



DE RE METALLICA
INGENIERÍA SpA

IMetChile contribuyendo a la educación continua y al desarrollo de la metalurgia



Pruebas y escalamiento industrial mediante modelos hidrodinámicos y metalúrgicos

Dr. Jorge Menacho

“Lixiviación de Minerales de Cobre con Sales de Cloruro”

29 de mayo de 2020 - IMetChile agradece a sus auspiciadores



Contenido



- Marco
- Programa de Pruebas Lixiviación Clorurada
- Programa de Pruebas SX-EW
- Modelación Lixiviación Clorurada
- Modelación SX-EW
- Comentario Final

Marco



Esta presentación no pretende entregar una guía detallada de la experimentación y tratamiento de datos asociados a la implementación de un proyecto de lixiviación clorurada, sino más bien, entregar “tips” relevantes en el tema según la experiencia del consultor



Programa de Pruebas Lixiviación Clorurada

Consideraciones Lix Clorurada



- (a) El programa debe considerar muestras representativas de asociaciones mineralógicas predominantes del yacimiento, diferenciadas por mineralogía, mena y leyes, en cantidad/calidad según las guías corporativas.
- (b) Suponiendo existencia de Cpy, conviene probar (i) Lixiviación salina (35 g/L a 50 g/L Cl) y (ii) Lixiviación hipersalina (120 g/L a 150 g/L Cl). Las etapas de curado y reposo son comunes en ambos casos y las dosificaciones con frecuencia están entre 5 kg/t y 25 kg/t de sal
- (c) Los minerales oxidados también suelen mejorar su rendimiento en una lixiviación clorurada, a evaluar
- (d) El impacto de la tasa de riego debe ser estudiado, así como mediciones de permeabilidad líquida para diseño de rampas de humectación y calendarios de riego
- (e) También se debe considerar el impacto de la aireación en el proceso y establecer la relación entre permeabilidad gaseosa y contenido líquido (humedad), para respaldar el diseño del sistema de aireación

Recordar que existe una relación entre dosificación de sal y concentración de cloruro en equilibrio:

$$[Cl^-]_{eq} = \frac{(m_{Cl}^{dosif} - m_{Cl}^{gas} - m_{Cl}^{otros})}{(1 - f)M^{min} \rho_L H_{ripió}}$$

Otras Fuentes de Información



(f) Pruebas Complementarias:

- ✓ Ensayos geotécnicos, geomecánicos, hidrodinámicos y neumáticos: permeabilidad saturada y no saturada, humedades de reviente y drenaje, pruebas de consolidación, ensayos triaxiales, contenido líquido crítico vs. propiedades cortantes (ángulo fricción interna y cohesión)
- ✓ Definición temprana del modelo geometalúrgico y modelo de calidad física del yacimiento, entre otros
- ✓ Evaluación del impacto ambiental de la matriz de impurezas en RILES y RISES
- ✓ Ensayos orientados a caracterizar el potencial chancado químico inducido por el cloruro
- ✓ Ensayos orientados a determinar las pérdidas de cloruro (gasificación HCl, otros)
- ✓ Ensayos de SX de caracterización química y física de la planta en el nuevo escenario

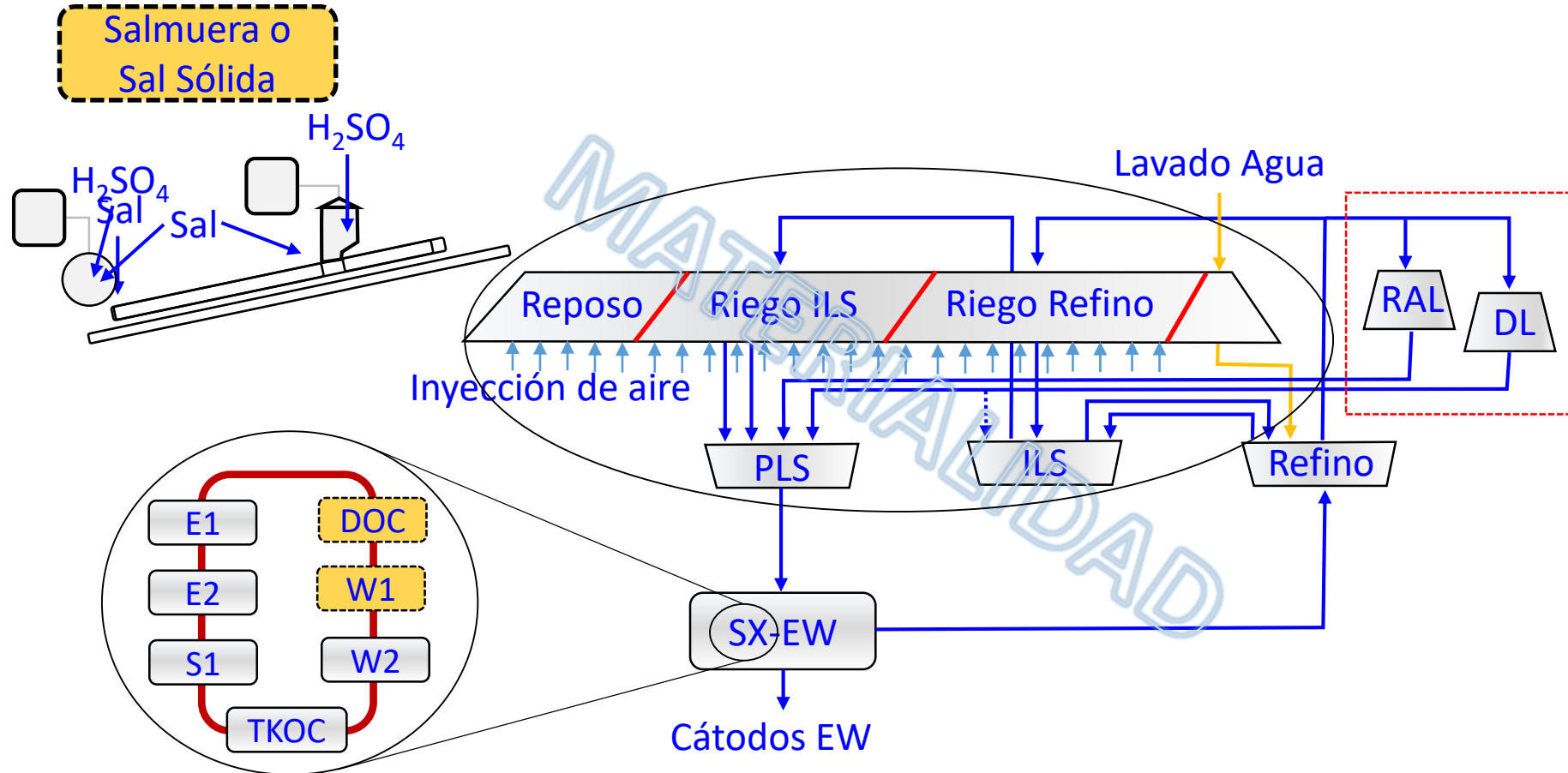
(g) Data Industrial de apoyo (brownfield project):

- ✓ Planta industrial de Lixiviación
- ✓ Planta industrial SX-EW

Definición Conceptual del Proceso



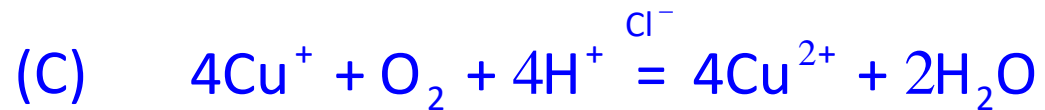
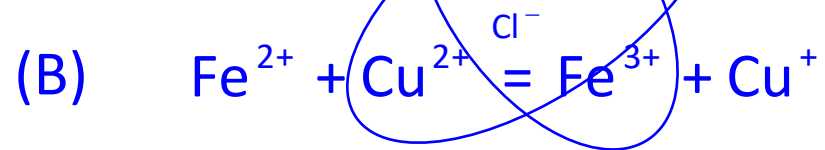
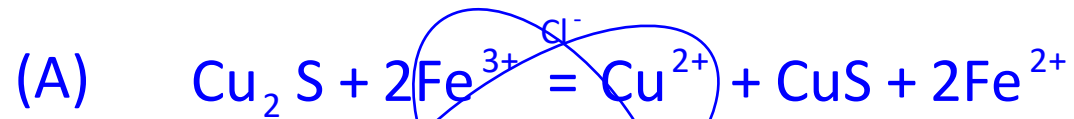
La Lix Clorurada está orientada principalmente al beneficio de sulfuros; para un recurso identificado, se procede a la definición inicial del proceso a desarrollar



Particularidades Lix Clorurada: Mecanismo de Reacción Complejo



- La máquina virtuosa para generar férrico es posible porque en medio cloruro el ion cuproso es estable. Existe una “ventana óptima” de proceso

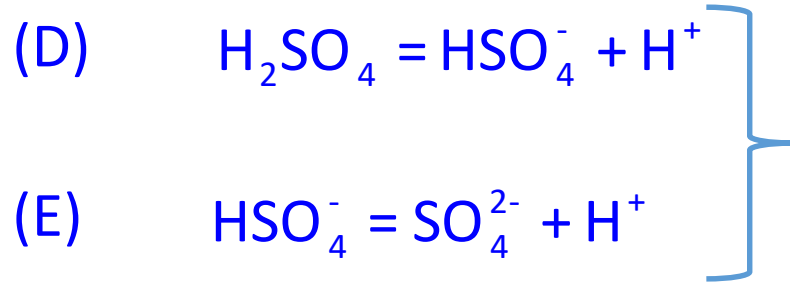


- Disolución de impurezas
- Chancado químico de la roca

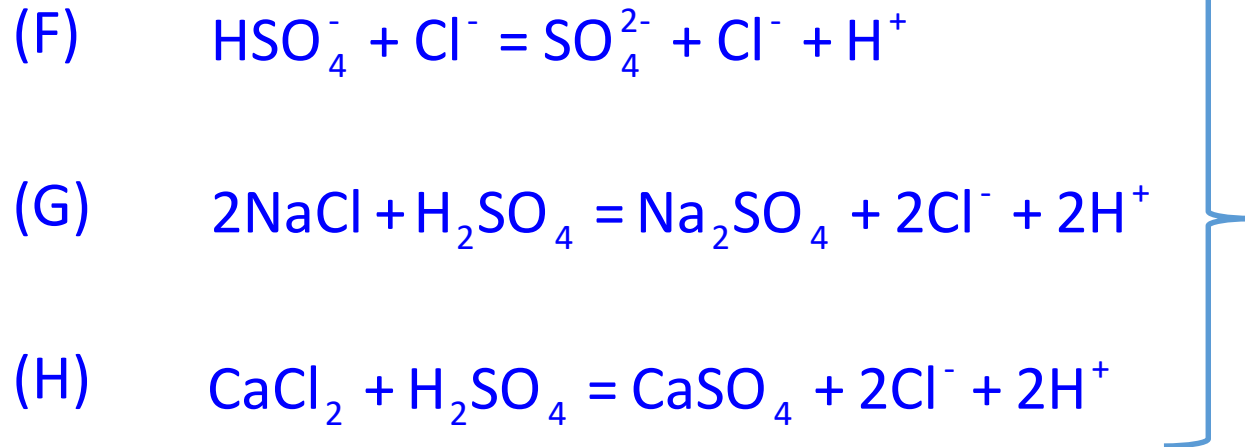


RX de Interés de Proceso

- La actividad de los protones aumenta en medio cloruro



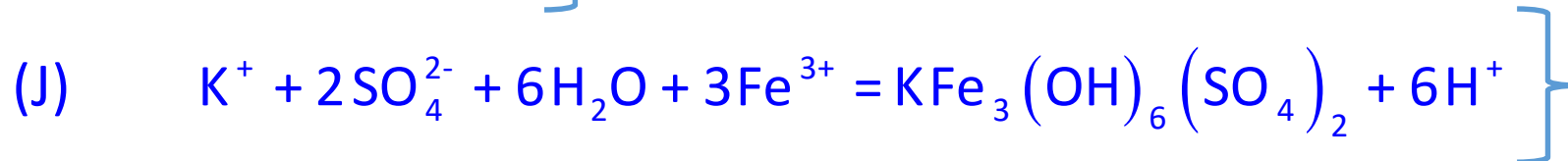
En medio sulfato el bisulfato es la especie preponderante a pH 1.5 a 2.5



El cloruro sube la disponibilidad del ácido libre



El ácido clorhídrico se volatiliza fácilmente



El sulfato compite con el sulfuro por el Fe^{3+}

Programa de Pruebas Lixiviación



- e) El programa de experimentación considera lo siguiente:
- ✓ Ensayos de curado, en los cuales se determina la dosis de refino, H_2SO_4 , NaCl ($CaCl_2$) y el tiempo de reposo (a granulometría industrial)
 - ✓ Ensayos de botella iso-pH/iso-Eh, orientadas a explorar variabilidad
 - ✓ Pruebas en columnas de 1m:
 - Ensayos convencionales – Soporte a pruebas de variabilidad
 - Ensayos a tasa reducida, espejo de las pruebas en columnas altas
 - ✓ Pruebas en columnas de gran altura. Pruebas individuales en condiciones óptimas definidas en las pruebas anteriores. Determinación de respuestas química y física
 - ✓ Ensayos Lix especiales: Ensayos en tren de botellas, columnas o isocontenedores, con recirculación. Determinación de “respuesta química de equilibrio”



Programa de Pruebas SX-EW

Pruebas SX de Laboratorio



Ensayos Químicos

N° Prueba	Cu ²⁺	H ⁺	Fe ³⁺	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	Extte.
1	X10	X20	X30	X40	X50	X60
2	X11	X20	X30	X40	X50	X60
3	X12	X20	X30	X40	X50	X60
4	X13	X20	X30	X40	X50	X60
5	X10	X21	X30	X40	X50	X60
6	X10	X22	X30	X40	X50	X60
7	X10	X23	X30	X40	X50	X60
8	X10	X20	X31	X40	X50	X60
9	X10	X20	X32	X40	X50	X60
10	X10	X20	X33	X40	X50	X60
11	X10	X20	X30	X41	X50	X60
12	X10	X20	X30	X42	X50	X60
13	X10	X20	X30	X43	X50	X60
14	X10	X20	X30	X40	X51	X60
15	X10	X20	X30	X40	X52	X60
16	X10	X20	X30	X40	X53	X60
17	X10	X20	X30	X40	X50	X61
18	X10	X20	X30	X40	X50	X62
19	X10	X20	X30	X40	X50	X63
20	X10	X20	X30	X40	X50	X60

Generar un conjunto robusto de isotermas para diseñar el proceso industrial de SX

Además, disponer de perfiles de planta recientes para sintonizar las isotermas de laboratorio

Ensayos Físicos

- Ensayos batch de separación de fases con agitación controlada
- Ensayos piloto en flujo continuo
- Medición de separación de fases en planta

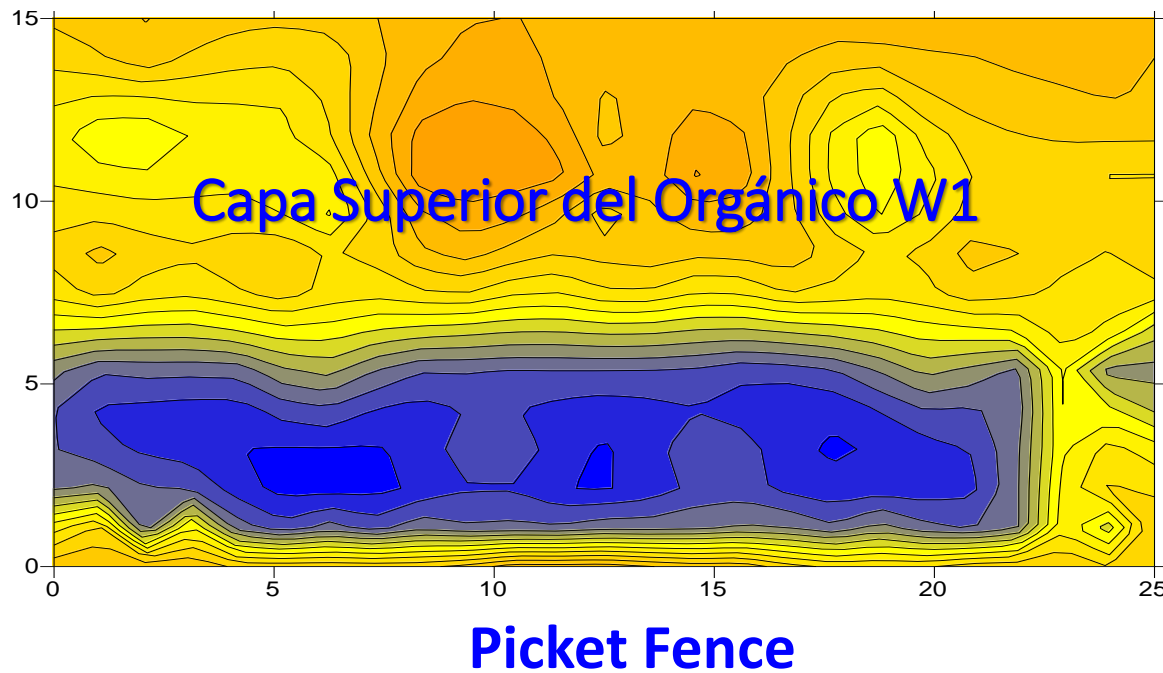
Caracterización Fco.-Qca.

- Densidad
- Viscosidad
- Tensión superficial
- Tensión interfacial

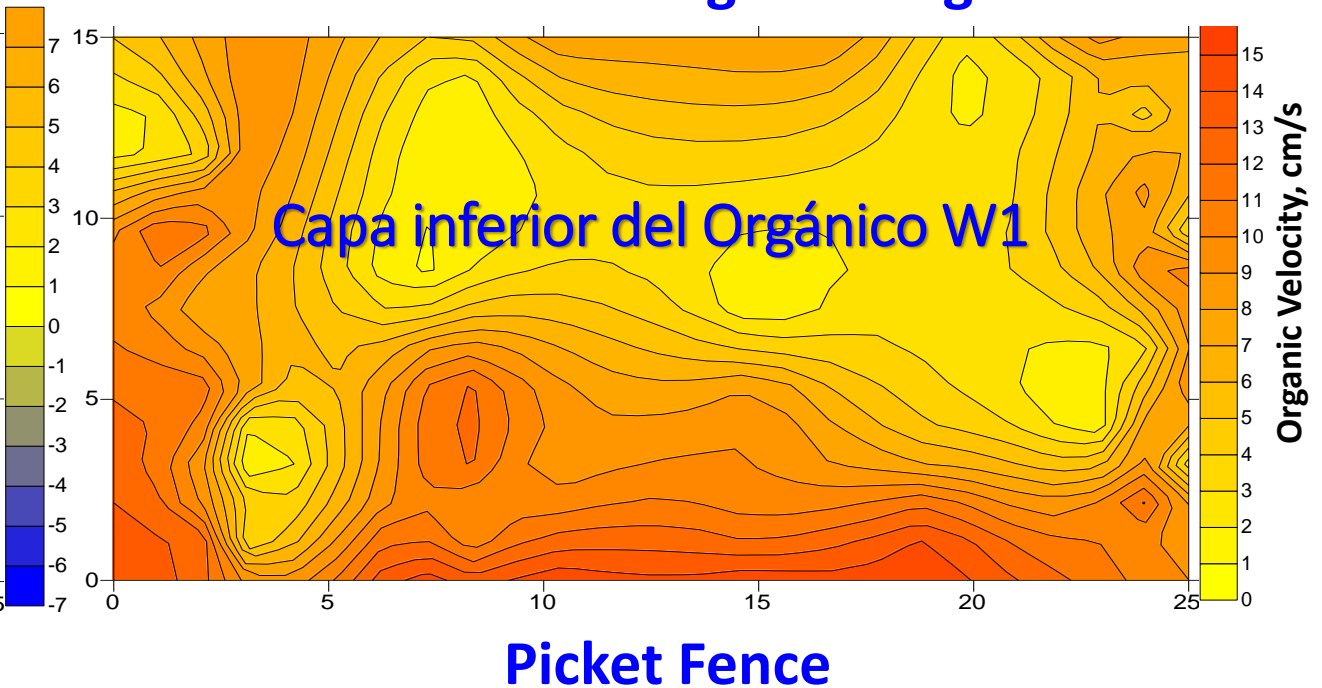
Nuevas Mediciones Planta SX-EW (DRM, 2018)



Canaleta de Descarga del Orgánico



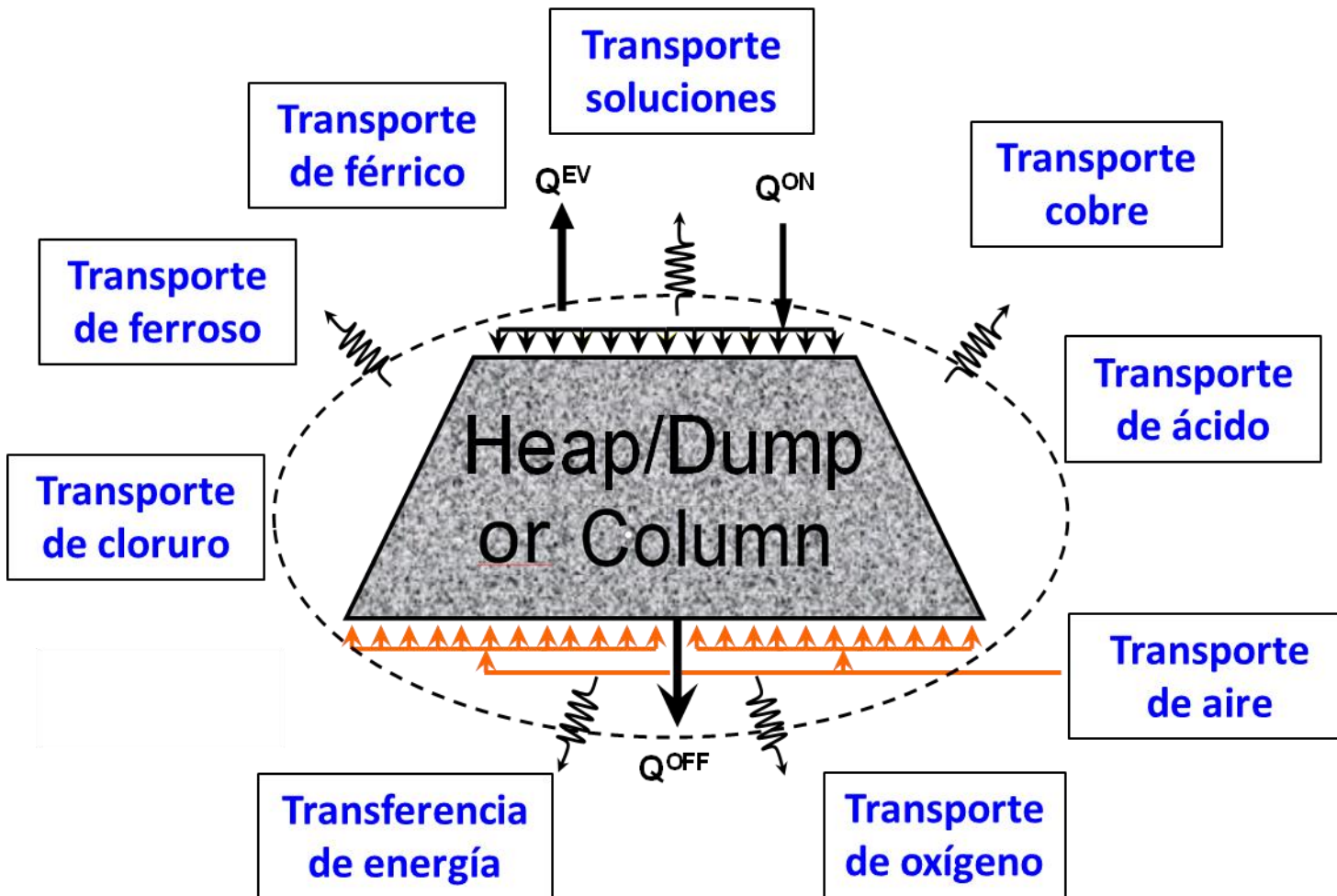
Canaleta de Descarga del Orgánico





Modelación Lixiviación

Modelo Fenomenológico Lix Clorurada (DRM)



Ecuaciones Básicas Modelo Lix Clorurada:

- Continuidad
- Momentum
- Cinética química

C.B. según proceso industrial



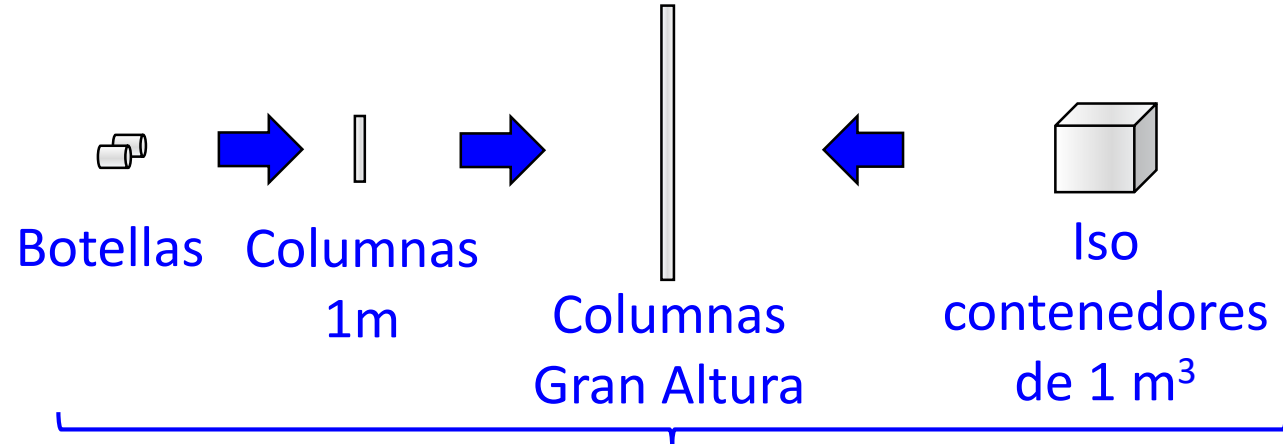
Utilidad

- ✓ Escalamiento de la recuperación y el consumo de lixiviantes
- ✓ Ramp up de implementación gradual lix clorurada
- ✓ Simulación de programas de mina y estimación de programas de producción
- ✓ Diseño, optimización y control de procesos industriales

Escalamiento Lix Clorurada



Los modelos fenomenológicos permiten escalar resultados y simular la respuesta industrial bajo diferentes escenarios



Resultados



MODELOS FENOMENOLÓGICOS



PILA INDUSTRIAL

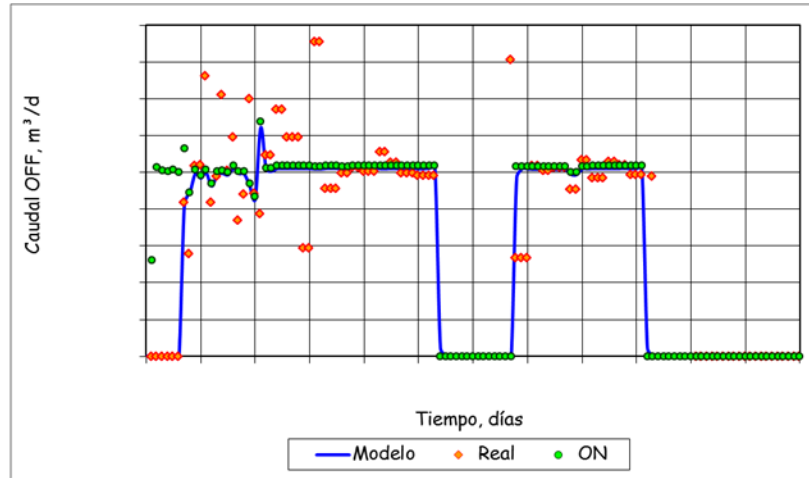
*Reconocidos en
la Guía Corporativa
Geometalurgia de
Codelco Chile*

*Reconocidos en
las Guías ADS de
AMSA*

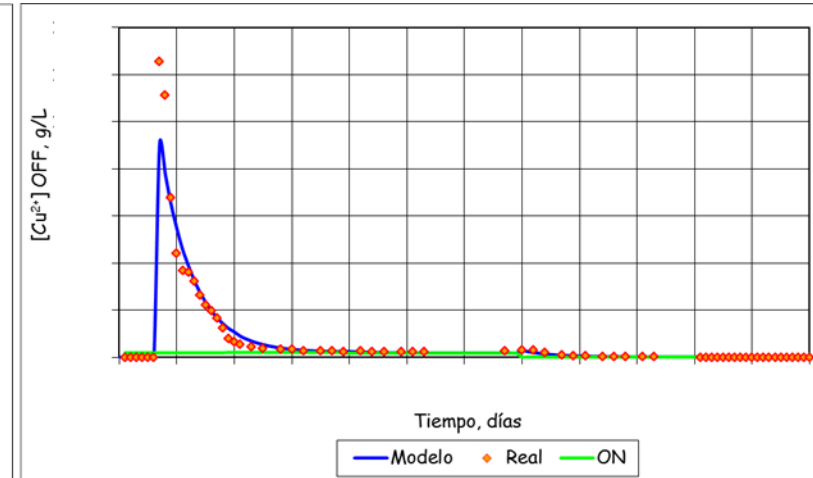
Metodología DRM: Modelación



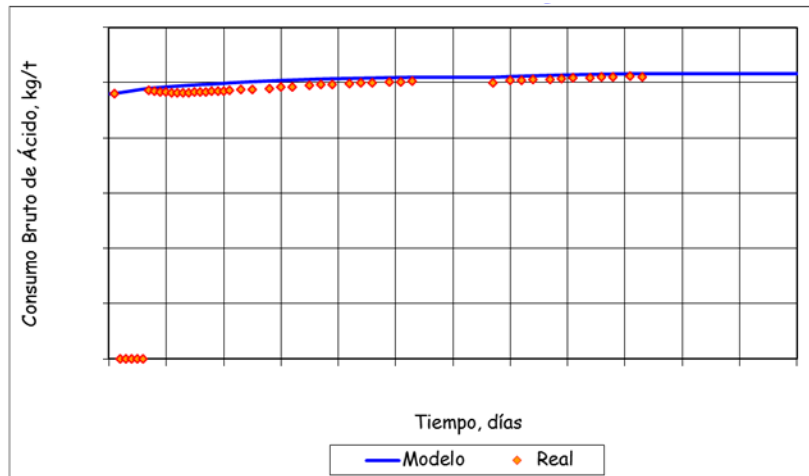
Modelación hidro-metalúrgica columnas lixiviación clorurada



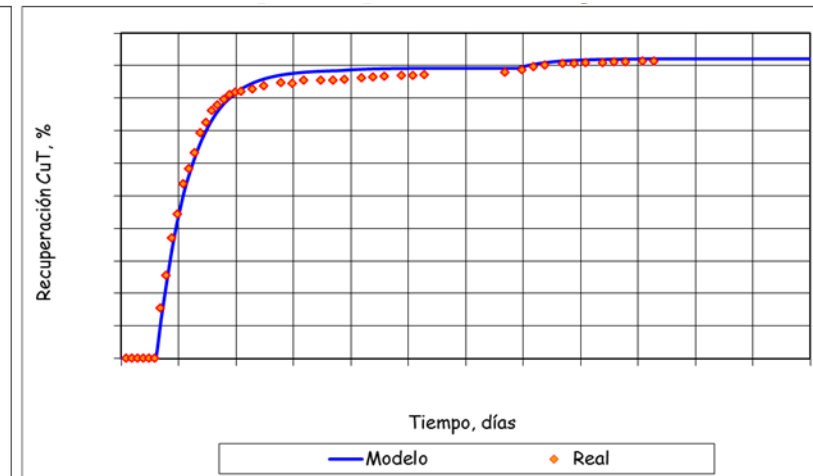
Caudal de drenaje



Cobre en drenaje



Consumo bruto ácido

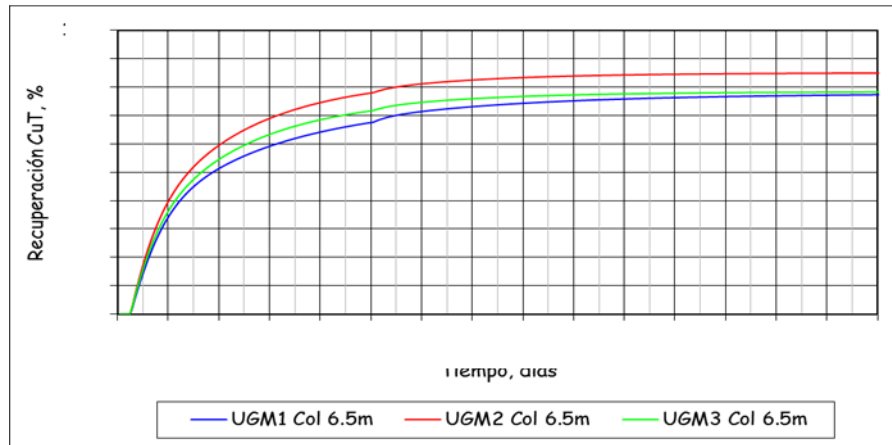


Recuperación CuT

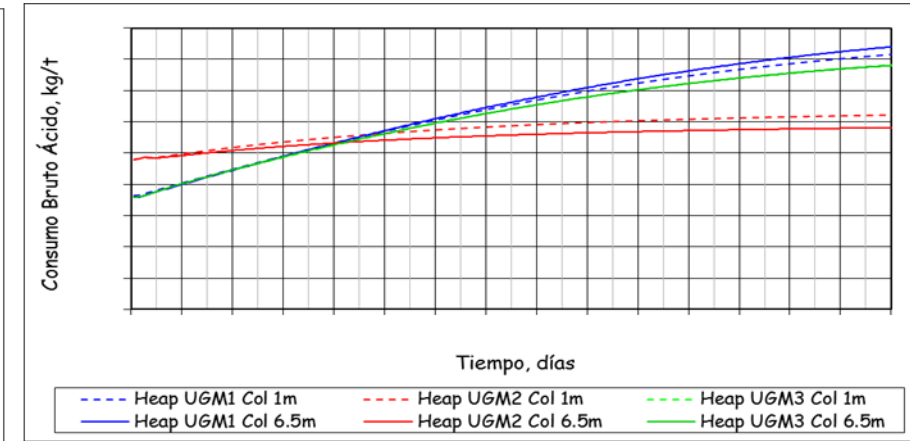
Metodología DRM: Scale Up Hidrometalúrgico



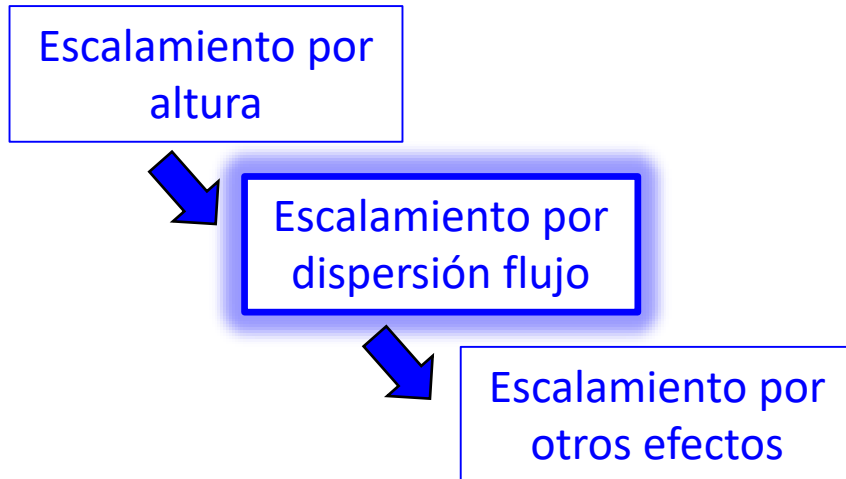
Escalamiento recuperación y consumo de ácido industrial



Recuperación CuT industrial vs tiempo



Consumo bruto ácido industrial vs tiempo



Flow Dispersion Scale Up (Menacho, 1999)

$$R_{\text{Column}}(p_i, t) = \int_0^{\infty} \phi_{\text{Column}}(t^*) R_{\text{PF}}(p_i, t, t^*) dt^*$$

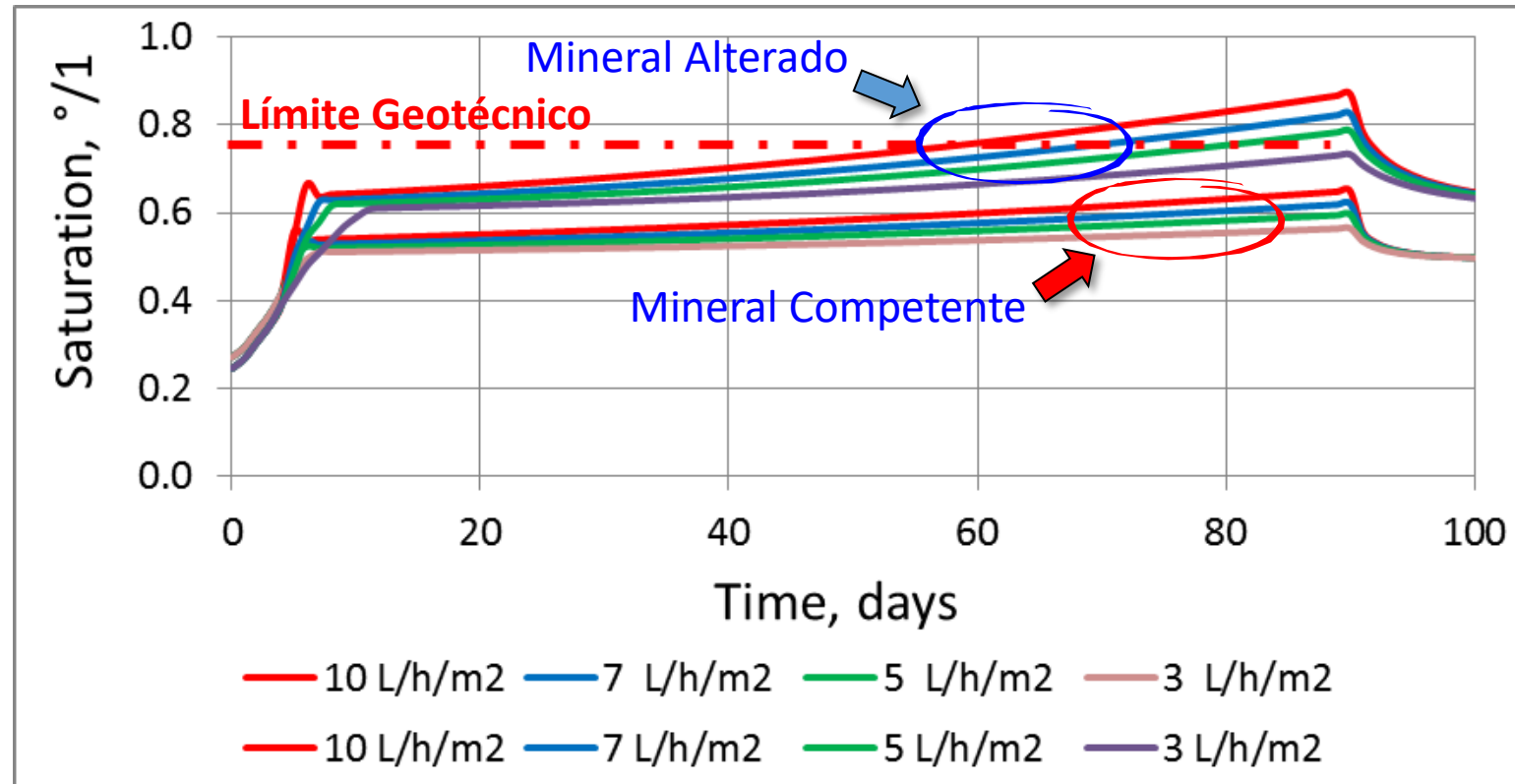
$$R_{\text{PF}}(p_i, t) = R_{\text{PF}}(p_j, t)$$

$$R_{\text{Pad}}(p_j, t) = \int_0^{\infty} \phi_{\text{Pad}}(t^*) R_{\text{PF}}(p_j, t, t^*) dt^*$$

Metodología DRM: Scale Up Hidrodinámico-Geotécnico



Escurrecimiento de soluciones en la pila industrial

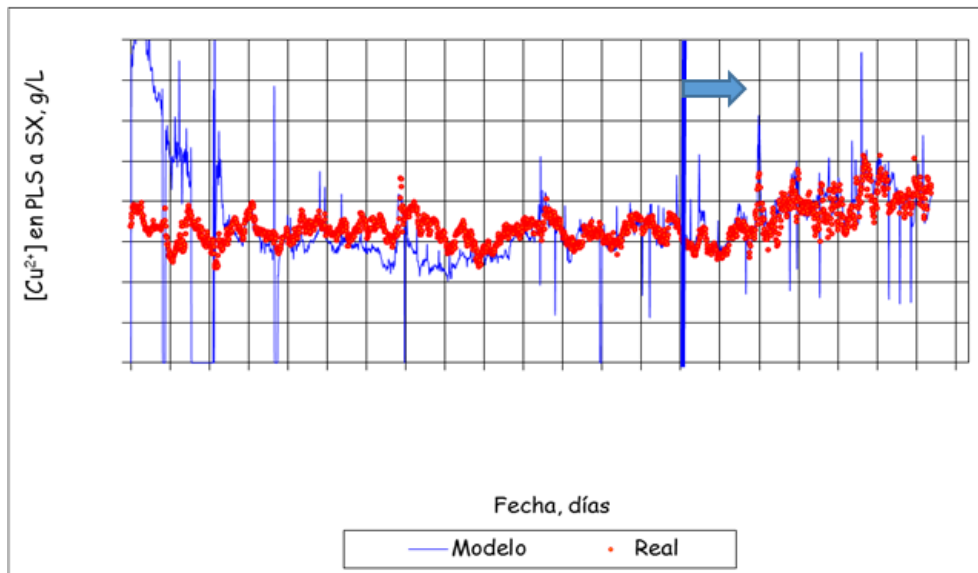
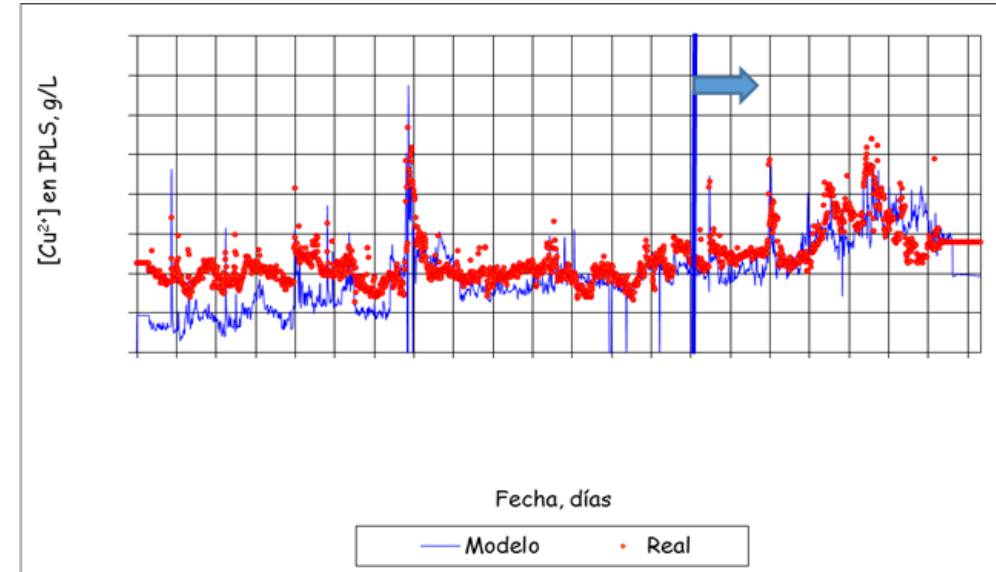
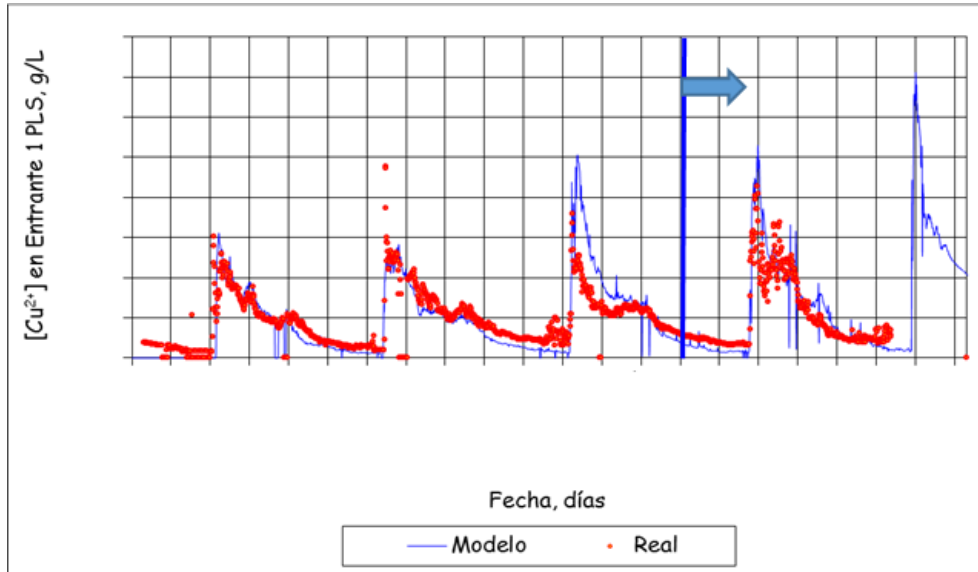


Perfil probable de saturación hidrodinámica vs. tiempo de riego, mineral competente y mineral alterado por chancado químico

Desempeño Modelo DRM Lix Clorurada



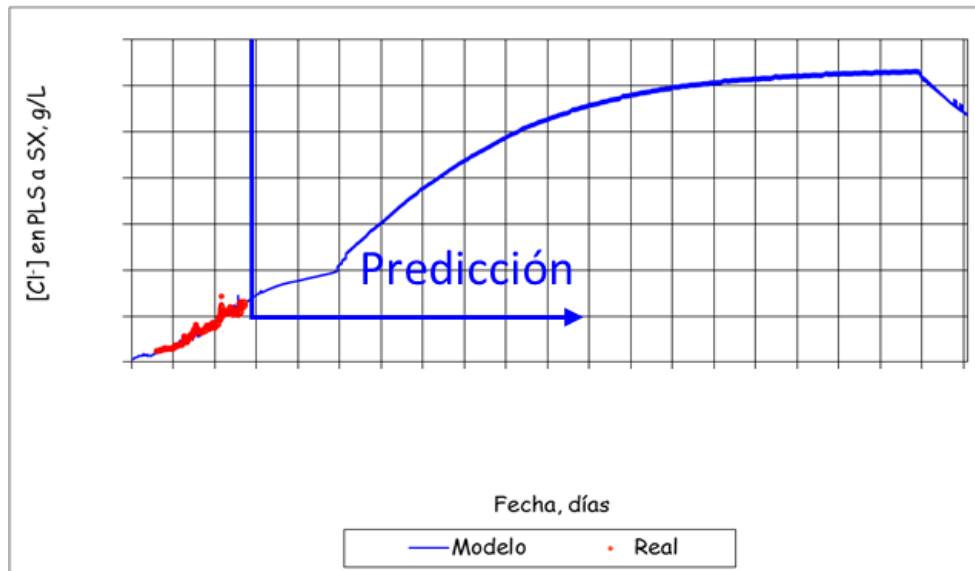
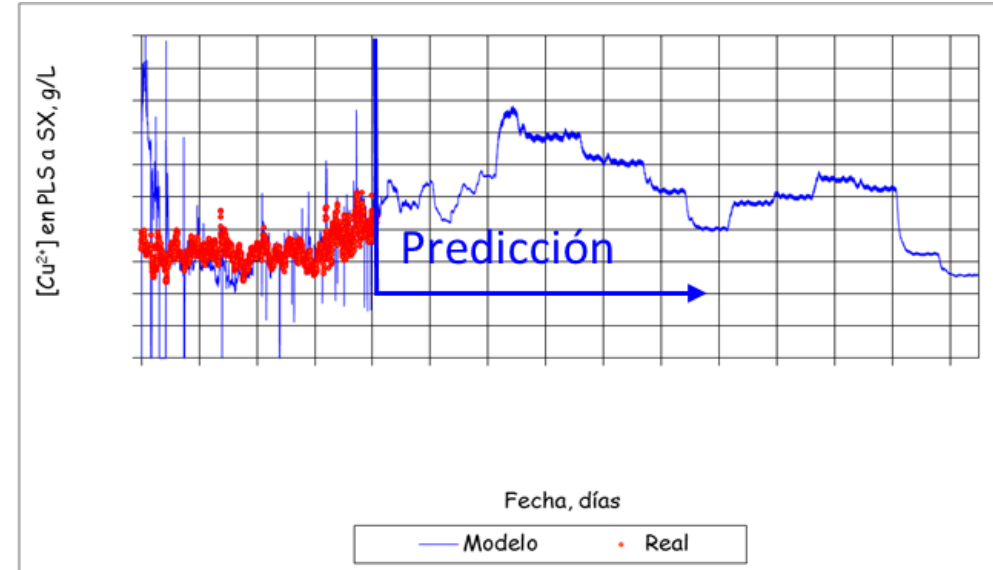
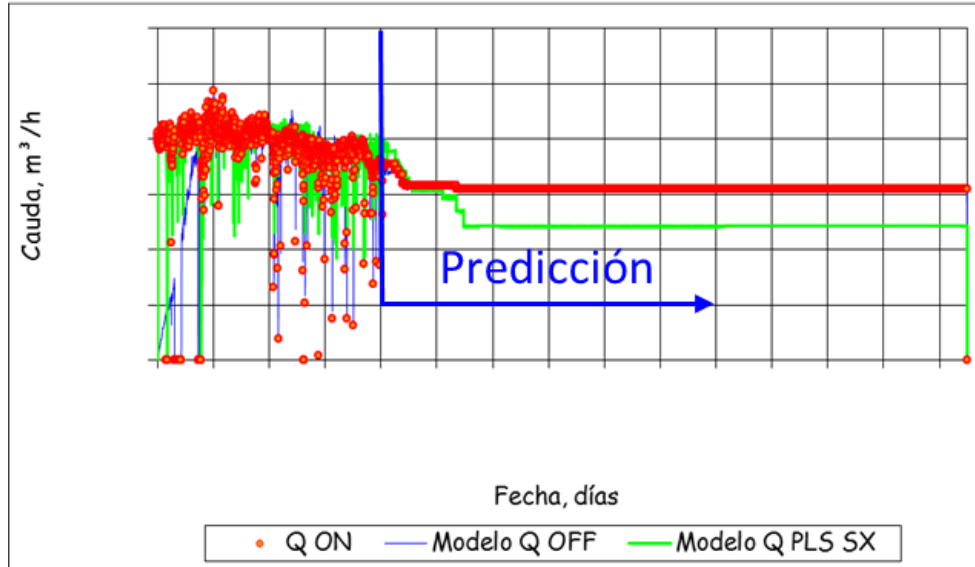
Sintonización Modelo/Operación Industrial Existente, modelación transiente adición sal



Simulación Plan Mina Modelo DRM Lix Clorurada



Simulación Lix Clorurada Futura: Ramp Up y estimación de Programa de Producción



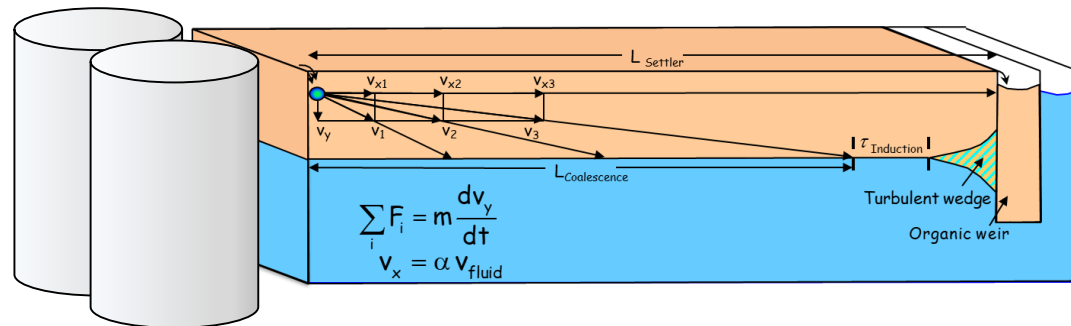
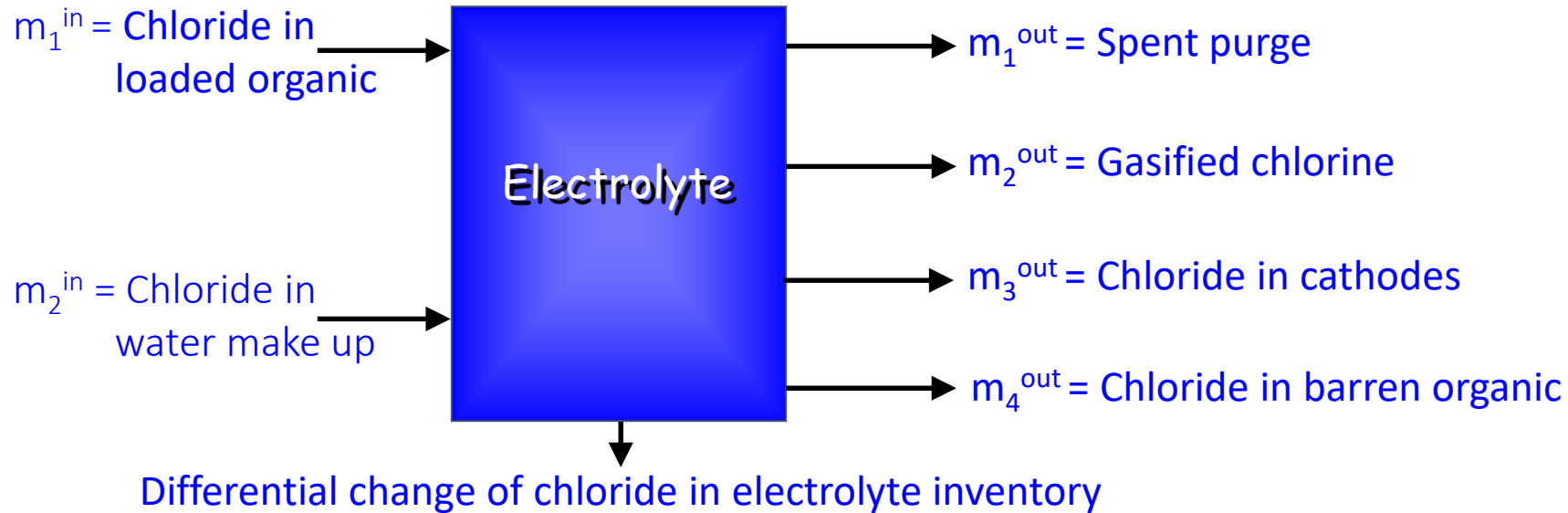


Modelación SX-EW

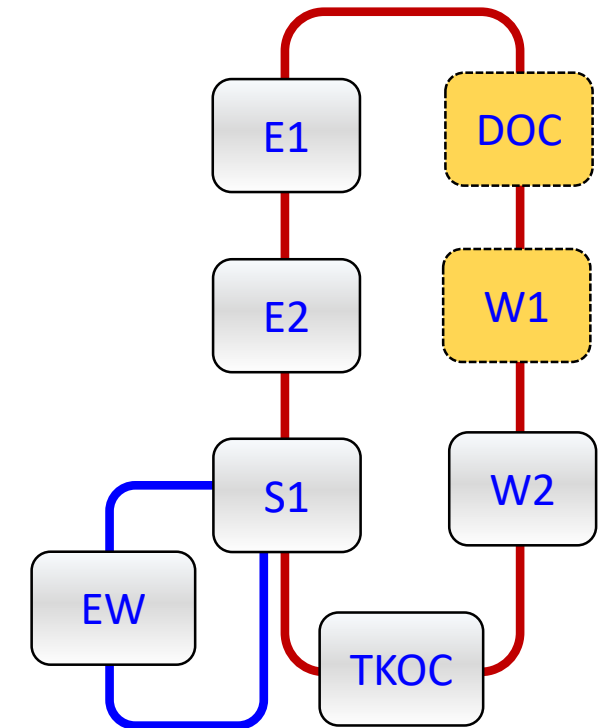
Respuesta Química y Física Planta SX-EW



- Aspectos químicos modelables desde las isotermas y pruebas piloto a pequeña escala
- **Aspectos físicos según medición arrastres y transferencia cloruro al electrolito SX - EW**



Resolution of the Newton Equations

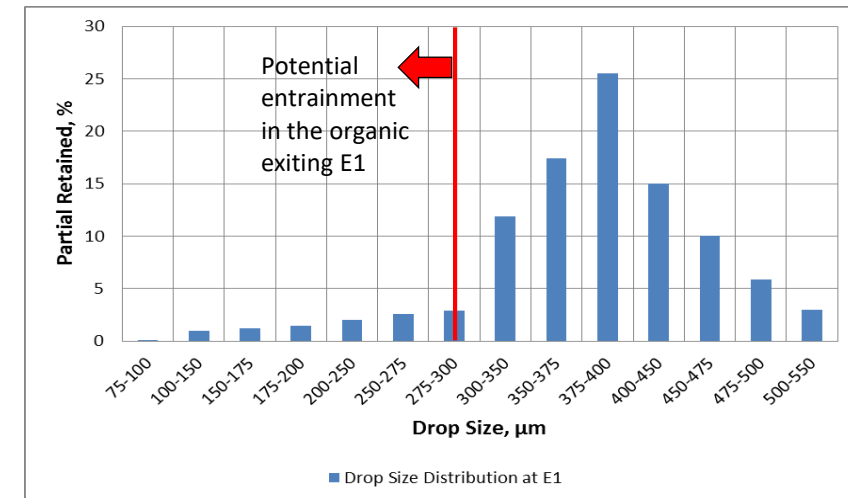
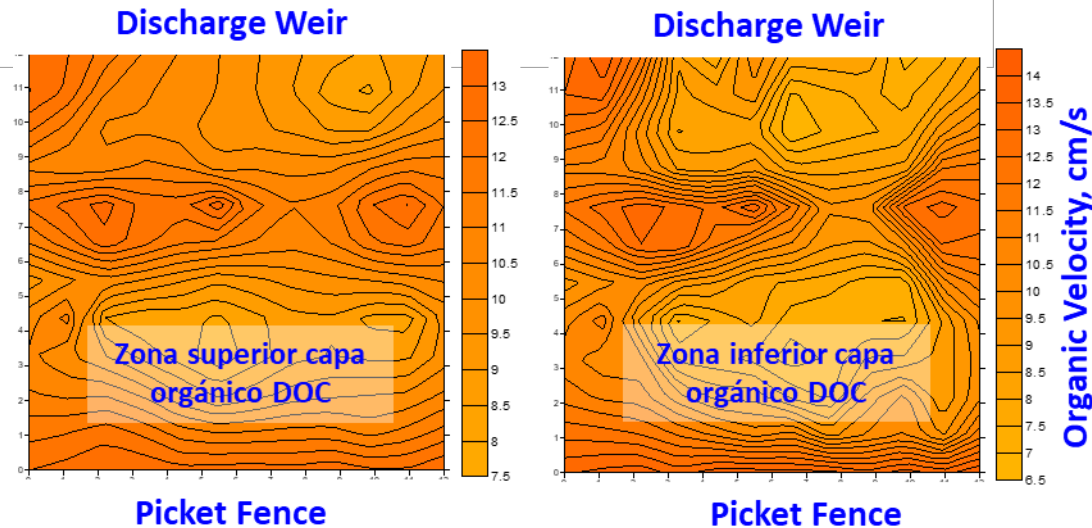
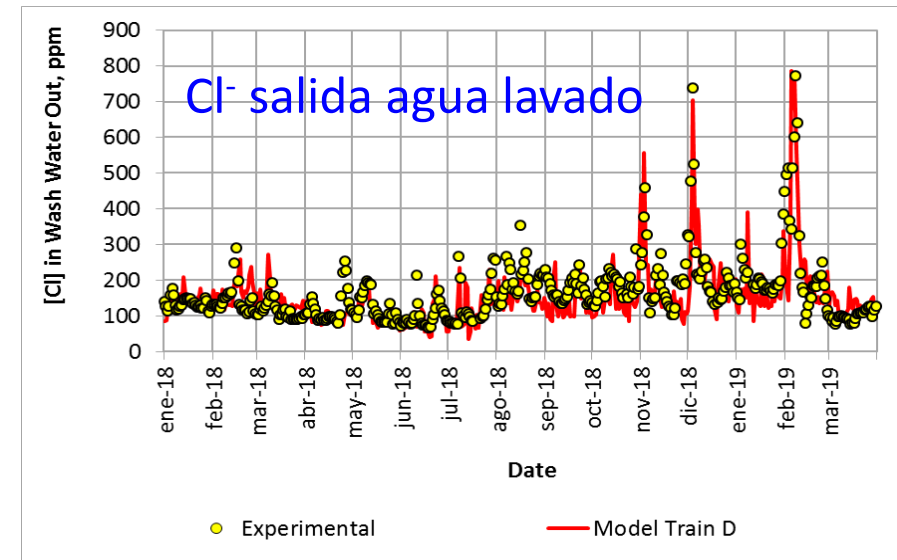
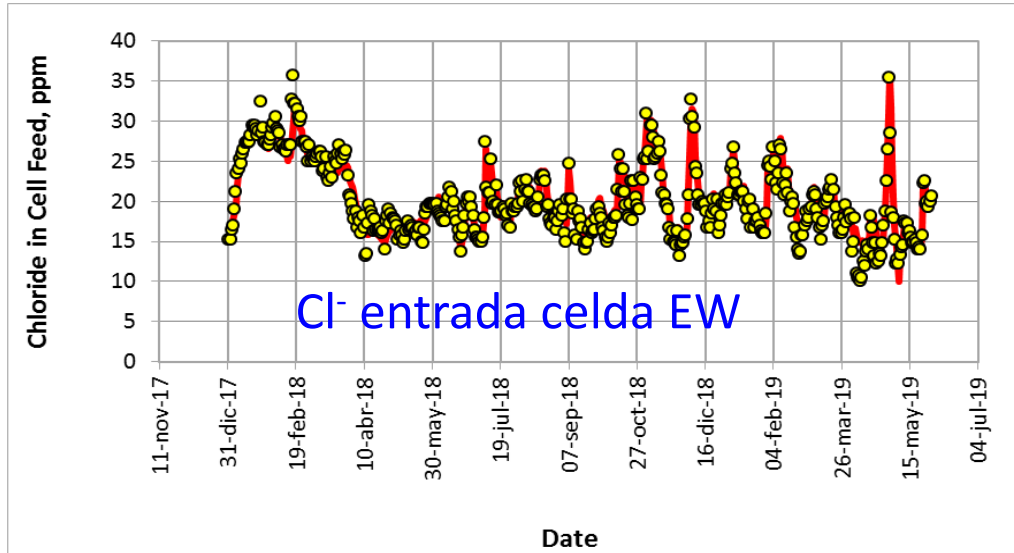


Se modela el balance de cloro en cada una de las etapas del circuito SX-EW

Arrastres y Purgas (Modelo DRM)



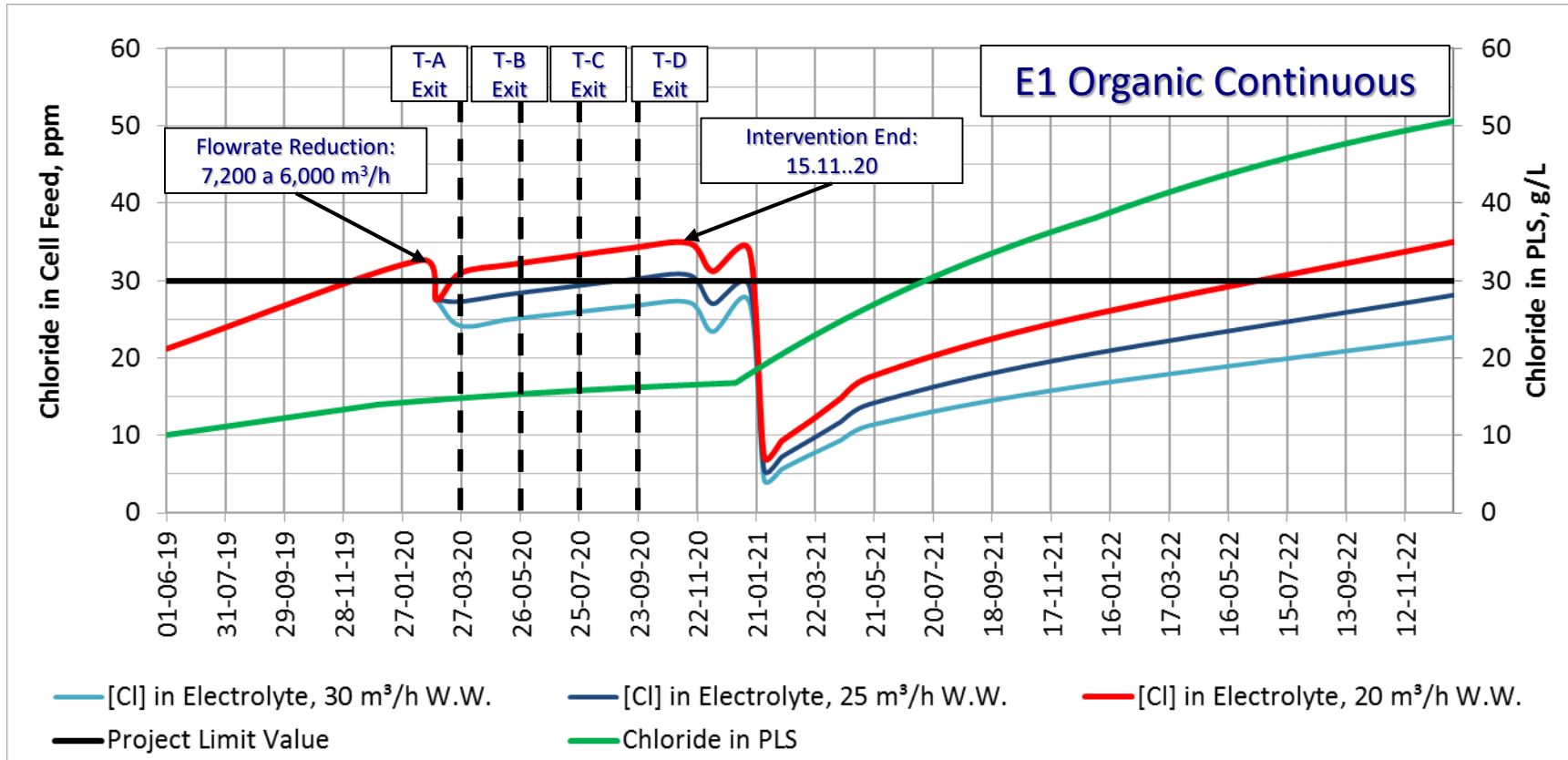
Modelación/Simulación dinámica arrastres y cloruro SX – EW (Experimental/Modelo)



Ramp Up SX Proyecto Lix Clorurada (Modelo DRM)

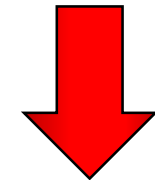


Paso 8: Proyección situación esperada en ramp up y posterior cloruro SX - EW



Planta SX-EW Antes/Después

- Campañas Medición
- Proyección Modelos



Cumplimiento metas del proyecto Lix Clorurada en SX-EW

J.M, Menacho (DRM), J.S. Manríquez (DRM), S. Rojas (AMSA) and A. Olea (AMSA), "Methodology to Control Chloride in SX-EW Electrolyte from Chloride Leach Operations", HydroProcess 2019, Santiago-Chile, June 19th, 2019.



DE RE METALLICA
INGENIERÍA SpA

IMetChile contribuyendo a la educación continua y al desarrollo de la metalurgia



**El éxito de un proyecto
de lixiviación clorurada depende
fuertemente de la robustez de la
Ingeniería de Procesos
que lo sustente**

“Lixiviación de Minerales de Cobre con Sales de Cloruro”

29 de mayo de 2020 - IMetChile agradece a sus auspiciadores

