



INNOVACIONES EN EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES MINEROS

Rubén Muñoz, MSc.

**Director Técnico de Soluciones LATAM,
IDE Technologies**

SOBRE NUESTRO EXPOSITOR



Rubén es Ingeniero civil graduado con distinción de la Universidad de Chile, con un magíster en Ingeniería de suministro de agua e infraestructura, obtenida en Unesco-IHE Delft, Holanda. Ruben tiene más de 14 años de experiencia profesional en ingeniería y proyectos industriales, experiencia en proyectos de desalación de agua de mar por osmosis inversa de gran tamaño en capacidades superiores a 1000 l/s, tratamiento de aguas industriales, efluentes mineros y drenaje ácido de mina.

Actualmente se desempeña como Director Técnico de Soluciones para Latinoamérica en IDE Technologies, donde ha promovido soluciones tecnológicas en proyectos de desalación y tratamiento efluentes bajo diferentes modalidades de contratos: EP, EPC y BOOT.

AGENDA

- Breve introducción IDE Technologies
- Definición y generación drenaje ácido mina ARD/AMD
- Influencia de la hidrología
- Aspectos Regulatorios
- Tecnologías y soluciones convencionales
- Nuevas tecnologías de tratamiento en ARD/AMD: **MaxH₂O Desalter**
- Casos de estudio: 2 ejemplos recientes
- Conclusiones y ronda de preguntas y respuestas

MAXH₂O
Desalter

BREVE RESEÑA IDE TECHNOLOGIES



Desalinating Water
Since
1965
With Excellence

- Fundada 1965
- Líder mundial en tratamiento avanzado: desalación, tratamiento agua industrial con tecnologías termales (MVC, MED) y de membranas
- Mas de 400 instalaciones en 40 países
- Oficinas en Israel, USA, China, India y Chile

AlfaPartners.

Desalación



- ✓ Megaplantas
- ✓ Plantas modulares
- ✓ Termales (MED & MVC)
- ✓ Sin uso químicos

Tratamiento agua industrial



- ✓ **Soluciones industriales**
- ✓ High Recovery RO (MAXH₂O)
- ✓ Soluciones termales (MED & MVC)
- ✓ Soluciones ZLD

Aguas residuales



- ✓ Eco-Reuso –
- ✓ Tratamiento libre de cloramina

REFERENCIAS DE PROYECTOS – OSMOSIS INVERSA

Jamnagar, India

169,000m³/d (2,000 l/s)
EP + S + O&M, 2017



- Agua de alimentación compleja con pre-tratamiento avanzado
- Agua de producto de muy alta calidad (SDT <5ppm)
- 2 años Supervisión de O&M

Carlsbad, USA

204,000m³/d (2,300 l/s)
EP + O&M, 2015



- La planta SWRO mas grande del EE.UU.
- 30 años de Operación y Mantenimiento
- Premio de GWI “Desalination plant of the year 2016”

Sorek, Israel

624,000m³/d (7,200 l/s)
BOT, 2013



- La planta SWRO mas grande del mundo
- Concesión de 25 años
- Nuevo concepto de optimización de espacio con un arreglo vertical de membranas de 16”

Cape Preston,

140,000m³/d (1,600 l/s)
EP+S, 2012

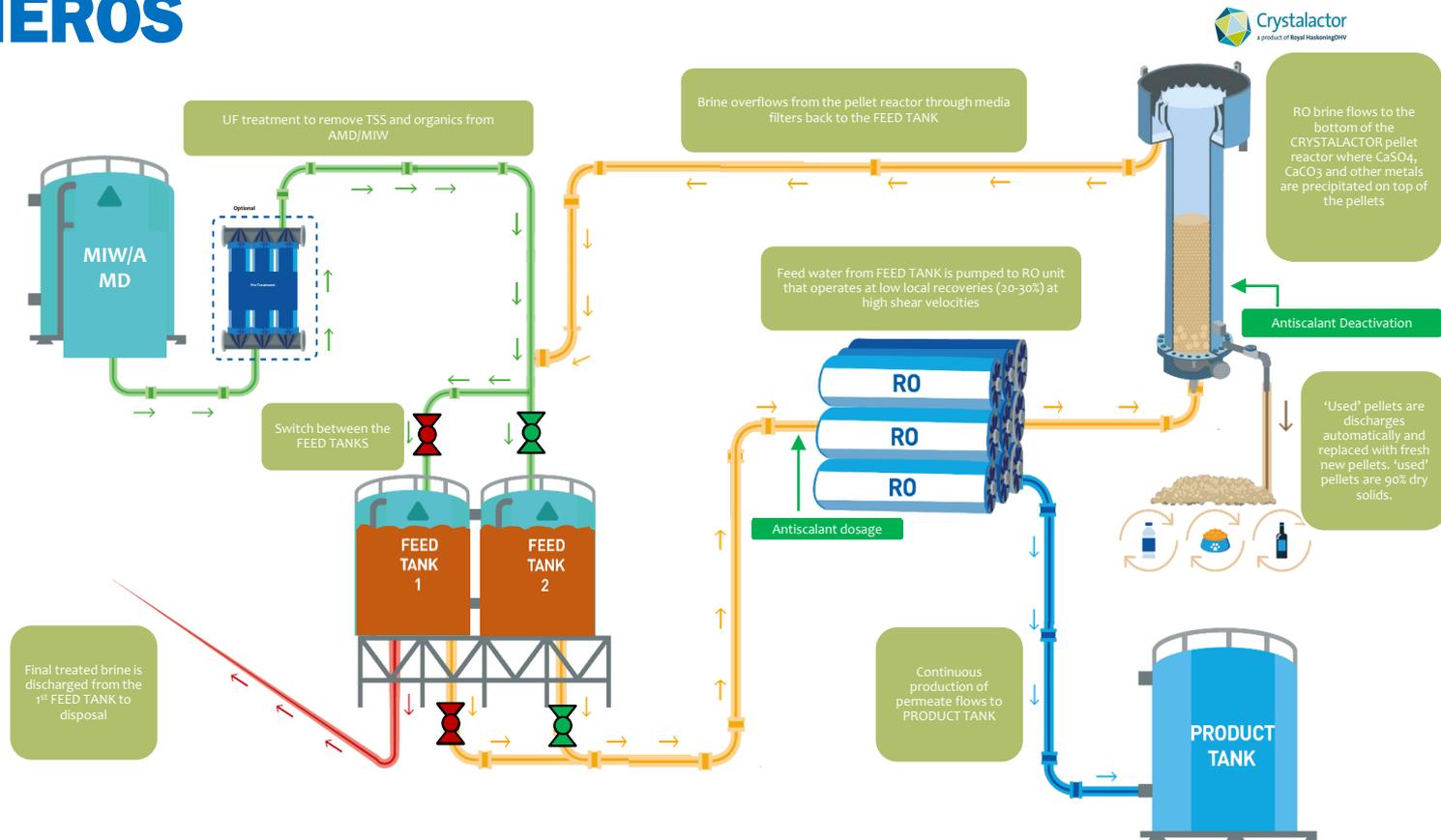


- Locación remota
- Suministro de agua a la mina de magnetita mas grande de Australia
- Planta 100% pre-ensamblada en otro sitio

30 AÑOS DE OPERACIÓN CONFIABLE EN LATINOAMÉRICA



INNOVACIONES EN TRATAMIENTO EFLUENTES MINEROS



ARD/AMD DEFINICIÓN 1 DE 3



- El drenaje ácido es uno de los desafíos que enfrenta la industria minera
- Etapa temprana de evaluación del proyecto (en resumen) de debe:
 - Identificar el potencial de generación de ARD – caracterización geológica
 - Proponer la solución mediante prevención y mitigación de drenaje ácido ARD – plan de manejo de aguas (balances) - Hidrología - diseño infraestructura aguas no contacto – línea base calidad de agua – puntos de control

ARD/AMD DEFINICIÓN 2 DE 3

- **Limites máximos permisibles** descarga- proponer una solución de tratamiento que debe ser costo –efectiva y sustentable ambientalmente / crecimiento de operación minera– cumplir normativa descarga- costo etapa cierre & post cierre



ARD/AMD DEFINICIÓN 3 DE 3



- Etapa operación (resumen):
 - Cumplir con el plan de manejo de aguas (balances) establecido y responder a compromisos ambientales definidos y aprobados por autoridad
 - Revisar solución de tratamiento – generar ajustes necesarios – modelo geoquímico predictivo v/s calidad real–**límites máximos permisibles**. Revisar estrategias para futuras etapas de expansión
 - Monitoreo y control, relación comunitaria

ARD/AMD DEFINICIÓN

- Ejemplo oxidación FeS_2 pirita generación ARD:
 - Hierro -fase soluble
 - Sulfato
 - Reducción pH



Pirita FeS_2



Calcopirita CuFeS_2



Propiedad	Especies minerales	Rango de concentraciones
Acidez	H^+	pH<4.5
Precipitados de hierro	$\text{Fe}(3+)$; $\text{Fe}(2+)$; $\text{Fe}(\text{OH})_3$	100 – mayor 1000 mg/L
Metales pesados y metaloides disueltos	Cu; Pb; Zn; Cd; Co; Ni; Hg; As; Sb	0.01 – mayor a 1000 mg/L
TDS	Ca; Mg; K; Na; Fe; Al; Si; Mn; Sulfatos	100 – mayor a 3000 mg/L

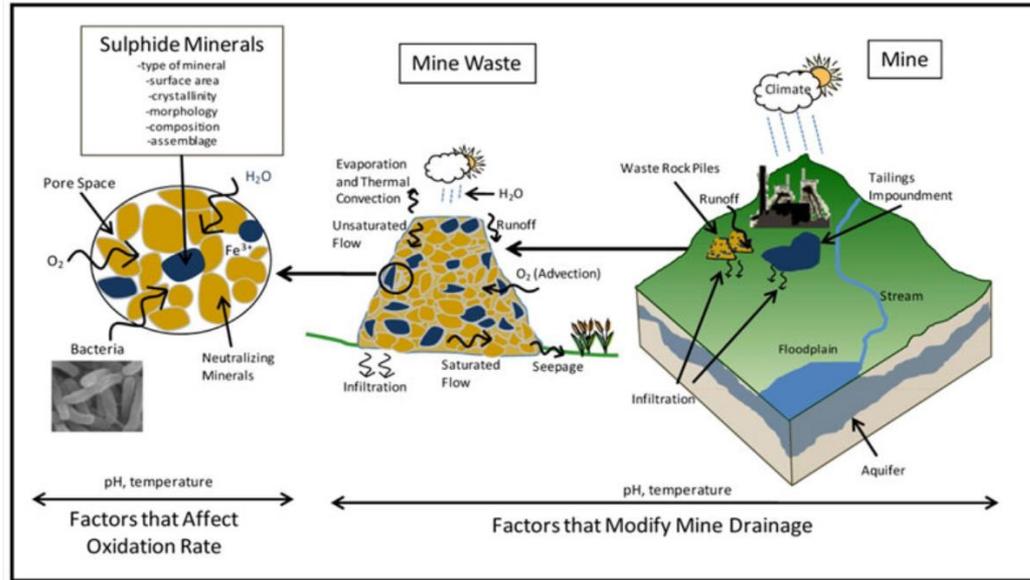
Adaptado de Mine wastes, Lottermoser, 2007

SULFATO

- Problemas que causa sulfato:
 - Concentraciones superiores a 400 mg/L – sabor al agua
 - Concentraciones sobre 1000 mg/l – efectos laxantes
 - Alta concentración y combinación con calcio causa incrustación en infraestructura
 - Estándar agua potable: OMS sin restricción particular
 - EU – 250 mg/l estándar para agua potable

ARD/AMD DEFINICIÓN

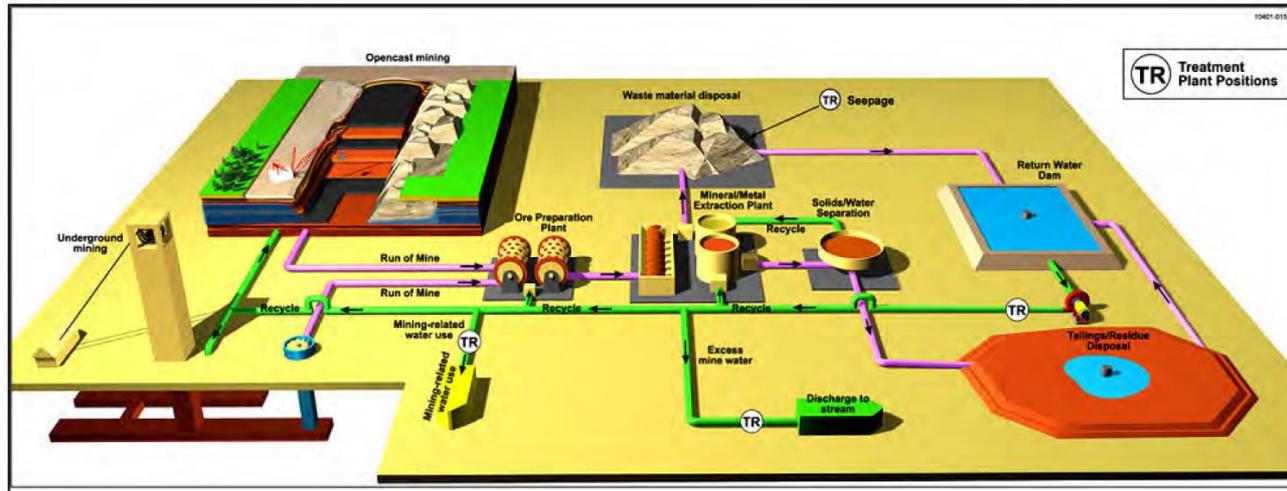
- Generación de drenaje ácido



Fuente: The International Network for Acid Prevention (INAP), 2009. Global Acid Rock Drainage Guide (GARD Guide).<http://www.gardguide.com>.

ARD/AMD DEFINICIÓN

- Esquema de un manejo de agua típico (INAP)



Fuente: The International Network for Acid Prevention (INAP), 2009. Global Acid Rock Drainage Guide (GARD Guide).<http://www.gardguide.com>.

ARD/AMD, IMPACTOS AMBIENTALES

Propiedad	Impactos Ambientales
Acidez	Perdida de H_2CO_3 , degradación de vida animal y vegetal, corrosión en estructuras
Precipitados de hierro	Turbidez y decoloración aguas abajo, precipitación de sales férricas, degradación de vida animal y vegetal, reducción en nivel de penetración lumínica en el agua, producción de incrustaciones en estructuras
Metales pesados y metaloides disueltos	Degradación e intoxicación de animales y plantas, bioacumulación, contaminación de suelos
TDS	Contaminación por sedimentación de sales y sólidos aguas abajo Produce incrustaciones en estructuras

Mine wastes, Lottermoser, 2007

ARM/AMD, TIPOS

- Rajos de mina
- Minería subterránea
- Tranques de relaves
- Botaderos
- Otras aguas de proceso similares a ARD: Efluente filtrado de concentrado



EL ROL DE LA HIDROLOGÍA EN CUENCAS

- Precipitaciones (agua lluvia/nieve), escorrentías y aguas subterráneas.
- Interacción directa con sitios mineros: piscinas de procesos, tranques de relave y botaderos
 - El agua recuperada puede ser tratada y devuelta a los procesos mineros productivos
 - Los excesos de agua deben ser devueltos al ambiente (descargas a ríos y/o lagos) cumpliendo con las regulaciones locales respectivas



<https://www.chilemineria.cl>

EL ROL DE LA HIDROLOGÍA EN CUENCAS

- Perú



<https://senamhi.gob.pe/>

- Chile



Precipitación	[mm/año]
	132
	77
	45
	82
	222
	434
	650
	898
	1.377
	1.766
	2.058
	2.656
	3.068
	3.263
	2.713

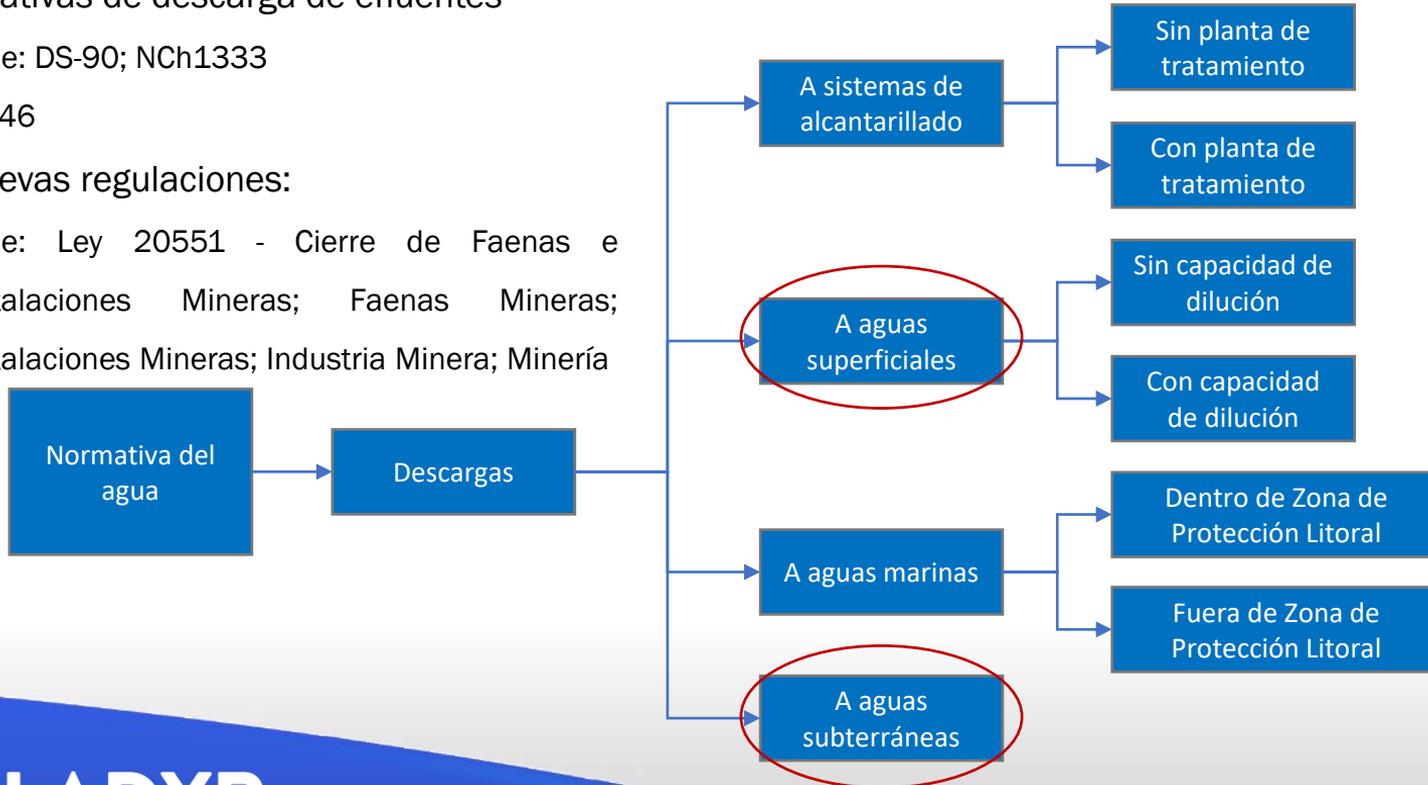
Atlas del agua de Chile, 2016

Köppen climate type

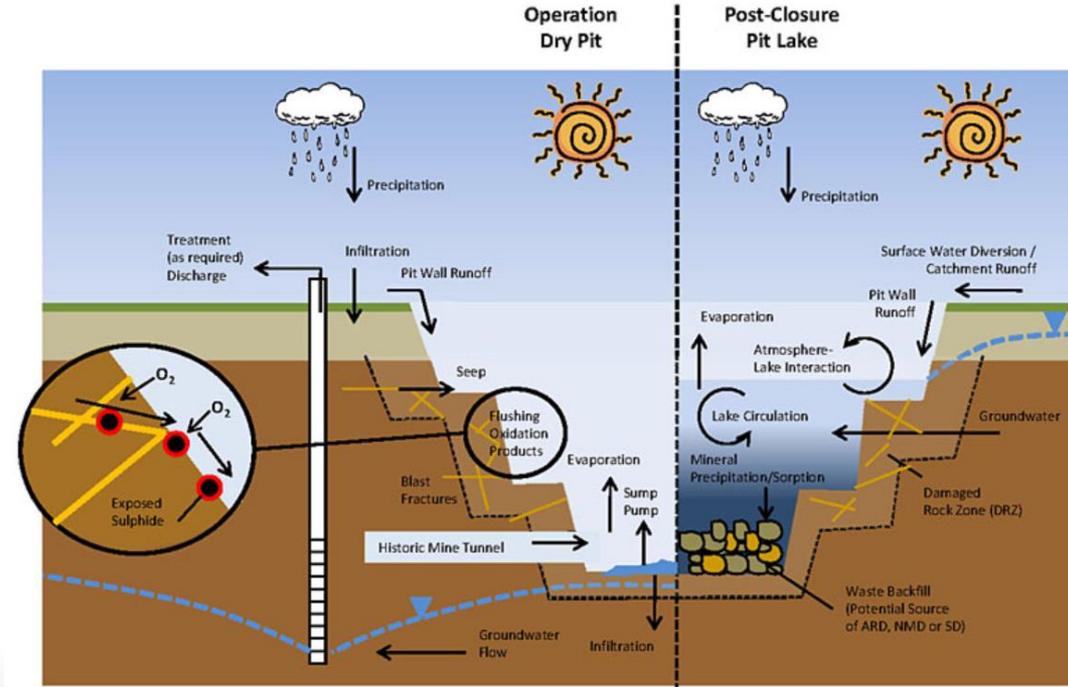
-  EF (ice-cap)
-  ET (tundra)
-  Cfc (Subpolar oceanic)
-  Cfb (Oceanic)
-  Csc (Cold-summer mediterranean)
-  Csb (Warm-summer mediterranean)
-  Csa (Hot-summer mediterranean)
-  BSk (Cold semi-arid)
-  BWk (Cold desert)
-  BWh (Hot desert)

MARCO REGULATORIO CHILENO

- Normativas de descarga de efluentes
 - Chile: DS-90; NCh1333
 - DS-46
- Nuevas regulaciones:
 - Chile: Ley 20551 - Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras; Faenas Mineras; Instalaciones Mineras; Industria Minera; Minería



EJEMPLO DE ETAPA POST CIERRE



Fuente: The International Network for Acid Prevention (INAP), 2009. Global Acid Rock Drainage Guide (GARD Guide).<http://www.gardguide.com>

MARCOS REGULATORIOS LATINOAMERICANOS

- Los límites máximos de descarga de elementos en el agua se están volviendo cada vez más estrictos alrededor del mundo. Para minería, particularmente, el más relevante es el **sulfato**:
 - Chile:
 - DS-90: < 1000 mg/L (para aguas superficiales)
 - NCh1333: < 250 mg/L (aguas destinadas a riego)
 - DS-46: < 250 mg/L (para acuíferos de vulnerabilidad media)
 - Perú:
 - ECA: < 500 mg/L (para aguas superficiales, consumo humano, con tratamiento convencional)
 - < 1000 mg/L (Aguas destinadas a riego)
 - México:
 - NOM-127-SSA1-1994: < 400 mg/L (para aguas superficiales de consumo humano)
 - En general, alrededor del mundo los límites de descarga de sulfato están bajo los 1000 mg/L (Australia, Norte América, Sudamérica, etc..)

CONCENTRACIONES TÍPICAS AGUA DE CONTACTO

- Agua de contacto ARD neutralizada:

- ~0.3-0.4% SDT
- Sulfato 1,500-2,000 mg/L
- pH neutro
- Calcio~300-700 mg/L

Parametro	Unit	Value
Sodio	mg/L	10 – 700
Calcio	mg/L	300 – 700
Hierro	mg/L	0.1 – 3.0
Aluminio	mg/L	0.8 – 1.2
Cobre	mg/L	0.3 – 0.6
Cloruro	mg/L	20 - 100
Sulfato	mg/L	1,500 – 2,000
Nitrato	mg/L	120 – 350
Allcalinidad	mg/L as CaCO ₃	20 – 450
pH		5.0-8.2
SDT	mg/L	3,000 – 4,000
SST	mg/L	5 - 20
COD	mg/L	1.3 – 6.0

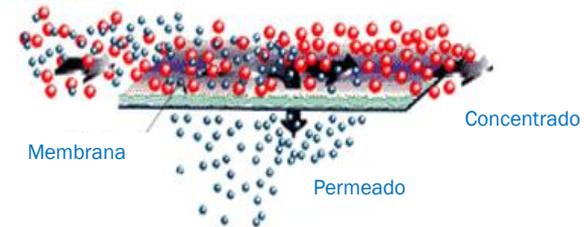
ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA LA REMOCIÓN DE SULFATO EN ARD/AMD

- Técnicas pasivas:

- Humedales artificiales (aeróbicos o anaeróbicos)
- Lechos de calcitas anoxicos
- Canales abiertos de calizas



Agua alimentación



- Técnicas activas:

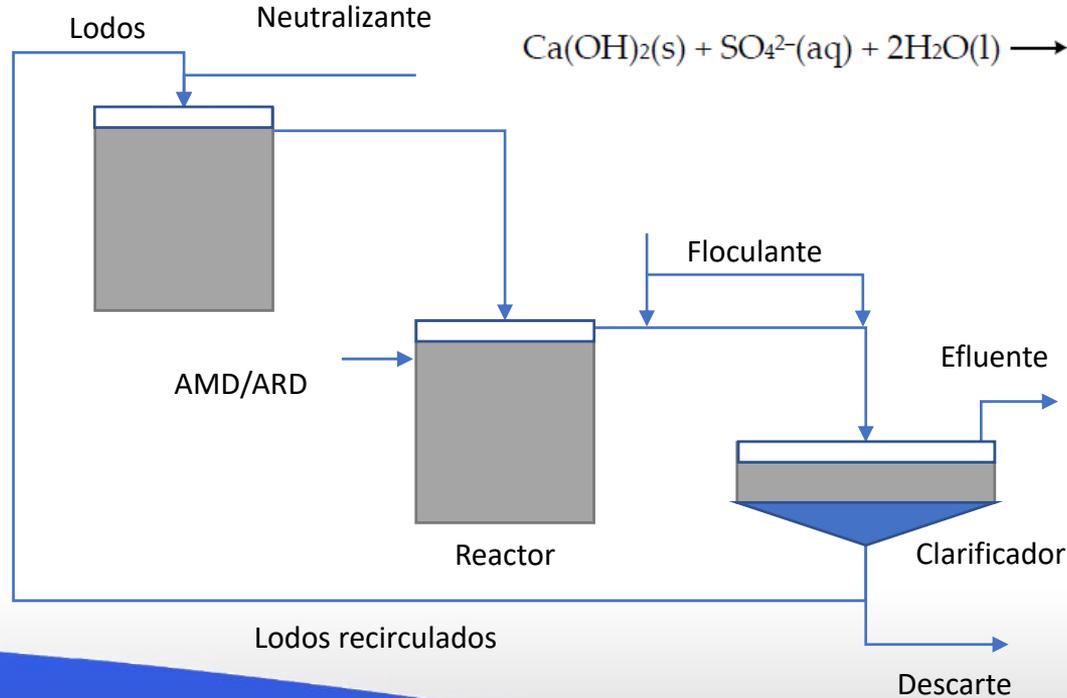
- Precipitación de sales con la adición de neutralizantes. P. ej. HDS, adición de cal para fomentar la precipitación
- Separación por membranas

Técnica activa para la remoción de sulfato mediante el uso tecnologías de membranas



Técnica activa para la remoción de sulfato mediante la precipitación de sales

HDS (HIGH DENSITY SLUDGE)



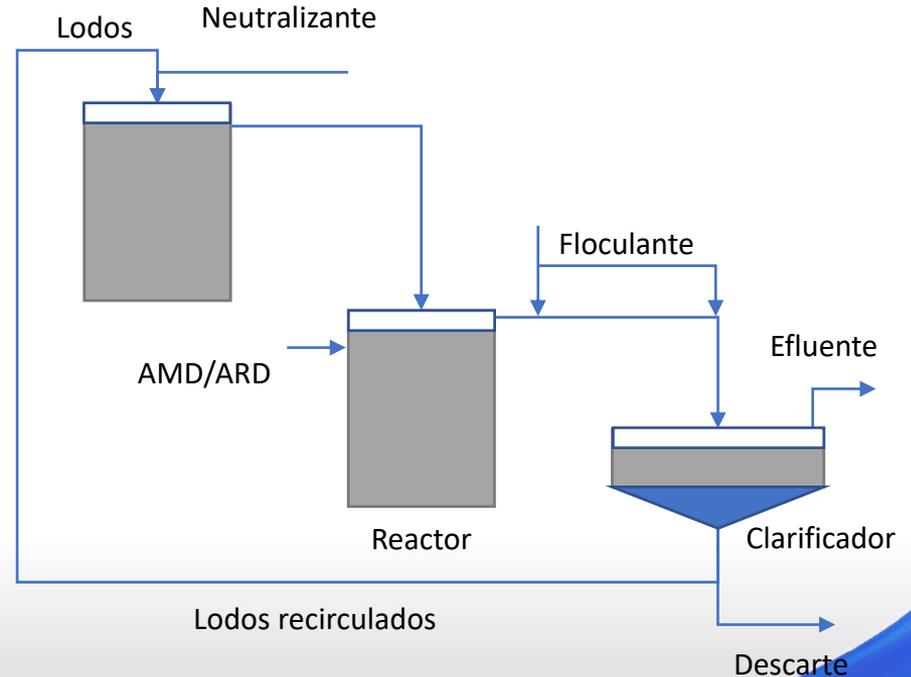
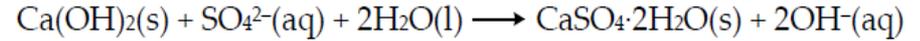
HDS (HIGH DENSITY SLUDGE)

- Beneficios:

- Permite neutralizar pH y remover metales, reducir vol. lodo v/s procesos precipitación convencionales
- Permite reusar ARD tratado como agua proceso

- Operación:

- Alto consumo de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ o CaO
- Recirculación de lodo permite acelerar reacción de precipitación y incrementar densidad del lodo
- Adición de aire- oxidación Fe y Mn

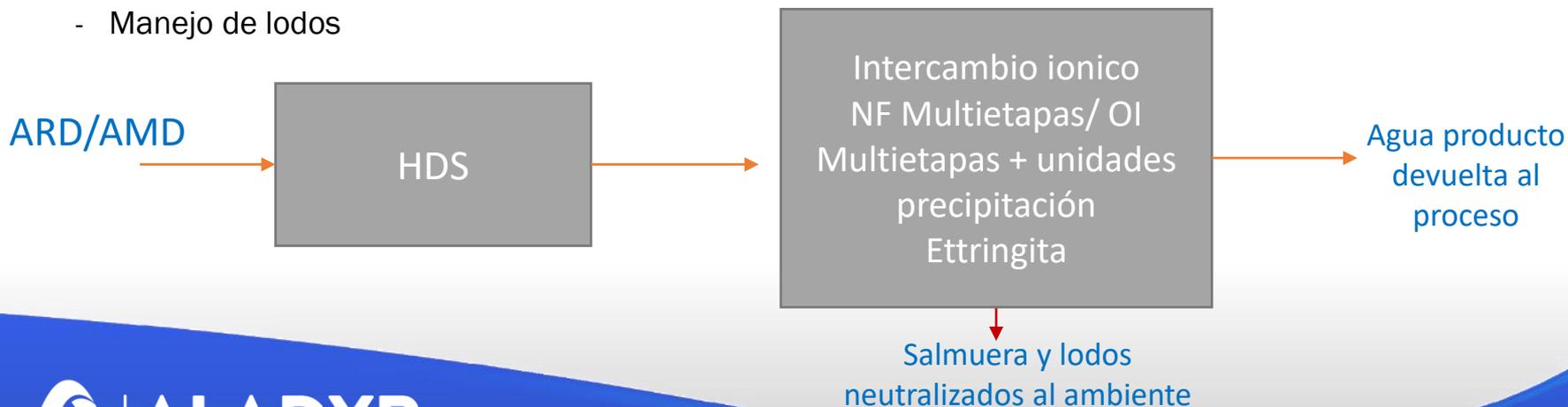


HDS CON PROCESOS COMPLEMENTARIOS



- Desventajas:

- El tratamiento HDS reduce sulfato a valores entre **1500-2000 mg/L** – no cumple con los límites máximos permisibles de descarga (LMP)
- Cumplir normativa: requiere procesos complementarios
- Requiere un alto Opex a causa del uso intenso de químicos
- Manejo de lodos



PROCESOS COMPLEMENTARIOS 1 DE 3



- Intercambio Iónico I/O
 - Resina especifica para sulfato (catiónica) y resina especifica para calcio (aniónica)
 - Regeneración resina –genera concentrado - sin referencias a gran escala
 - No es practico en efluentes ARD – no remueve otros contaminantes – requiere integrar etapas intermedias de precipitación y generación de lodos
- Ettringita
 - Adición de Aluminio (costoso insumo)– formación de ettringita
 - Recirculación de lodos para reducir insumo de aluminio- requiere acido para disolver precipitado de aluminio y reutilizar sales de aluminio
 - Elevado tiempo residencia (cinética lenta) y elevada generación de lodos
 - Alcanza bajo niveles de sulfato pero con alto costo operación

PROCESOS COMPLEMENTARIOS 2 DE 3



› Proceso biológico

- Requiere pre tratamiento para remover hidróxidos
- Requiere adición de nutrientes
- Requiere de un donador de electrón y fuente de carbón
- Operación reactor anaeróbico- SBR
- Proceso biológico sensible – sustancias toxicas
- Generación y disposición de lodos

PROCESOS COMPLEMENTARIOS 3 DE 3

› Membranas OI/NF:

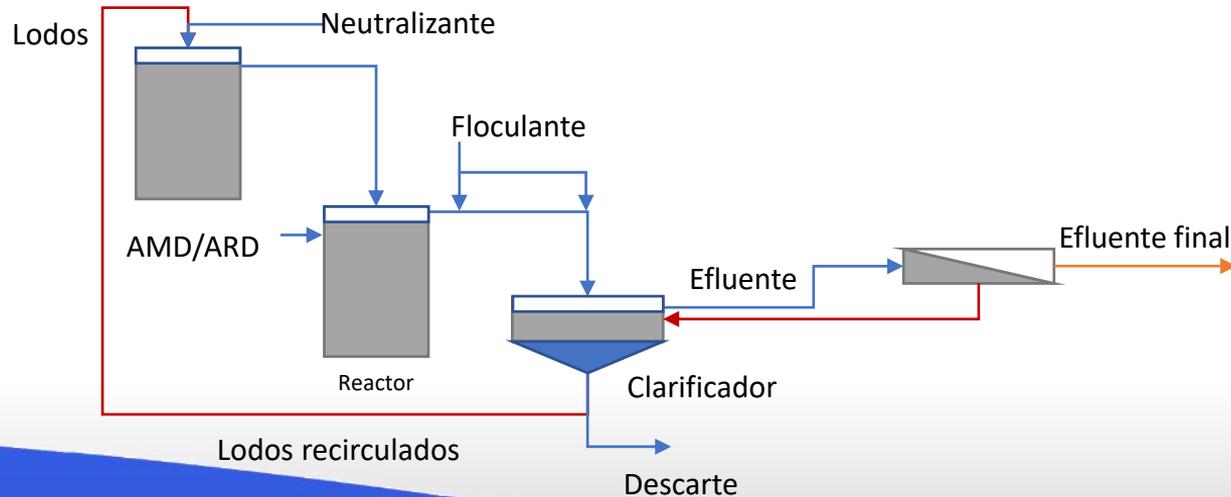
- Permite bajar los niveles de metales, y en general todos los contaminantes en el agua, hasta niveles mínimos que cumplen con las regulaciones más estrictas
- Recuperación limitada
- Generación rechazo
- Elevado reemplazo y limpieza membranas – alto potencial incrustación



SEPARACIÓN POR MEMBRANAS, NF/OI

- Desventajas:

- Requiere ajuste de pH- alto riesgo de ensuciamiento de las membranas (precipitación de sales y/o bio-ensuciamiento) -Poca flexibilidad a cambio caudal y calidades



Precipitación de CaSO_4
(ensuciamiento) en la
superficie de una membrana
OI



LIMITACIONES PROCESOS CONVENCIONALES

- **Elevado costo de operación** –1.5 USD/m³ o superior depende de calidad del agua y nivel de sulfato efluente
- **Manejo y disposición de lodos-** espesar/ bombear /disponer piscinas de acumulación – transporte a botaderos - plantas a gran escala representa costo adicional
- Bajos niveles de sulfato 250 ppm efluente– **gran cantidad de sub-procesos de precipitación** que demandan personal y manejo de químicos –difícil predecir costo operación real
- Procesos probados existentes en mayoría casos se utiliza **agua tratada para agua proceso-** no para cumplimiento normativa descarga
- Procesos con membranas convencionales –**baja recuperación y generación de rechazo**

RESUMEN PROCESOS CONVENCIONALES



IDE
Technologies | Your
Water
Partners

Desafíos	Tecnologías convencionales	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">➤ Reducir sulfato bajo 1000 mg/L➤ Alta recuperación➤ Responder a variación de calidad de agua y de caudal	<ul style="list-style-type: none">➤ OI/NF- membranas➤ Membranas con integración etapa de precipitación y adición de neutralizante en corriente de rechazo➤ IX➤ Ettringita➤ Tratamiento biológico	<ul style="list-style-type: none">➤ Baja recuperación (50-60%)➤ Precipitación y ensuciamiento en membranas➤ Alto costo operación (sales de aluminio y lodos)➤ Elevado CAPEX➤ Incapacidad de responder a variación de calidad y caudal del afluente➤ Generación de lodos

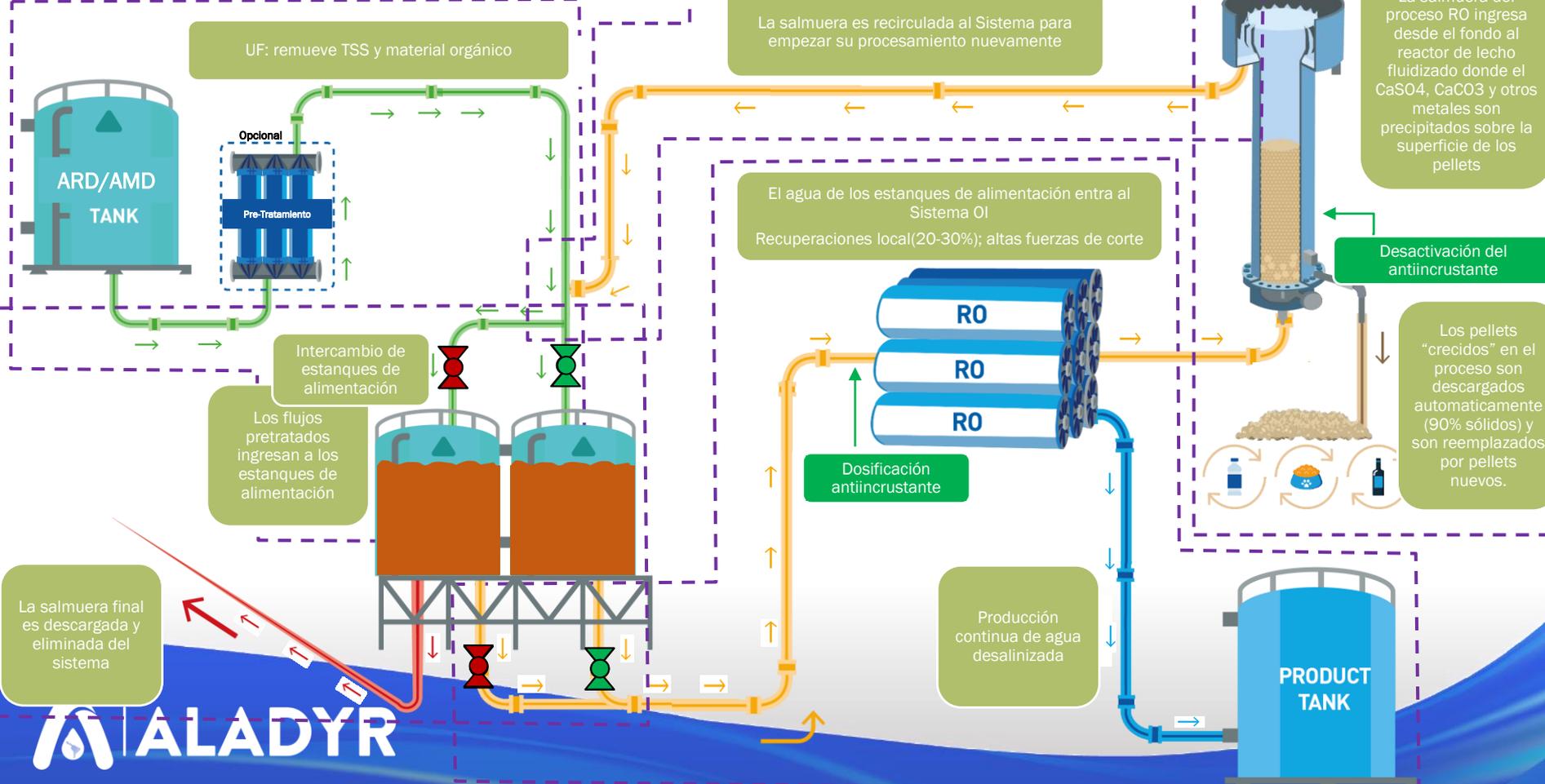
INNOVACIONES TECNOLÓGICAS

- **Proceso:** Tecnología optimizada de **membrana** + precipitación de sales (“crystalactor”/ **reactor fluidizado**)- alta eficiencia y bajo consumo de insumos (semilla de Sílice/calcita)
- **Recuperación muy alta** sin comprometer la vida útil de la membrana – ZLD con proceso complementario
- **Empuja los límites de la precipitación de carbonato de calcio, sulfato de calcio y sílice-** sin riesgo precipitación membranas
- Responde a los **cambios variables** en el flujo de alimentación y la composición química
- Solución independiente o como una solución complementaria para sistemas de neutralización convencionales – **cumplir límites de descarga permisibles**



MAXH₂O
Desalter

MAXH₂O DESALTER

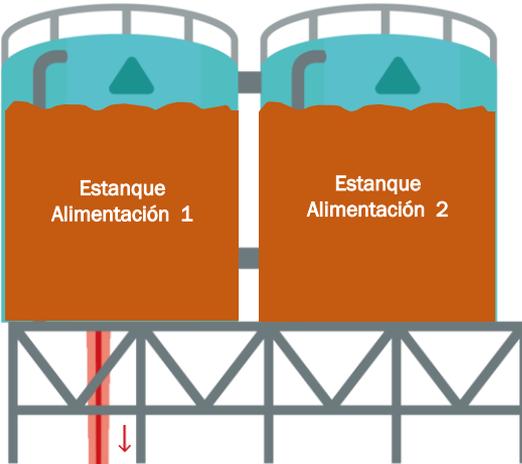


MAXH₂O DESALTER



La salmuera final es extraída del Sistema del estanque 1

Sulfatos < 1000 mg/L

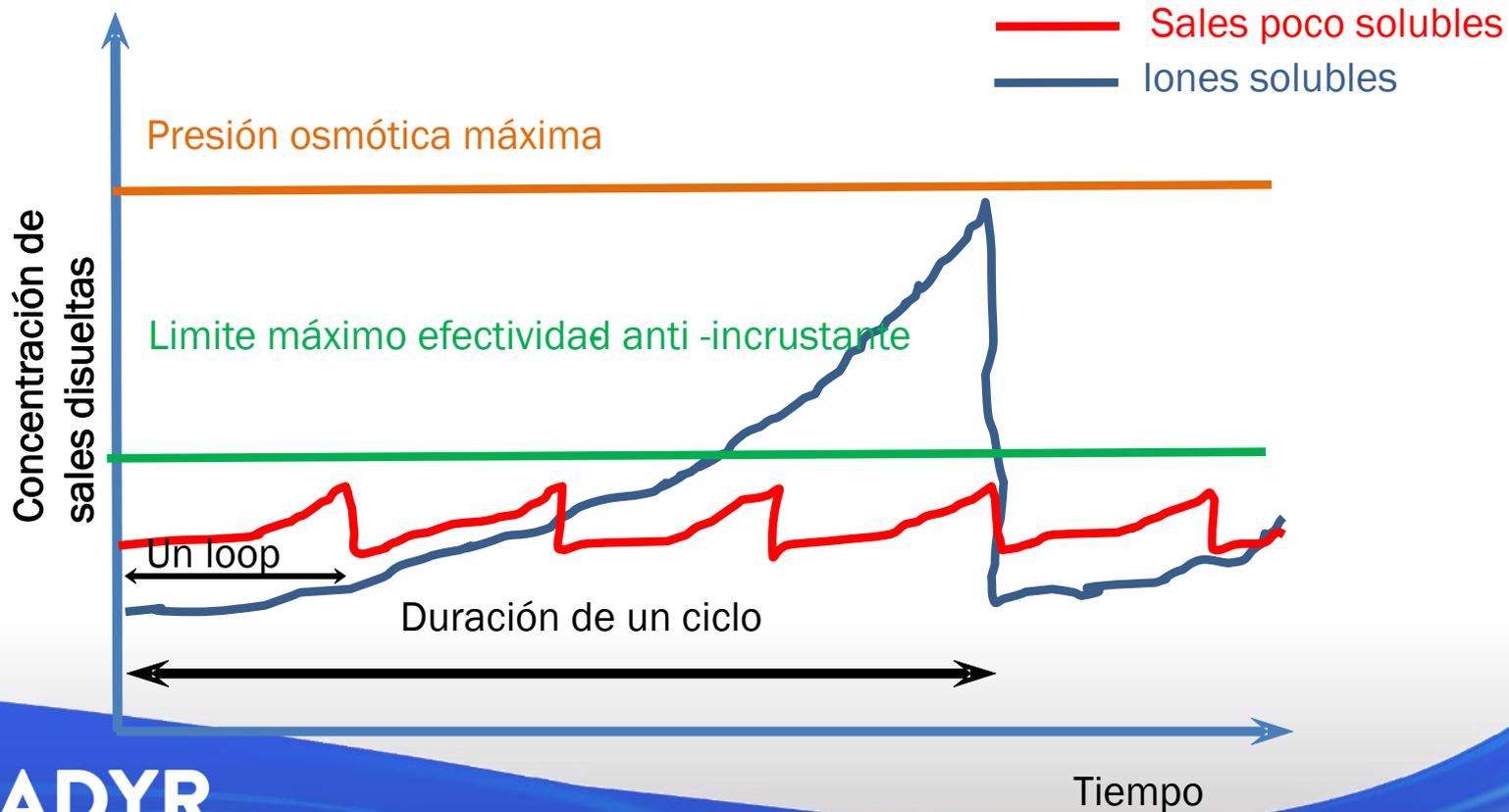


Producción continua de agua desalinizada



La mezcla de la salmuera final más el agua desalinizada del proceso permite cumplir los niveles de descarga

PROCESO - ¿CÓMO FUNCIONA?



PROCESOS UNITARIOS : MEMBRANA OSMOSIS

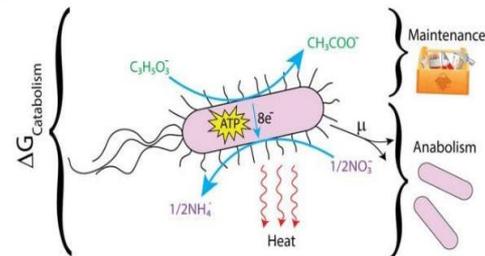


- Pre tratamiento tecnologías: probadas filtro multimedia o Ultrafiltración
- Configuración de osmosis inversa (patentada):
- Membranas OI de agua de mar – alto % rechazo sales – baja recuperación local
- Elevado flujo cruzado + anti incrustante
- Bomba de alta presión – VDF permite incrementar presión y acomodar variación de SDT
- Recuperador de energía – permite recuperar energía del rechazo de alta presión

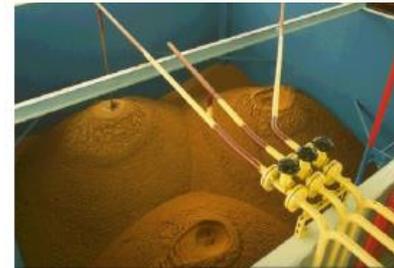
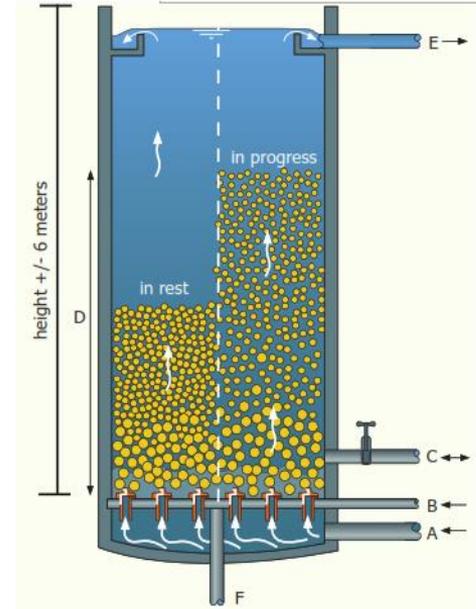
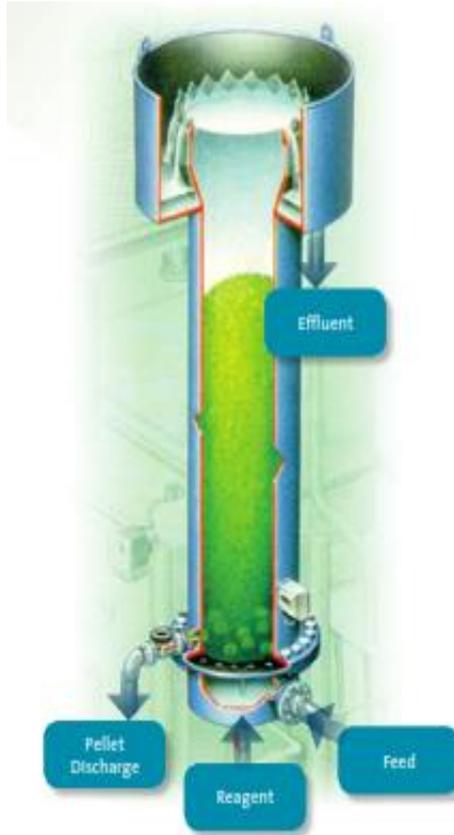


CONTROL DE CRECIMIENTO BIOLÓGICO

- Las bacterias obtienen energía al metabolizar la materia orgánica biodegradable (es decir, DBO) y desperdician energía en el movimiento, la proliferación y la adaptación a las condiciones cambiantes.
- En MAXH2O Desalter, la bacteria tiene que adoptar constantemente condiciones variables de presión manométrica y presión osmótica. Esto retarda su tasa de reproducción.
- Las altas velocidades de flujo cruzado de la salmuera ayudan a prevenir la formación de materia orgánica y depósitos de bacterias.



PROCESOS UNITARIOS: REACTOR PELLETS



PROCESOS – DISPOSICIÓN DE MATERIAL PRECIPITADO

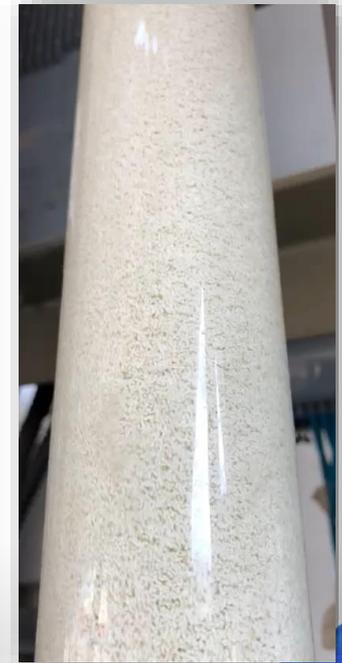
- Descarga semillas (pellets) contiene CaCO_3 /silice y precipitación de CaSO_4 contienen menos de 10% contenido de agua –descarga gravitacionalmente sin necesidad de deshidratado de lodos
- NO HAY DESAGUADO DE LODOS

Crystalactor en operación

DESPUÉS – Descarga semillas (pellets)



ANTES – Semillas



CASOS DE ESTUDIO 1- EFLUENTE MINERO NORTE AMÉRICA

Desafíos:

- 1,900 mg/L sulfato
- 95% saturación CaSO_4
- Alto potencial incrustación
- Metales que limitan funcionamiento membranas

Objetivos:

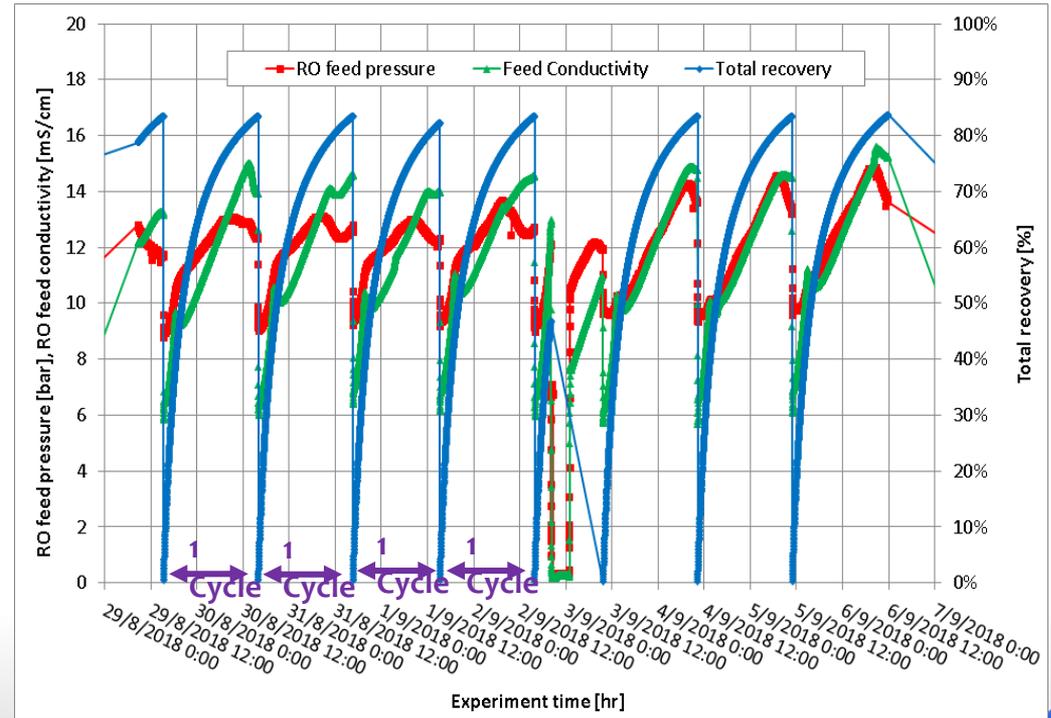
- Recuperación 85%
- Reducción SDT y sulfato

Calidad del agua

Parámetro	Unidad	Valor
pH		8.1
SDT	mg/L	3,370
Alcalinidad	mg/L as CaCO_3	448
Sulfato	mg/L	1,900
Cloruro	mg/L	19
Calcio	mg/L	445
Magnesio	mg/L	347
Log SI CaCO_3	mg/L	1.35
SI CaSO_4	%	95%

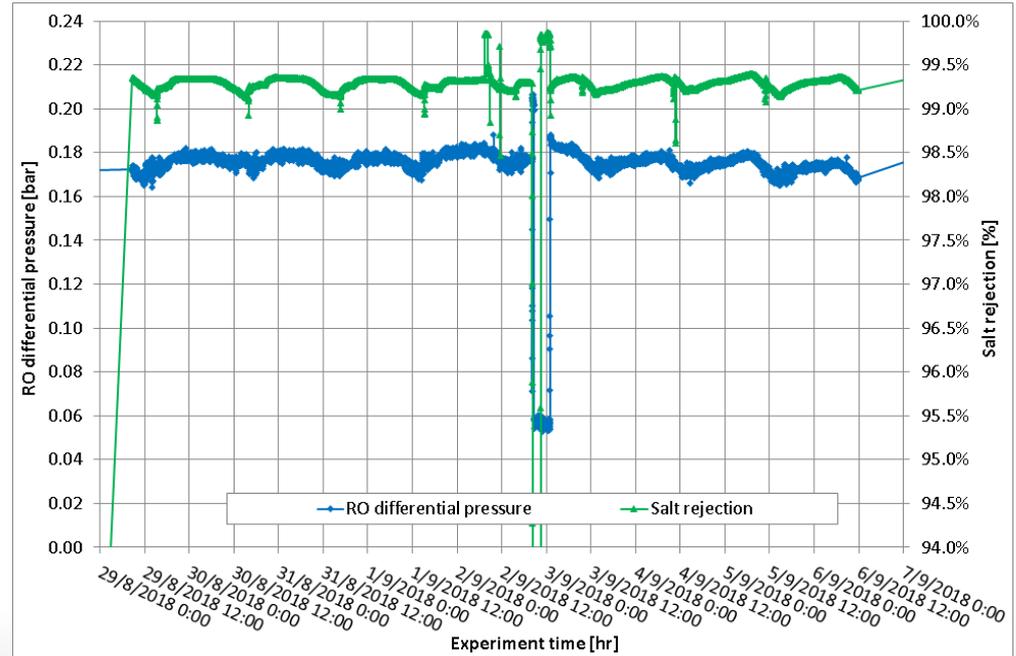
EFLUENTE MINERO NORTE AMÉRICA – RECUPERACIÓN GLOBAL

- Recuperación global– 86-88%
- Al final de cada ciclo, disminuye presión alimentación OI,
- Reducción en SDT alimentación y presión osmótica



EFLUENTE MINERO NORTE AMÉRICA – PRESIÓN DIFERENCIAL

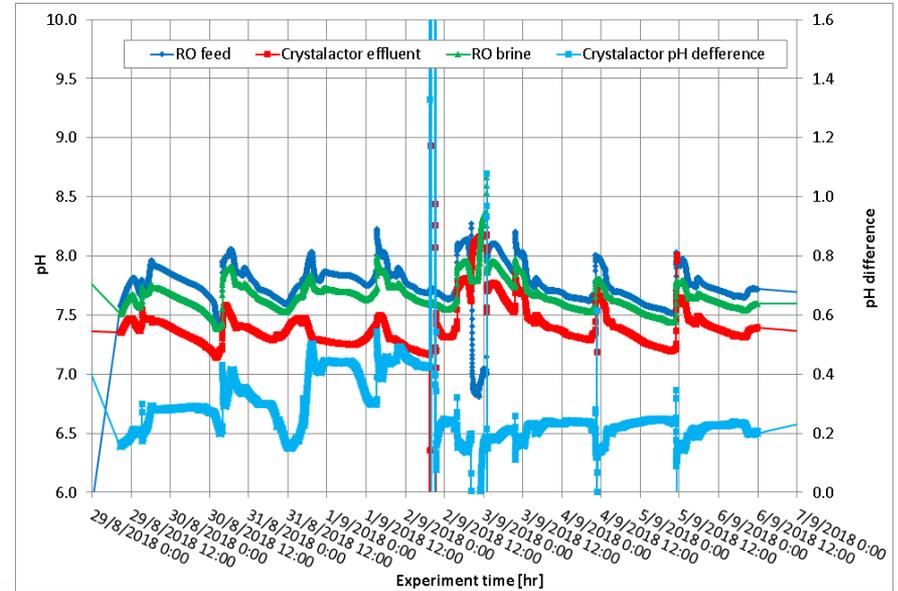
- DP constante y tendencia rechazo sales- significa no hubo incrustación en la membrana
- Pequeña variación de 7 a 8 °C debido a la diferencia entre día y noche



CASO ESTUDIO 1- DIFERENCIA PH

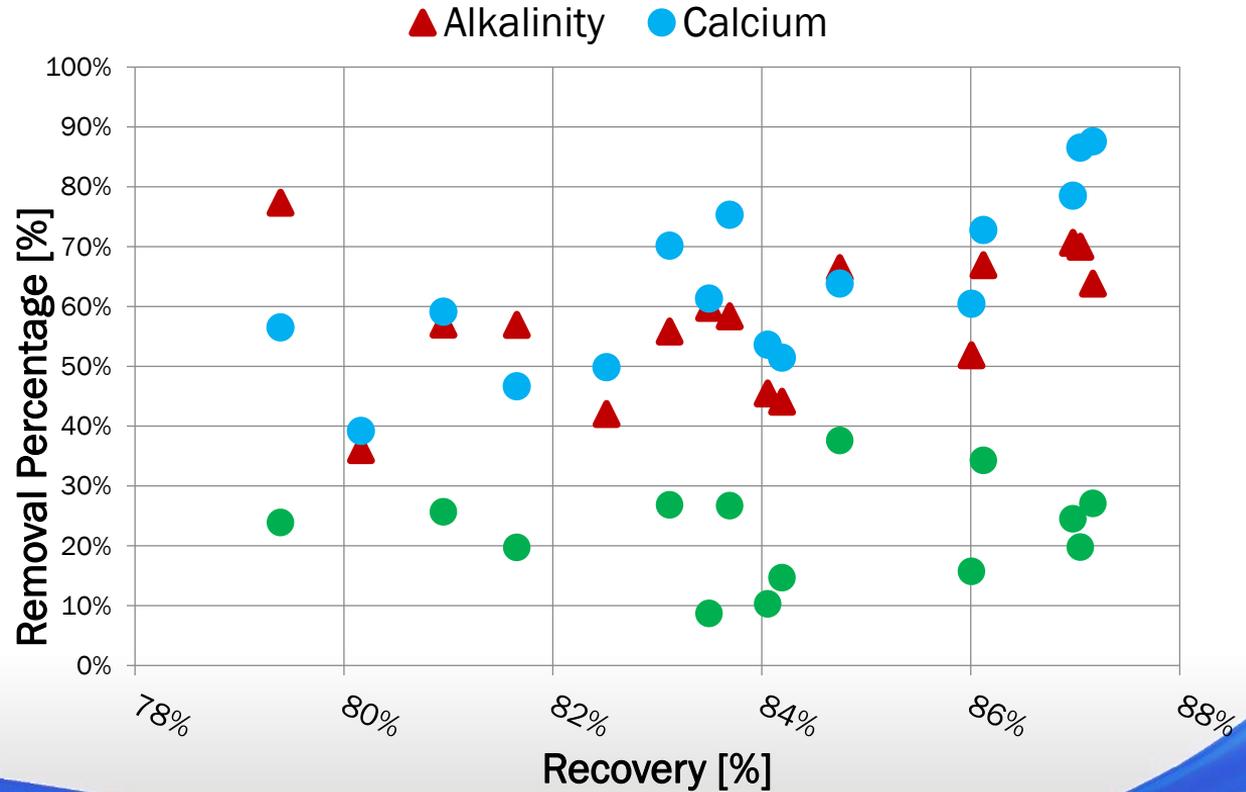
REACTOR DE PELLET

- Diferencia de pH - parámetro clave controlar sistema
- Diferencia pH indica precipitación de CaCO_3 en el reactor
- Diferencia de pH de 0.2 a 0.4 es suficiente indicador que demuestra la eficiencia y garantiza operación del sistema completo



CASO STUDIO 1- % REMOCIÓN DE SALES

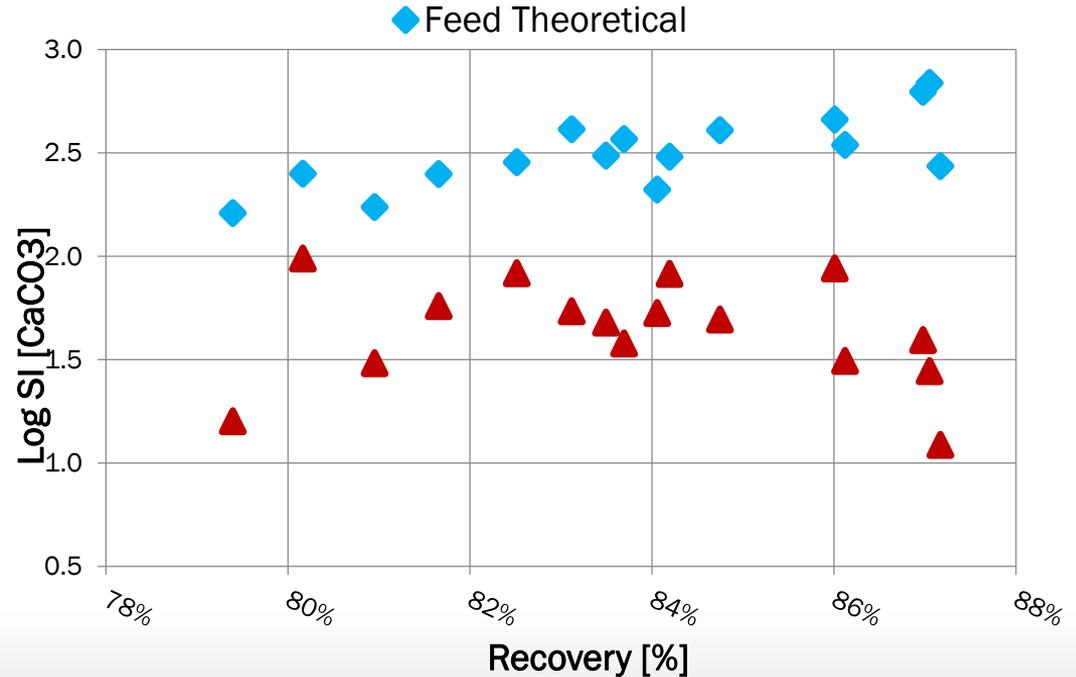
- Remoción alcanzada:
- 70% - 80% de calcio & alcalinidad
- 20% de Sulfato



CASO ESTUDIO 1- ÍNDICE SATURACIÓN

CaCO₃

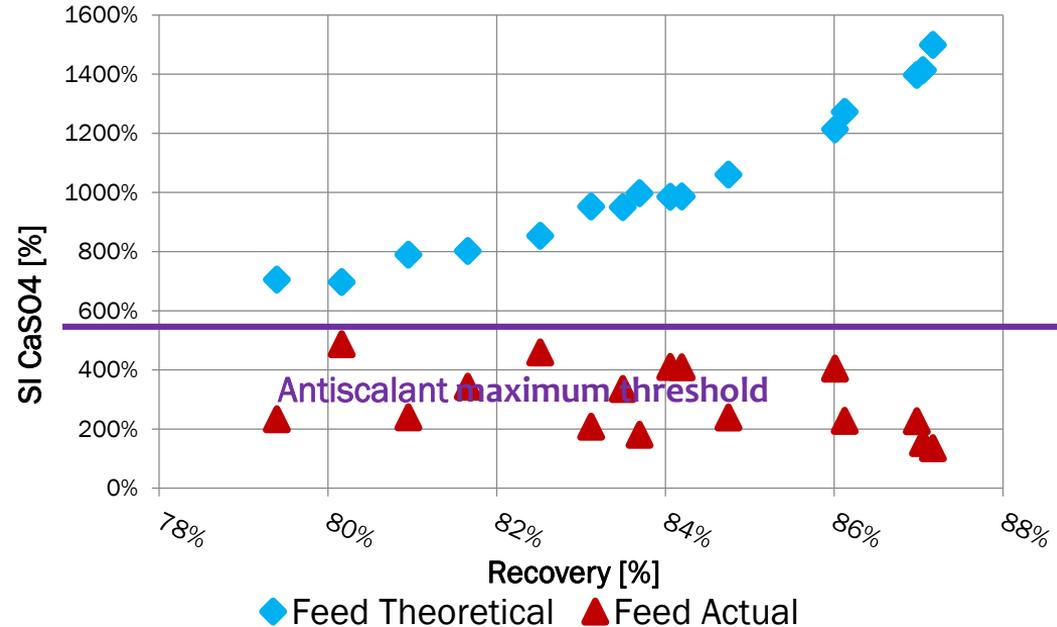
- SI de CaCO₃ real alcanzado fue de 1.5 a 2 mientras que el valor teórico sería de 3
- Esto demuestra la eficiencia de remoción de CaCO₃



CASO STUDIO 1- ÍNDICE SATURACIÓN

CaSO₄

- Valor actual CaSO₄ fue de 200% mientras que el valor teórico es de 1500%
- CaSO₄ fue siempre bajo el límite permitido por el anti incrustante de manera de mantener controlada la incrustación en la membrana



CASO ESTUDIO 1- RESUMEN DE % REMOCIÓN IONES

Parámetro	% Remoción
Dureza	23.6%
Alcalinidad	63.8%
Sulfato	20.5%
Bario	74.5%
Calcio	61.2%
Mangnesio	71.4%
Níquel	46.4%
Estroncio	42.7%

CASO ESTUDIO 1- CONCLUSIONES PRINCIPALES

Operación continua, elimina calcio, sulfato y alcalinidad en el reactor de pellets, sin incrustaciones en la membrana RO

Remoción de metales presentes en el afluente

Uso mínimo de productos químicos (solo anti-incrustante)

Recuperación del 86% - Se alcanzó el 88% (puede ir más allá del 90%) - operación en una sola etapa

La concentración de anti-incrustante se mantuvo a ~ 1 ppm como fosfato.

CASO ESTUDIO 2– AGUA CONTACTO EFLUENTE MINERO SUDAMÉRICA

Desafíos:

- Sulfato de 1,890 mg/L
- Alto potencial incrustación de CaSO_4

Objetivos:

- >90% recuperación
- Reducción de SDT y sulfato

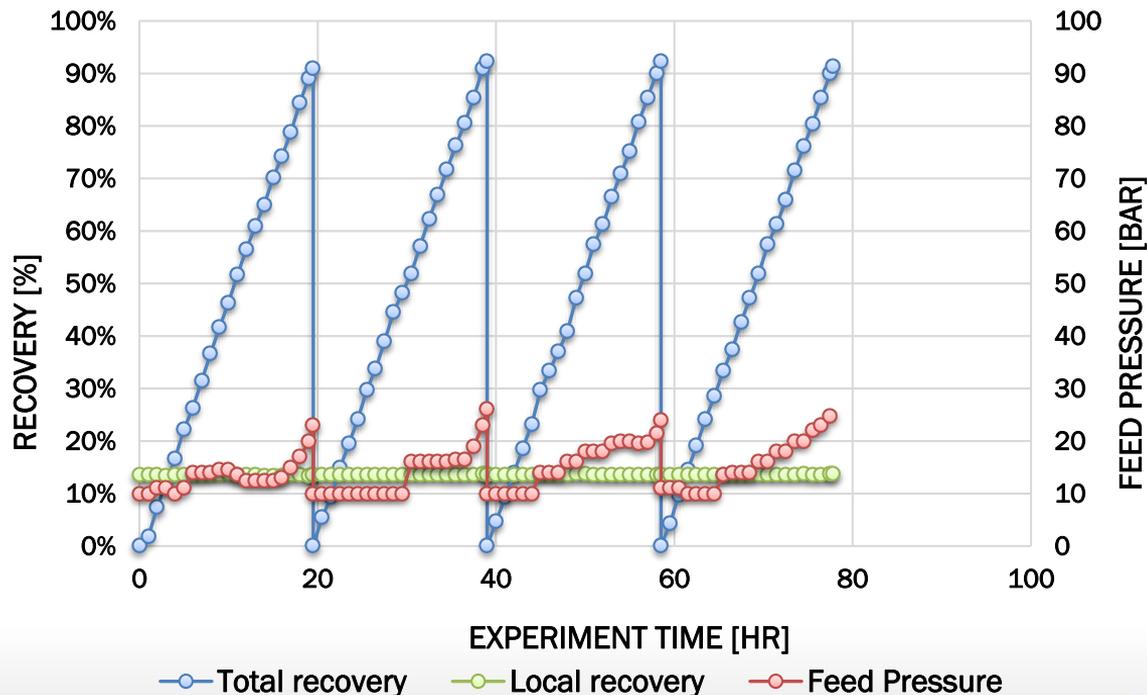
Calidad del agua

Parámetro	Unidad	Valor
pH		8.2
SDT	mg/L	3,250
Alcalinidad	mg/L as CaCO_3	23
Sulfato	mg/L	1,890
Cloruro	mg/L	92
Calcio	mg/L	290
Magnesio	mg/L	2.0

MAXH₂O

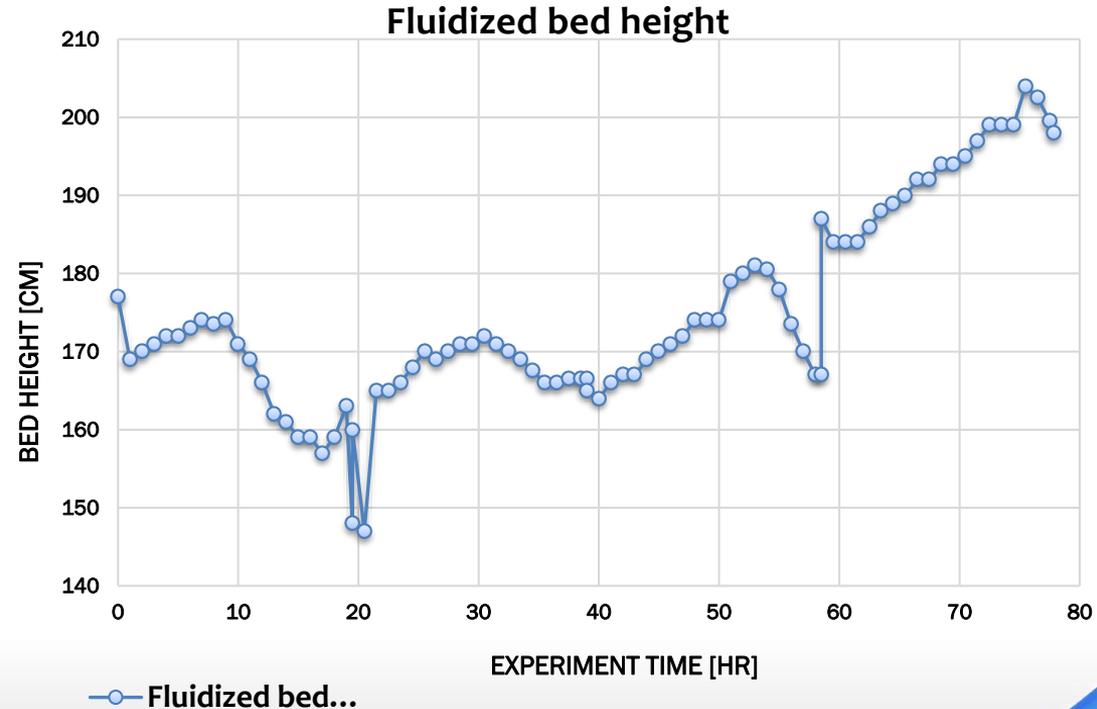
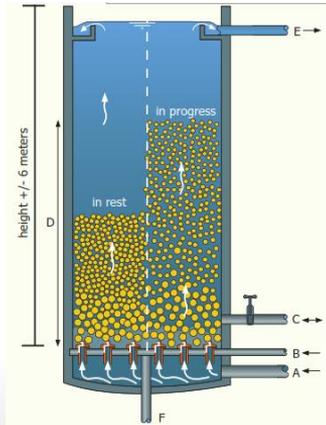
CASO ESTUDIO 2 – PARÁMETRO RECUPERACIÓN DE AGUA

- Recuperación total– 92-93%
- Presión alimentación incrementa en cada ciclo debido a aumento concentración del rechazo que se recircula



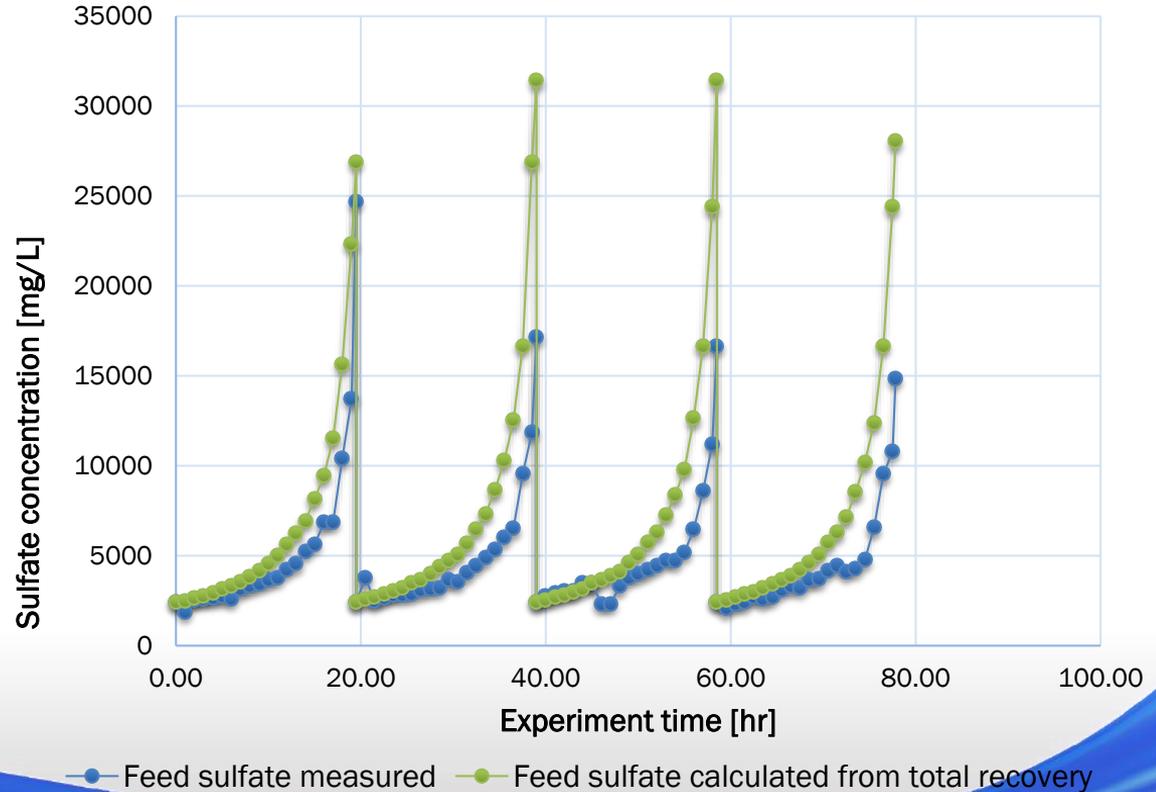
CASO ESTUDIO 2- ALTURA REACTOR FLUIDIZADO

- La altura dentro del reactor fluidizado se incrementa lo que demuestra la eficiencia del proceso de precipitación



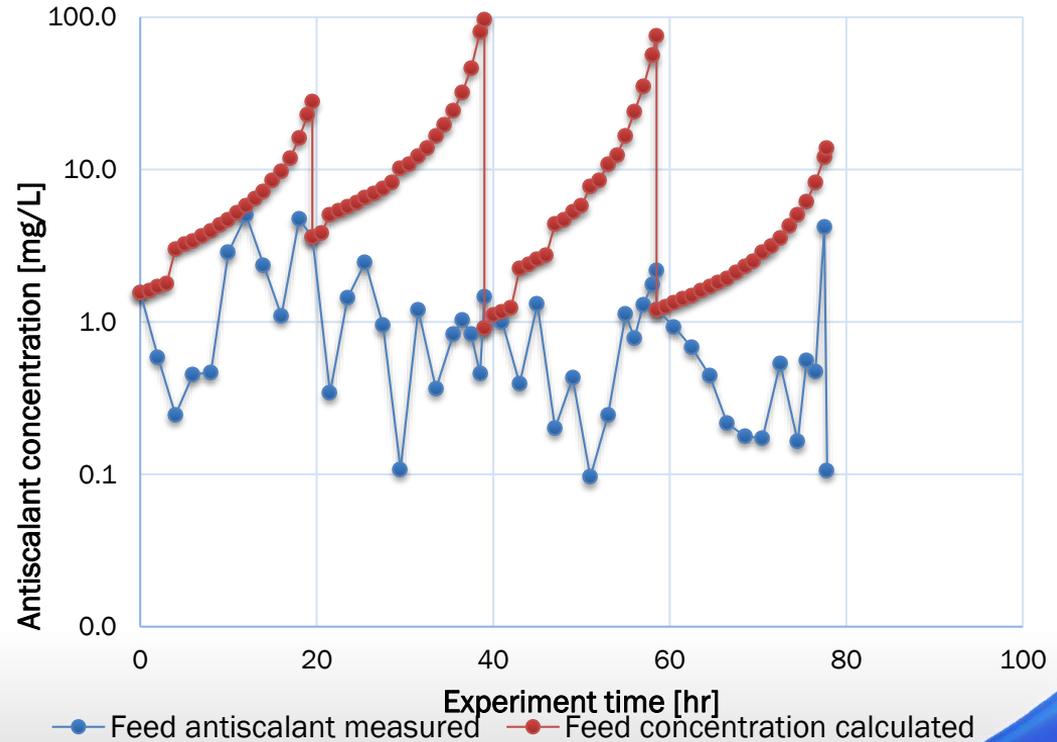
CASO ESTUDIO 2- SULTATO MEDIDO V/S Sulfato TEÓRICO

- Comparación entre la concentración de sulfato **medida** durante la operación y la concentración de sulfato **teórica** (en caso que no ocurra precipitación).
- La diferencia entre la concentración medida y la teórica es la cantidad de sulfato que precipitó en el reactor de pellets.

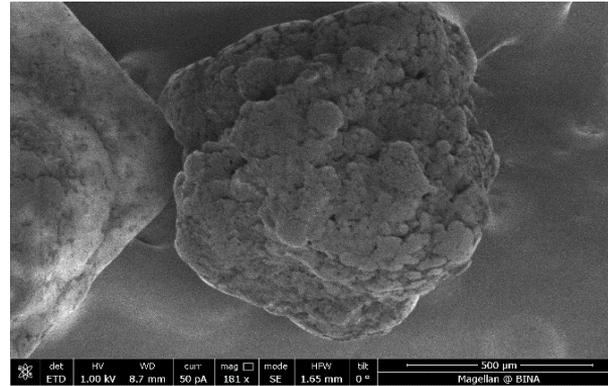
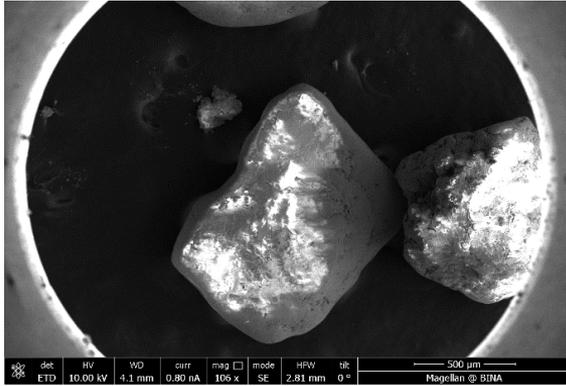


CASO ESTUDIO 2 – CONCENTRACIÓN ANTI INCRUSTANTE

- Comparación entre la concentración anti incrustante medida durante la operación y la concentración teórica anti-incrustante
- Este es un parámetro clave en el funcionamiento del MaxH2O Desalter suficiente anti-incrustante para evitar la formación de semillas en la OI pero no demasiado para evitar la desactivación en el reactor de pellets



CASO STUDIO 2 – FOTO HR SEM DE LAS SEMILLAS DE PRECIPACIÓN (PELLETS)



- Fósforo y sulfuro fue encontrado → Eficiencia anti incrustante

No.	Test	Oxygen, %w	Phosphorus, %w	Sulfur, %w	Calcium, %w
1.	First Crystal at 5 kV	64.39%	0.71%	1.32%	33.58%
1.	Second crystal at 5 kV	63.75%	0%	1.17%	34.56%
1.	Second crystal at 20 kV	67.68%	1.17%	34.56%	0.52%

CASO ESTUDIO 2 – CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

El 50% de sulfato se eliminó mediante Crystalactor en forma de sulfato de calcio. El proceso de eliminación fue inducido por la dosificación de carbonato de sodio

Recuperación total del 91-93% - operación en una sola etapa

Durante toda la operación, se añadió anti-incrustante a la corriente de salmuera recirculada. La concentración de anti-incrustante se mantuvo a ~ 1 ppm como fosfato.

COSTOS DE OPERACIÓN

- Bajo consumo de químicos, La mayoría de los casos requerirán una dosis mínima de anti-incrustante y carbonato de sodio
- Consumo de energía: 1.5-2.5 KWh / m³
- MaxH2O Desalter OPEX es generalmente 2-3 veces menor que otras soluciones de tratamiento ARD
- 3 ejemplos de OPEX en efluentes altos en sulfato en Sudáfrica y América del Norte:



COMPARACIÓN TECNOLOGÍAS TRATAMIENTO CON MEMBRANAS

	Desalter	Otras tecnologías basada en membranas
Etapas	1 etapa (2 – 4 elementos / tubo presurizado en cada etapa)	Multi etapa (3 etapas de OI + 2-3 etapas de precipitación)
Recuperación instantánea	15 – 30%	N/A
Recuperación total	Hasta 98%	50-60% Para una sola etapa (alto con una etapa intermedia de precipitación)
Flux	Igual en todos los elementos	No homogéneo (reemplazo frecuente de membranas)
Tiempo residencia	Bajo	Alto (scaling)
SDT alimentación	Puede operar con variación de SDT	Dificultad operar variación de SDT
Bio-fouling	Reduce potencial de ensuciamiento	Baja Resistencia a ensuciamiento
Potencial incrustación	Extremadamente bajo – Bajo el límite de operación de anti incrustante	Altísimo riesgo de incrustación
Costo operacional	Bajo (bajo consume químicos y no hay manejo de lodos)	Alto (Para mantener RO estable y químicos en etapa de precipitación)
Potencial incrustación del rechazo	Rechazo tiene bajo potencial de incrustación	Bajo Si la última etapa es de precipitación / alto si la última etapa es OI

CONCLUSIONES 1 DE 3

- Normativa ambiental cada vez mas estricta requiere soluciones de tratamiento que **minimicen o eliminen la generación de rechazo y manejo de lodos**
- La solución de tratamiento ideal es una combinación de procesos de membranas y cristalización (reactor fluidizado) que cumplen con lo anterior – **nueva tecnología MaxH2O** presentada en los 2 casos de estudio - solución confiable – **bajo costo operación**



CONCLUSIONES 2 DE 3

- Mayoría de los casos con **tecnologías convencionales de precipitación** se utiliza el efluente ARD tratado como agua de proceso- **no se permite descartar a cuerpos receptores** - problema futuro (etapa cierre / post cierre)
- Rol Hidrología: tratar un caudal variable y de calidad efluente - excedente de caudal que no puede ser consumido en el proceso minero (descartar agua al medio ambiente)- condición de descarga – cumplir LMP
- Los casos presentados demuestran que la introducción de nueva tecnología MaxH2O permiten solucionar el problema de remoción de sulfato de efluentes mineros y cumplir con la normativa ambiental

CONCLUSIONES 3 DE 3

- Los casos de estudio presentados solucionan el problema de remoción de sulfato de efluentes -**diferenciadores claves**:
 - **No hay generación de rechazo** –se descarta efluente cumpliendo 100% la normativa con una solución simple
 - Cumplimiento niveles de efluente tratado de **sulfato bajo 1000 mg/L**- (sin generar rechazo)- Se puede alcanzar **250 mg/L** con proceso complementario
 - **Bajo consumo de productos químicos** en comparación métodos convencionales esto es porque proceso utiliza el ciclo semi-bach para concentrar sulfato de la etapa OI y remover éste en el reactor fluidizado -reposición semillas (consumible)

GRACIAS POR SU ATENCIÓN!

Rubén Muñoz, MSc.

Director Técnico de Soluciones LATAM,

IDE Technologies

www.ide-tech.com



RUBÉN MUÑOZ
rubenm@ide-tech.com

Consultas

