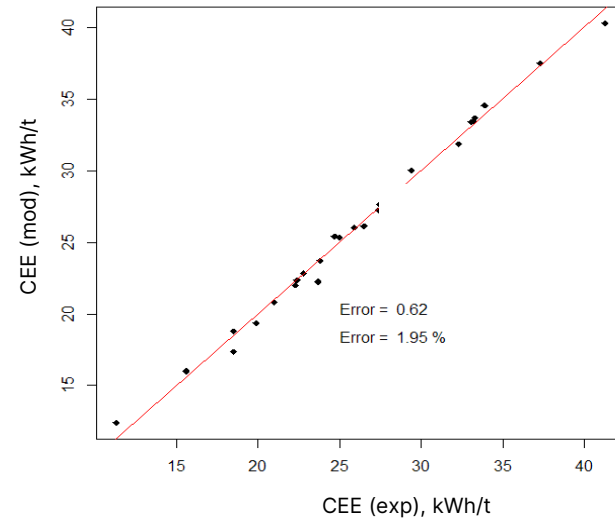
$$TPH = \frac{\text{Potencia [kW]}(\text{Dato})}{\text{CEE} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{t}} \right] (\text{Modelo})}$$

Resumen de simulaciones CEE vs P80

Resumen de simulaciones en JKSimMet



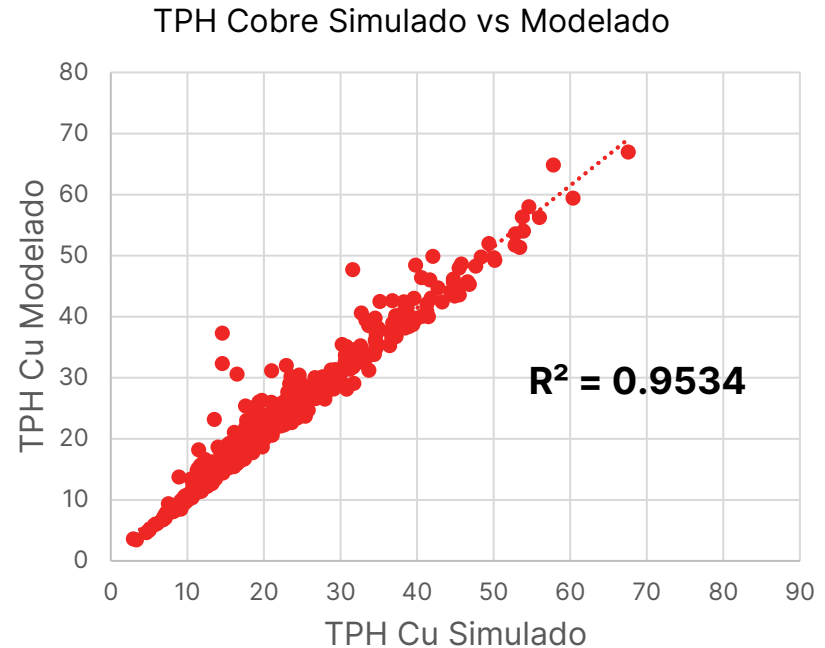
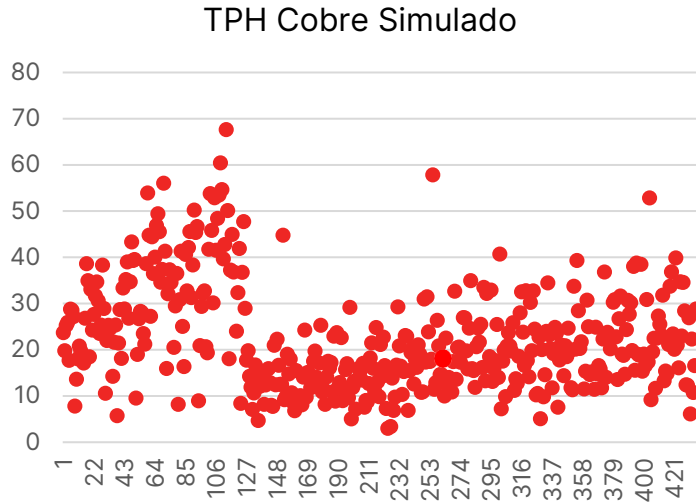
CEE simulado vs modelado



$$SPC = 14.3 * \frac{DWI^{0.31} * BWI^{0.12}}{SG^{0.96}} * \left(\frac{F_{80}}{P_{80}} \right)^{0.28}$$

Ejemplo aplicación

Modelo fenomenológico predictivo

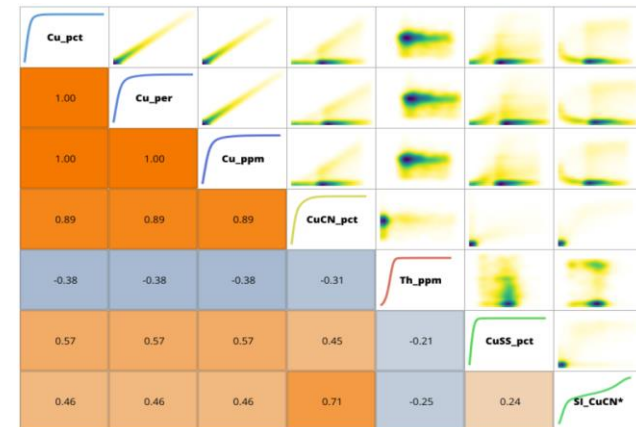
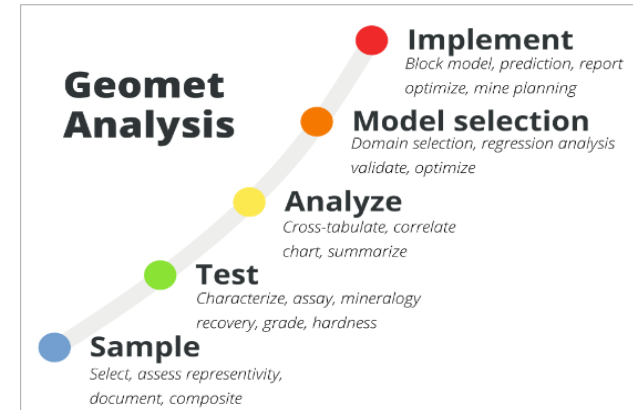


$$TPH\ Cu\ UG\ 1 = 0.000192 * Cu\ Alim * TPH\ alim^{0.979} * R\ inf\ Cu\ Rougher * P80^{-0.1168}$$

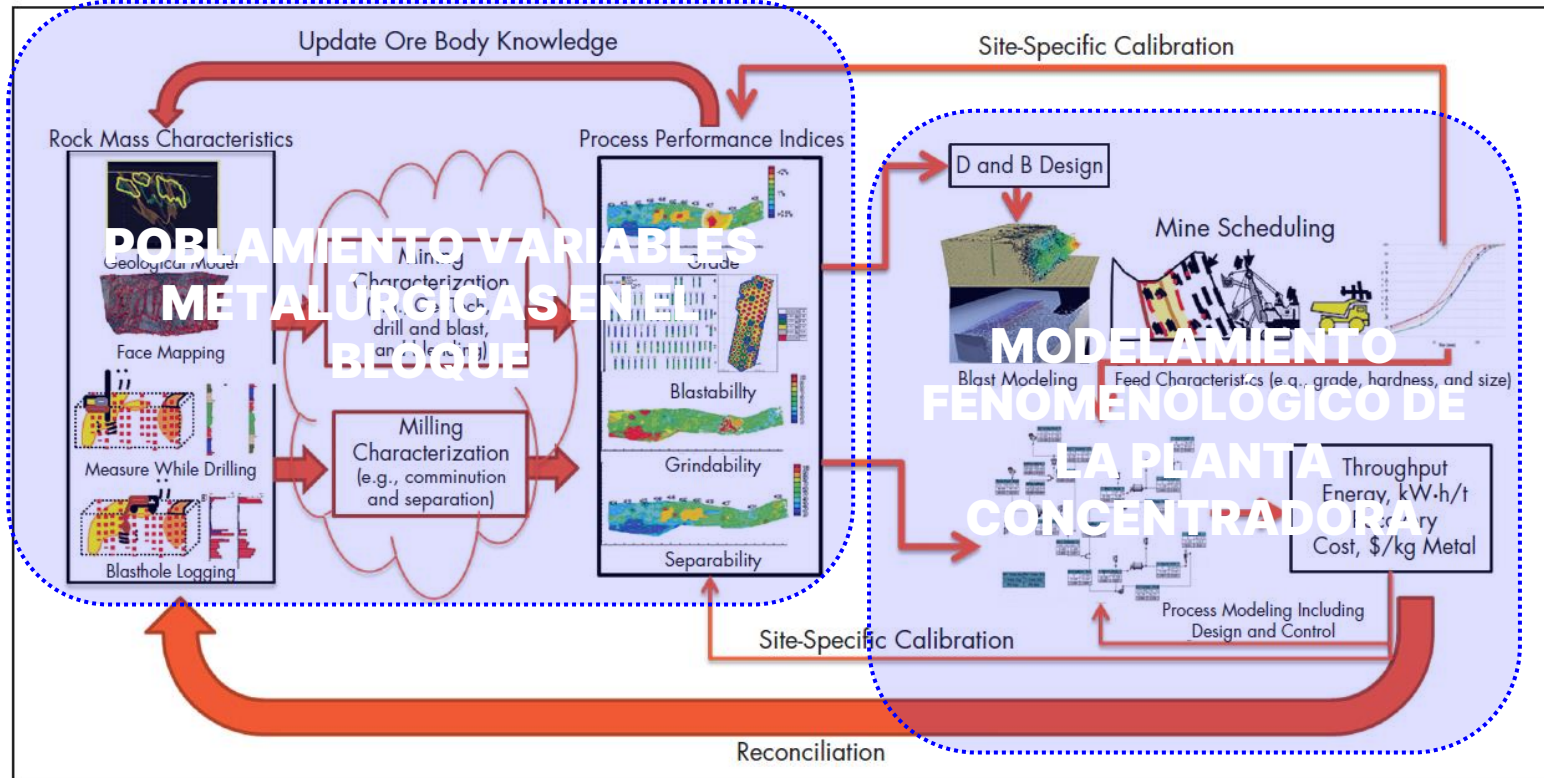
Ejemplo aplicación

Integración GEOMET MODEL

- I. Se propone integrar la data histórica (ore control, planeamiento, data operativa planta concentradora y pruebas metalúrgicas DDH) en un software geomet u otro del mismo cotexto.
- II. Realizar el update y reconciliación de las respuestas metalúrgicas del bloque planificado enviado a planta concentradora.
- III. Calibrar constantemente la predicción de los modelos Geomet con los DDH, donde la información este alcance de todo el equipo participante.



Un enfoque integral para optimizar la cadena de valor de producción de M2M



¡Gracias!

Geometallurgy, technology that helps
us maximize the value of a deposit

