

**NOVEDADES EN LIXIVIACION, EXTRACCION POR
SOLVENTES Y ELECTRO-OBTENCION**



**CARLOS AVENDAÑO VARAS
SOCIEDAD TERRAL S.A.**

INTERMIN 2005 - ANTOFAGASTA

1. INTRODUCCIÓN

Las empresas tienen varias motivaciones para innovar en los temas de su ámbito de actividad; a veces éstas son resolver un problema, en otras oportunidades la motivación es adaptarse a condiciones que han cambiado desde el diseño de su planta, o lo es adoptar avances recientes, etc. En el caso de Sociedad Terral S.A. su motivación para innovar es consecuencia de su vocación de procurar generar tecnologías capaces de ser económicamente efectivas en las plantas de pequeña capacidad de producción y plantas piloto, que son su nicho de mercado.

En consecuencia, los objetivos generales de sus innovaciones son simplemente: **Disminuir el riesgo y procurar maximizar el beneficio económico de una faena hidrometalúrgica.**

Este objetivo general procuramos lograrlo a través del cumplimiento de varios objetivos específicos, entre los que se encuentran:

- **Optimizar el enfoque del negocio:**

Mediante el descubrimiento y análisis oportuno de los factores que inciden en el riesgo de un negocio de explotación minera.

- **Aumentar las eficiencias de proceso:**

Mediante la obtención de mayores recuperaciones metalúrgicas de la especie deseada, o aumentos de la cantidad de especies recuperadas desde los minerales, o disminución de los consumos de reactivos para recuperarlas.

- **Disminuir las inversiones:**

Mediante configuraciones de plantas y de equipos que saquen el mejor provecho posible del conocimiento, de la tecnología y de los medios disponibles.

- **Disminuir los costos de explotación:**

Mediante disminución de los consumos de reactivos e insumos, o mejoras de la calidad de las soluciones ricas para evitar costos de purificación, o mejoras de las posibilidades de evitar errores que conducen a costos por correcciones.

- **Mejoras medio-ambientales:**

Para evitar costos de remediaciones y la generación de pasivos medio ambientales para el momento del cierre final de faenas.

A continuación presentamos entonces con algún detalle nuestros enfoques sobre los puntos indicados, en la secuencia de desarrollo de la metalurgia de un proyecto y con algún mayor énfasis en los aspectos más bien técnicos, en la esperanza que el lector encuentre aspectos que sean de su interés y que constituyan algún aporte a su propio quehacer profesional.

2. LA “METODOLOGIA TLM” (Targeted Leach Method)

Esta metodología se ubica en el campo de las pruebas metalúrgicas que se realizan para establecer los conceptos de procesos de un proyecto de lixiviación. El “TLM” se fundamenta en una metodología diferente de reconocimiento de los minerales, para obtener la data que permita optimizar su lixiviación y cumplir con objetivos prefijados y alcanzables cuyo cumplimiento se verifica en las pruebas de la misma metodología. Ella se ha presentado in extenso en el Paper “Metodología de Ingeniería para Abordar Proyectos Hidrometalúrgicos de Plantas Pequeñas”, presentado en el encuentro Copper 2003 y que puede ser solicitado a TERRAL.

Los pasos tradicionales de cualquier evaluación de una lixiviación en pilas implican análisis mineralógico, químico y otras determinaciones básicas, que son seguidas por pruebas en columnas bajo variadas condiciones de lixiviación para descubrir aquéllas que brindarán mejores resultados. Sin embargo, la experiencia real muestra que las condiciones de lixiviación identificadas por estos procedimientos rara vez son efectivas cuando se aplican en la práctica.

En cambio, la “Metodología TLM” aplica un método de pruebas más riguroso y más amplio de pruebas básicas que:

- a) Analiza las fuerzas motrices de la lixiviación de un mineral en contextos diferentes a los tradicionales,
- b) Intercala pruebas de columnas “Iso-pH” preliminares, para establecer las mutuas interacciones termodinámicas y cinéticas entre las recuperaciones metalúrgicas de cobre, la disolución de impurezas y los consumos de ácido y razones de lixiviación asociados a ellas,
- c) Define el contexto de una Planta de LX-SX-EW completa para evaluar la posible interacción entre las diversas secciones de la planta completa,
- d) Posibilita a los clientes definir las condiciones de calidad del PLS que desean obtener,
- e) Modela matemáticamente la forma óptima de conciliar las condiciones de procesos para cumplir con los objetivos del cliente y para lixiviar en condiciones óptimas, y
- f) Realiza las pruebas de verificación del cumplimiento de los objetivos.

Las figuras N° 1 y 2 muestran, como ejemplo, los resultados de aplicar la “Metodología TLM” a un mineral real. Las curvas de recuperación y de consumo de ácido, en función del “tiempo” de tratamiento y de la “Razón de Riego”, comparan los avances de la metodología y corresponden a los resultados de: La metodología de lixiviación en uso industrial (en azul), la columna “Iso-pH” (en negro) y la columna modelada (en rojo) con

las condiciones deducidas para lixiviar el mineral mediante una metodología optimizada. Ellas permiten observar las ventajas de la metodología tanto en términos del aumento de recuperación como en el contexto de consumo de ácido y en otros aspectos.

Figura Nº 1

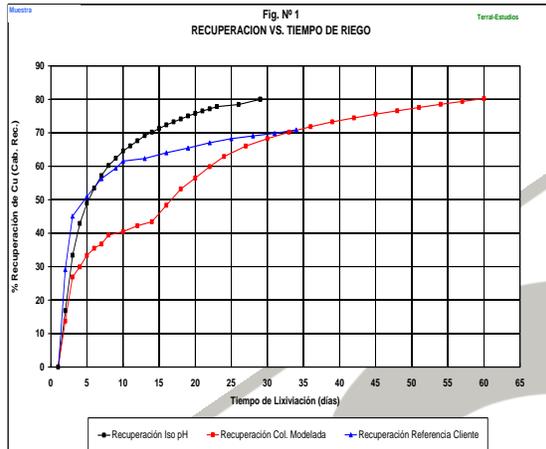
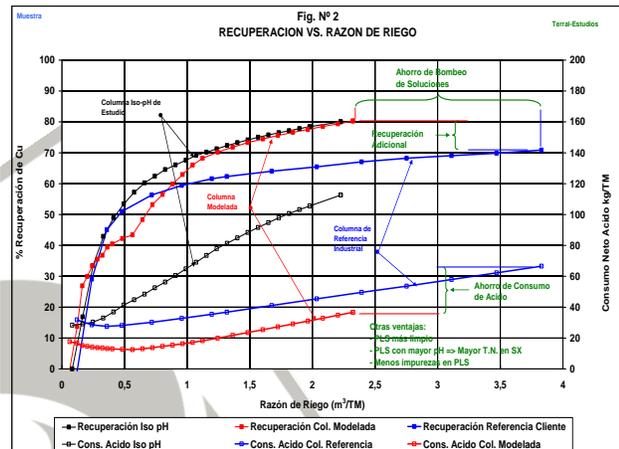


Figura Nº 2



La Tabla Nº 1 a continuación, compara las condiciones usadas en cada una de las columnas y muestra sus respectivos resultados:

Tabla Nº 1 ANTECEDENTES DE PRUEBAS

REFERENCIAS		Columna Iso pH	Columna Referencia	Col. Simulación
Condición Prueba				Mod. 1,2m. Cur./PLS/ref. p/5,5 g/l
Esquema de Riego		Pulsante	Continuo	Pulso 50% y reposo 1d/2m
Item	Unidad			
Ley Cu Columna	% Cu tot.	0,97	1,01	1,02
Ley Fe Total	% Fe tot.	5,05	4,80	5,01
Alt. Columna	m	1,01	1,20	1,20
Densidad Aparente	Kg/l	1,53	1,50	1,50
T. Riego Instant. Promedio	l/h/m2	10,07	7,40	6,13
Tasa Riego Promedio	l/h/m2	4,28	7,40	2,88
Evaporac. Promedio	l/m2/día	8,62	-4,68	1,05
Período Total de Avance Prueba	días	29,00	34,00	60,00
Razón de Riego Total	m3/TM	2,23	3,83	2,32
Recuperac. Cu (solución)	%	80,02	70,86	80,24
Idem (resp. Cu soluble hasta CN')	%	82,45	77,52	82,68
Aporte Total de Acido Libre	Kg/TM	125,66	79,90	50,34
Cons. Total Acido Libre	Kg/TM	124,51	77,55	49,26
Cons. Ac. Total (libre/comb.)	Kg/TM	80,81	60,95	146,26
Cons. Acido Ganga	Kg/TM	112,53	66,53	36,60
Recuperac. Fe (total)	%	25,56	-8,21	-6,89
Recuperac. Fe (total)	Kg/TM	12,91	-3,94	-0,03
Recuperac. Al (total)	Kg/TM	6,93		0,37
Recuperac. Mg (total)	Kg/TM	5,35		1,38
Item		Promedio	Promedio	Promedio
[Acido libre]riego	gr/lit	45,22	13,04	14,55
[Acido total]riego	gr/lit	45,22	41,36	73,79
[Cu+2]riego	gr/lit	0,00	1,01	1,28
[Fe t.]riego	gr/lit	0,00	13,58	5,32
[Fe+3]riego	gr/lit	0,00	3,35	2,70
Eh riego	mV	551	616	653,07
[Acido libre] percol.	gr/lit	0,56	0,69	0,49
[Acido total] percol.	gr/lit	21,99	36,47	18,98
[Cu+2]perc. Seg./solución	gr/lit	3,81	2,96	5,09
[Cu+2]perc. Seg./sólidos	gr/lit	3,81	1,94	3,74
[Fe t.]percolado	gr/lit	6,33	13,78	4,05
[Fe+3]percolado	gr/lit	5,07	8,03	4,04
Delta[Eh] (percolado-riego)	mV	25	35	208,50
Delta[Cu+2] (percolado-riego)	gr/lit	3,81	1,95	3,81

con refino y saldo de descarte (no con agua) y el efecto del lavado final de la pila con agua de reposición.

La siguiente Tabla N° 2 compara los objetivos asignados luego de la simulación con los resultados reales obtenidos en la prueba; los valores remarcados en verde claro indican las cifras coincidentes, y las remarcadas en amarillo muestran las cifras que aún deben ser levemente mejoradas:

Tabla N° 2
COMPARACION DE OBJETIVOS Y RESULTADOS

Análisis Simulaciones c/PLS		Objetivo	Real
Recuperación Cu (por soluciones)	%	80,02	80,24
Consumo Total Acido	Kg/TM	43,99	49,26
Consumo Acido Ganga	Kg/TM	30,64	36,60
Razón de Riego Total	gr/lt	2,21	2,32
Días Totales Sólo Riego	días	36,77	59,00
Razón Riego con PLS	m3/TM	0,44	0,40
Volumen _{PLS} Total Drenado	l	33,17	34,42
[Cu ⁺²] _{PLS} a Riego	gr/lt	5,65	5,25
[Cu ⁺²] _{PLS} a SX	gr/lt	5,65	5,09
[Ac. Libre] _{PLS} a Riego	gr/lt	0,10	0,10
[Ac. Libre] _{PLS} a SX	gr/lt	0,50	0,49
[Fe tot.] _{PLS} a SX	gr/lt	5,00	4,05
pH _{PLS} a SX			2,35
Razón de Riego con Refino	m3/TM	1,76	1,84
Días de Riego c/Refino	días	26,43	49,00
[Cu ⁺²] _{Refino a Rieon}	gr/lt	0,45	0,45
[Ac. Libre] _{Refino a Rieon}	gr/lt	17,83	17,56
[Fe tot.] _{Refino a Rieon}	gr/lt	5,00	5,41

Según la base conceptual de la “Metodología TLM”, se busca reconocer las condiciones que definitivamente impone un mineral para lixivarse y los grados de libertad que permite, para luego incorporar como imposición las condiciones que establezca el propietario, asistido por la metalurgia y que normalmente tienen una consideración económica; luego se concilian las condiciones con los objetivos y con los grados de libertad al calcular las nuevas condiciones de lixiviación que las satisfacen. Estas condiciones finalmente se comprueban en una segunda serie de pruebas, antes de implantarlas en el proyecto o en la operación industrial.

3. EL ENFOQUE “BC” (Business Configuration)

Esta es una innovación que se sitúa en el ámbito de las metodologías de la ingeniería de los proyectos. Su fundamento es que todo proyecto, de cualquier tipo, se aborda por la expectativa de ganancias y lo que se opone a este objetivo debe ser considerado como un riesgo. En este contexto, los factores de éxito y de riesgo se evalúan durante las etapas conceptuales del estudio del negocio y bajo un prisma económico.

Desgraciadamente, en un proyecto de naturaleza hidrometalúrgica, la experiencia muestra que los factores de riesgo a menudo están relacionados con aspectos de detalle que difícilmente son detectados en estas etapas conceptuales, debido a que la información de ingeniería aún no ha sido suficientemente desarrollada. Una dramática demostración real del impacto de un enfoque “sólo de ingeniería” de un proyecto, radica en la simple observación de los usuales aumentos del presupuesto calculado a través de las sucesivas etapas conceptual, básica y de detalles de la ingeniería de un proyecto, que se evidencian aún más al comparar las inversiones proyectadas con las finales y también los costos proyectados con el resultado de una operacional real.

Para resolver este problema, TERRAL creó para su uso “el Enfoque BC”, que ya se ha presentado in extenso en el paper “Metodología de Ingeniería para Abordar Proyectos Hidrometalúrgicos de Plantas Pequeñas”, presentado en el encuentro Cobre 2003 y que puede ser solicitado a Terral. Este enfoque consiste en una batería computacional completa que, a partir de una información cuya precisión está debidamente calificada, permite desarrollar varias alternativas de enfoque del proyecto para:

- Establecer las alternativas de las configuraciones generales de procesos de una planta y desarrollar las correspondientes configuraciones de pilas y de otros aspectos de detalle y calcular los balances de masa que corresponden.
- Diseñar los equipos e instalaciones que completan el total de la implementación de la planta para las alternativas consideradas, con la sola limitación del nivel de precisión de la información disponible.
- Calcular las demandas de materias primas, de energía y de consumos de servicio que sean consistentes con las decisiones de procesos y de configuración, para deducir los costos directos asociados a cada una de las alternativas consideradas.
- Calcular las inversiones que demandan las configuraciones alternativas de planta y de las correspondientes infraestructuras establecidas, usando bancos de datos o cotizaciones para conciliar los cálculos con el nivel de precisión de la información base.

- Establecer los elementos de organización de cada alternativa –tales como dotaciones de personal y demandas de servicios externos- para calcular sus costos indirectos.
- Calcular los índices econométricos de las alternativas de enfoques del proyecto, para compararlas en los distintos escenarios que sean pertinentes.

En el caso de una explotación minero-metalúrgica, comúnmente los factores de éxito se consideran asociados a:

- * **El tamaño del recurso mineral:** Se considera tanto mejor una mina o yacimiento cuando más grande es, aunque también cabe considerar que un recurso de gran tamaño asocia grandes costos de adquisición, o para la exploración inicial, además de grandes inversiones en infraestructura y capital de trabajo para explotarlo a continuación, lo que aumenta su riesgo que resulte inexplorable.
- * **El precio del metal:** Evidentemente se considera tanto mejor un precio elevado, pero el precio puede bajar a valores que ya no justifiquen el proyecto.
- * **La recuperación metalúrgica:** Que es prácticamente la primera variable controlable por la operación
- * **El consumo de ácido:** Que a los precios vigentes es otra variable de gran incidencia en los costos y resultados y que, dentro de ciertos márgenes, también depende de la operación
- * **Otros costos de tratamiento:** Que involucran una variedad de aspectos relacionados con las inversiones en infraestructura, costos de operación y hasta con los asociados a la preservación del medio ambiente. Muchas veces los factores de riesgo aparecen en esta glosa a causa de aumentos de costos para resolver situaciones no previstas oportunamente.

Todo lo cual exige que el diseño del proyecto sea realizado con:

- **Eficiencia en el uso del Capital**, con mínima inversión por unidad de producto.
- **Eficiencia operacional**, para lograr un producto de alta apreciación en el mercado y al más bajo costo.
- **Eficiencia en el control de todos los riesgos**, incluidos los laborales y ambientales y evitando la generación de pasivos ambientales a largo plazo.

En consecuencia, el “Enfoque BC” requiere conocimiento especializado para aportar en los temas de gestión y de la metalurgia tales como:

- **Conocimiento de negocios**, para abordar el proyecto de modo que obtenga la rentabilidad máxima posible con el mínimo de riesgos.

- **Conocimiento de la metalurgia**, para evaluar las mejores soluciones técnicas para resolver los factores de riesgo del proyecto.
- **Conocimiento de las configuraciones** de plantas, sea para extraer el máximo de provecho de las implementadas, o para prever sus problemas y dotarlas con adecuados grados de flexibilidad para resolverlos.
- **Conocimiento de ingeniería**, lo cual es el conocimiento básico del ingeniero para enfrentar las etapas, una vez que éstas han sido decididas.
- **Conocimiento y experiencia en los temas de tecnologías**, para especificar o diseñar los más adecuados equipos e instalaciones de planta y sus materiales de construcción, según los marcos del proyecto.
- **Experiencia en operación**, tanto para prever el buen comportamiento práctico de sus diseños durante la operación, como para abordar la programación de los sistemas de instrumentación y control; también para abordar las tareas de confección de manuales, de entrenamiento del personal, la puesta en marcha de las instalaciones y eventuales asistencias a la operación, aunque ellas sean para corregir las disconformidades que el proyecto presente bajo los términos de garantía acordados.
- **Disposición a asumir responsabilidad**, sobre materias relacionadas con el riesgo económico y para garantizar efectivamente su trabajo y optimizar el costo de sus servicios.

El “Enfoque BC” envasa conocimiento en programas de computación y en bases de datos estructuradas para aplicar una metodología estandarizada para lograr diseños de plantas que son únicos para cada proyecto. Cuenta con los siguientes módulos de cálculos que traspasan la información entre ellos mediante enlaces para mantener la información permanentemente coordinada y para reducir las revisiones producto de cambios sólo a las relativas a datos discrecionales, para economizar tiempos y costos:

- * Módulo de Configuración y Balance de Masas.
- * Módulo de Configuración de Pilas de Lixiviación.
- * Módulo de Pre-Dimensionado de Equipos e Instalaciones.
- * Módulo de Cálculo de Inversiones.
- * Módulo de Cálculo de Costos.
- * Módulo de Cálculo de Indicadores Económicos.
- * Módulo de Diseño de Detalles de Equipos.

Estos módulos se usan con una finalidad diferente en las diversas etapas de aplicación:

ETAPA DE ARMADO DEL NEGOCIO:

En esta etapa se efectúa el primer ejercicio de cálculos del proyecto con los antecedentes que se dispongan, respecto de la producción deseada, o de la tasa estimada de tratamiento de mineral y los de la información metalúrgica o de cualquier otro aspecto limitante o condicionante del proyecto, haciendo la inmediata transposición entre variables independientes y dependientes, según corresponda.

Se modelan de inmediato y en paralelo las diversas alternativas de configuración, de capacidad o de otro tipo que se desee comparar, principalmente en lo relativo a balances de masas y a la implementación de las instalaciones para distintos enfoques de procesos.

Lo importante de la solución del módulo de balance de masas (de las alternativas que se estudian), es que para construirlo y resolverlo en realidad se adoptan las decisiones sobre la configuración del proyecto. De esta manera, el producto de los cálculos del balance es en realidad la configuración del proyecto más que el balance de masas, que termina por constituir un muy importante sub-producto.

Los objetivos de este primer ejercicio de cálculos son mostrar a las implementaciones del proyecto como un todo, para descubrir los factores de riesgo causados por altos costo de inversión u otras causas.

Los comentarios, observaciones y correcciones a este primer ejercicio con los módulos del programa, permiten iniciar de inmediato nuevos y sucesivos ejercicios de cálculos, en los que:

- i. Se expliquen al propietario todos los avances de los temas del proyecto y en todos sus aspectos, para incorporar sus indicaciones, restricciones, percepciones de factores de riesgo y ensayar las soluciones.
- ii. Se atienden los factores de evaluación para “rankear” las alternativas analizadas e iniciar el descarte de algunas, para centrar los análisis posteriores sólo en los mejores prospectos, hasta elegir la “mejor alternativa” en base a los factores objetivos de ponderación establecidos para el proyecto.

Durante el desarrollo del trabajo se habrá transformado a la ingeniería en un factor del armado del negocio, pero –gracias al instrumento usado- el proyecto quedará virtualmente conceptualizado y se habrán controlado los factores de riesgo previsible y se habrán establecido los grados de flexibilidad para atender imprevistos.

Bajo los conceptos tradicionales de la ingeniería, parecerá haberse efectuado simultáneamente con el armado del negocio, una “ingeniería conceptual” muy avanzada en los temas técnicos -prácticamente a un nivel de ingeniería intermedio entre las usuales etapas de ingenierías Básica y de Detalle.

ETAPA DE DISEÑOS:

Los elementos del “Enfoque BC” pueden usarse perfectamente en esta etapa para formular los documentos oficiales tradicionales de ingeniería, tales como: planos especificaciones, informes y otros. En esta etapa se recurre a los módulos de diseños de detalle, con la información de la alternativa elegida como la mejor.

4. OTRAS NOVEDADES EN LIXIVIACIÓN

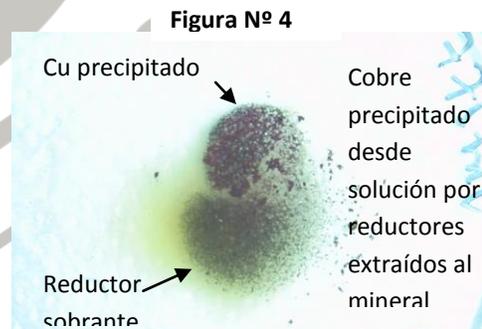
Prácticamente todas las novedades incorporadas por TERRAL en la hidrometalurgia tienen relación con la “Metodología TLM”. En algunos casos forman parte de sus fundamentos y en otros casos son consecuencias de esa metodología. De ellas, las principales son:

4.1 CONTROL DE INTERFERENTES

Uno de los fundamentos del “TLM” es un reconocimiento más cuidadoso del mineral. Como resultado de ese reconocimiento aparecen varias especies naturales que interfieren con el proceso de la lixiviación, entre los que se encuentran:

* REDUCTORES:

Especies que son capaces de precipitar el cobre previamente disuelto por los reactivos, por lo que el cobre permanece en el mineral como un precipitado metálico muy difícil de re-disolver, como consecuencia de un fenómeno de pérdida de recuperación, pero que metalúrgicamente se interpreta como una mala recuperación (ver Fig. Nº 4, con precipitado a partir de PLS por reductores del mineral).



* INTERCAMBIADORES IÓNICOS:

Generalmente consistentes en arcillas capaces de intercambiar sus propios iones con los iones de cobre previamente disueltos por los reactivos, por lo que el metal permanece en el ripio como complejos muy difíciles de re-disolver, también como consecuencia de fenómenos de pérdida de recuperación, que se interpretan como mala recuperación metalúrgica.

* SILICATOS COMPLEJOS:

Compuestos complejos formados durante la lixiviación, a partir de disolución previa de silicatos (estos son denominados “mineraloides” por algún mineralurgista) que forman

compuestos coloidales con propiedades semejantes a las arcillas intercambiadoras, capaces de fijar cationes y cobre previamente disueltos, por lo que los metales permanecen en el mineral, también como consecuencia de un fenómeno de pérdida de recuperación.

Estos compuestos interferentes (o la posibilidad de su aparición a partir de las especies disueltas) son identificados por TERRAL mediante mineralogía y pruebas preliminares y son controlados por la empresa mediante: oxidación (los reductores), o por pre-impregnación con iones sin valor (los intercambiadores) o por la adopción de condiciones desfavorables a la disolución de silicatos, para evitar la formación de los complejos más adelante.

4.2 IDENTIFICACIÓN DEL POTENCIAL REDOX COMO FUERZA MOTRIZ DE LA LIXIVIACIÓN

TERRAL afirma que el ambiente de potencial Redox tiene una gran importancia en la lixiviación. Esto es evidente en la lixiviación de sulfuros, pero también el ambiente de potencial ayuda a controlar los interferentes reductores del mineral y controla los estados de oxidación del hierro y de otros metales en la lixiviación de minerales oxidados y de esta forma define los tipos de compuestos secundarios que ellos forman.

Por ejemplo, en un ambiente reductor, el hierro estará al estado ferroso y no formará precipitados coloidales de hidróxidos, ni de jarositas y no interferirá en la porosidad del lecho. Si por el contrario el ambiente es oxidante, aumentará el consumo de ácido solamente para mantener los iones férricos en solución, pero aparece el peligro de la formación de jarositas en las zonas con mineral fresco y consumidor de ácido, compuesto que es capaz de afectar muy desfavorablemente la porosidad del lecho mineral y también la difusión al interior de las propias partículas (ver Fig. Nº 5, con jarosita formada al interior de partícula lixiviada).



Por otra parte, la oxidación del ferroso a férrico en ambientes de baja acidez, paradójicamente es capaz de devolver ácido libre al sistema y de bajar su consumo. También la formación controlada de jarositas representa un buen mecanismo para abatir impurezas en forma virtualmente permanente para controlar su concentración en las soluciones, provisto que una vez formado ese compuesto, se logra cambiar su estructura desde el coloidal estado “gel” al más permeable estado “sol”.

TERRAL usa diversos mecanismos de inyección de aire, adición de reactivos y de pulsos de riego y de reposo, para activar los mecanismos de oxidación y de cambio de estado de las

jarositas, de modo que en conjunto afecten positivamente los resultados metalúrgicos de la lixiviación.

El control del potencial Redox lleva a varias técnicas hidrometalúrgicas derivadas:

4.2.1 Lixiviación de Sulfuros

Cabe mencionar que las usuales técnicas de lixiviación asistida por bacterias usan los mecanismos asociados a su actividad para generar los iones y condiciones para lograr la lixiviación de los sulfuros. Dado lo amplio de este tema y la abundante bibliografía al respecto, quedaremos sin tratarlo en esta oportunidad, para concentrarnos en otras aplicaciones menos conocidas y divulgadas del control del potencial Redox.

4.2.2 Limpieza de soluciones de Precipitación

Aunque la precipitación es una técnica hidrometalúrgica que cae en desuso, cabe recordar que aún representa una de las pocas alternativas viables para la pequeña minería. Su principal "contra-indicación" radica en la naturaleza contaminante de las soluciones de precipitación, que deben descartarse dado que no es posible recircularlas al proceso de lixiviación, lo que redundaría en continuas inversiones en poco efectivos pozos de evaporación que afectan negativamente el resultado de la explotación.

Reconocemos que ya existe un proceso con base bacteriana aplicado por ENAMI en su Planta Panulcillo y generado bajo convenio internacional, pero los costos asociados hacen inviable esta forma de remediación.

TERRAL ha desarrollado un proceso alternativo basado en re circular las soluciones ferrosas de precipitación al riego de los rípios agotados, para usarlos como reactores de oxidación en un ambiente de baja acidez y promover la subsecuente precipitación de los iones férricos resultantes en los mismos rípios para recuperar hasta el orden del 85% del agua con pureza compatible con su recirculación al proceso de lixiviación, mientras el saldo se pierde por evaporación e impregnación en los rípios finales.

4.2.3 Generación de Ácido

El alto precio que alcanza el ácido sulfúrico asociado al alto consumo de algunos minerales ha motivado a TERRAL a estudiar la posibilidad de incorporar azufre elemental al mineral para provocar su oxidación en la propia pila al estado de ácido sulfúrico, en un proceso asistido mediante la inoculación de bacterias.

Esta investigación está aún en sus muy prometedoras fases iniciales, pero aún no logramos resolver cabalmente el problema de la adaptación de las bacterias a

ambientes que cambian bruscamente, a causa de la recirculación de las soluciones de lixiviación requeridas para ajustar la concentración de cobre en el PLS a los valores pre-fijados por el proyecto.

4.2.4 Lixiviación del Oro y Otros Metales en Ambiente Acido.

La presencia de oro en los minerales sulfurados es un poderoso argumento para descartar las técnicas hidrometalúrgicas para procesarlos, en favor de adoptar las mejor establecidas metodologías de la serie: concentración, fusión, refinación.

Este hecho movió a TERRAL a incorporar iones oxidantes en la lixiviación de tales minerales, capaces de suministrar los potenciales necesarios para oxidar el oro metálico y también proporcionar los aniones capaces de mantenerlo en solución para recuperarlo posteriormente, pero en el ambiente ácido generado por el ácido sulfúrico.

Esta investigación está aún en sus fases iniciales, pero más avanzadas que la anterior y se esperan oportunidades para aumentar la estadística de su aplicabilidad. Al presente se han logrado recuperaciones del orden del 80% desde las muestras con 3 gr. de oro/TM de contenido (y 0,6 % de cobre total, en minerales mixtos) y se ha verificado la posibilidad de recuperar el oro desde las soluciones por cualquiera de las técnicas existentes. También se explora la susceptibilidad de otros metales a esta misma metodología.

4.3 CONTROL DE CARACTERÍSTICAS DEL PLS

TERRAL sostiene que la “razón de riego” es otra de las fuerzas motrices de la lixiviación, necesaria para activar la físico química de la disolución de las especies de un mineral. Ello conduce a interpretarla en términos de las operaciones unitarias de extracción en contracorriente, de las que se deduce la posibilidad de ajustar la concentración de las especies a valores prefijables a voluntad, mediante recirculaciones adecuadas de las soluciones de lixiviación, siempre que se respeten las condiciones impuestas por el mineral y que se detectaron en la etapa de pruebas metalúrgicas.

De esta forma las características deseables del PLS pueden ser pre-fijadas como un objetivo del proceso de lixiviación; tales concentraciones quedan controladas de la forma que se indica:

* **La del Cobre:**

Queda condicionada por la recuperación y por la cinética, expresada en función de la razón de lixiviación resultante de la técnica de aplicación del riego y del ambiente redox y de las “razones de recirculación”; es independiente de la altura de pilas y de la tasa de riego, provisto que los otros factores están ajustados adecuadamente; la duración del ciclo queda

como variable dependiente de todas ellas.

* **La del Ácido:**

Queda condicionada por el aporte controlado de ácido desde diversas fuentes y por el consumo del mineral en la etapa de generación de PLS, por riego con recirculación y con refinado hasta alcanzar la “razón de lixiviación”.

* **La de Impurezas:**

Quedan condicionadas por el aporte controlado de ácido, por los ambientes redox, por el manejo del hierro y de las jarositas y de otros complejos y por las soluciones de riego y su esquema de aplicación, hasta el eventual lavado de pilas con agua hasta alcanzar la razón de riego.

Una aplicación a continuación del control de las características del PLS lleva a TERRAL a combinar sus metodologías de control de la lixiviación con la existencia de los reactivos extractantes de baja viscosidad, factibles de operar con soluciones de mayor concentración de cobre en el PLS y que permitirían la construcción de plantas SX más pequeñas y económicas al combinarse entre sí.

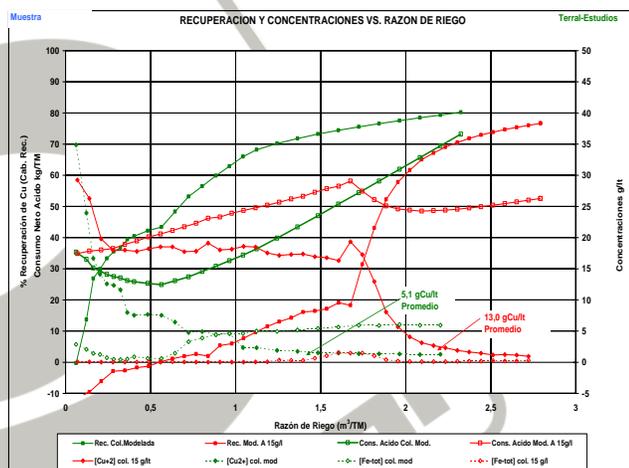


Figura Nº 6;
Curvas de lixiviaciones para PLS
de dos concentraciones de cobre5

Estos reactivos presentan transferencias netas unitarias bastante elevadas, pero son más susceptibles a alteraciones y degradaciones por los ambientes de mayor acidez y presencia de iones, por lo que idealmente requerirían PLS de pH elevado y limpias. Al respecto, se está ensayando con éxito la obtención de PLS de baja acidez (0,5 – 1 g/l), de bajo tenor de impurezas y de 15 gr. Cu/litro, a partir de la lixiviación de minerales principalmente oxidados y que presentan interferentes (ver Fig. Nº 6; recuperaciones y concentraciones de dos lixiviaciones con objetivos diferentes).

4.4 LA PROPUESTA “TRANSTEC” (TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA)

TERRAL confía haber logrado un alto grado de dominio de las tecnologías de la lixiviación de minerales, pero mediante una lógica metalúrgica que es diferente a la usualmente adoptada en la industria, por lo que reconocemos la reacción de los metalurgistas a adoptarla, al considerarla riesgosa. TERRAL acepta este hecho y también considera que no es procedente invitar a las empresas a asumir lo que sus profesionales consideren como un riesgo.

Pero también considera inadecuado comunicar sus tecnologías antes del establecimiento de cualquier forma de compromiso contractual, ya que ello le llevará como máximo a contratos usuales por prestación de servicios en base a los simples costos involucrados.

En este contexto, la propuesta “Transtec” es más bien una proposición de negocios que se basa en que TERRAL debe asumir los riesgos (no la empresa), pero que también tiene derecho a compartir los beneficios que ella obtenga por los servicios prestados. Básicamente la propuesta “Transtec” consiste en:

- * TERRAL evalúa inicialmente y a su costo y riesgo una lixiviación en curso, para determinar la aplicabilidad de sus metodologías “TLM” y evaluar comparativamente las mejoras que ellas inducirían en la empresa y su valor económico e informa a la empresa sólo los resultados obtenidos y no las metodologías usadas.
- * Según los resultados obtenidos:
 - Si los resultados son poco prospectivos; TERRAL sólo propone a la empresa los estudios que a su juicio son necesarios de realizar, bajo esquemas de contrato convencionales, y la empresa queda en libertad de efectuarlos incluso con sus prestadores de servicios habituales.
 - Si los resultados son interesantes; TERRAL propondrá un programa “Transtec” que implica la transferencia de sus metodologías bajo términos de confidencialidad y el desarrollo a su costo todas las pruebas necesarias, bajo protocolos que básicamente se orientan a aceptar que la empresa sólo procederá a la implementación de las metodologías una vez satisfechos sus criterios de éxito.
- * El segundo caso implica que paralelamente se acuerdan:
 - Las formas objetivas de medición de los resultados que se obtengan.
 - Los términos en que se repartirán esos resultados entre la Empresa y TERRAL y
 - El plazo de vigencia del acuerdo, luego del cual la empresa deja de compartir sus beneficios con Terral.
- * El programa se aborda con el compromiso que las modificaciones sólo ocurrirán en los aspectos de procesos y tendrán ninguno (o mínimo) efecto sobre las implementaciones de planta existentes, por lo que prácticamente no existirán nuevas inversiones.

5. NOVEDADES EN EXTRACCIÓN POR SOLVENTES

Los aportes de TERRAL en este campo se refieren a temas de procesos y a las configuraciones de los equipos existentes y a la creación de algunos equipos alternativos.

5.1. TEMAS DE PROCESOS

Las técnicas de extracción por solventes abren camino a varias aplicaciones para la recuperación de diversos metales y especies, más bien basadas en las capacidades de los extractantes existentes y en desarrollo para satisfacer las necesidades de la industria. Respecto de estos temas TERRAL se reconoce solamente como un usuario.

Sin embargo reconocemos la importancia de un fenómeno, que hemos clasificado como “de procesos”, que presenta una importancia operacional relevante.

- MANTENCIÓN DEL ORGÁNICO LIMPIO

Las características de un PLS impuro pueden inducir una fuerte contaminación del orgánico con micelas (conjunto de moléculas de agua atrapada eléctricamente en torno a partículas con cargas en su superficie), que afectan los tiempos de separación de fases y que causan un aumento de la tendencia a la formación de borras. La estrategia operacional correcta es mantener la fase orgánica lo más limpia posible mediante un tratamiento preventivo lateral, aplicado a un caudal de fase orgánica cargada y en paralelo al circuito en la operación normal, destinado a mantener en el orgánico una concentración de micelas en equilibrio, por debajo del valor que ya es capaz de producir problemas de separación.

En consecuencia es conveniente complementar una planta SX con una instalación destinada para limpiar el orgánico con algún agente capaz de limpiarlo de su contenido de micelas, para que la instalación sea alimentada en un esquema “batch”, cuando se considerase necesario, y también para el tratamiento de las borras cuando ellas se formen.

La disponibilidad de esta unidad de tratamiento aconseja cambiar la estrategia operacional hacia mantener el orgánico limpio (mediante un permanente tratamiento preventivo de un flujo lateral de orgánico) en vez de adoptar la estrategia de tratar el orgánico o las borras cuando el problema ya exista (en un tratamiento correctivo). El orgánico permanentemente limpio se traducirá directamente en menores tiempos de separación de fases y menor generación de borras, lo que asegurará la estabilidad de la operación y evitará costos por pérdidas y tratamientos correctivos.

Independientemente de lo anterior, la extracción por solventes también permite el desarrollo de técnicas auxiliares, en las cuales TERRAL menciona las dos que han suscitado su interés:

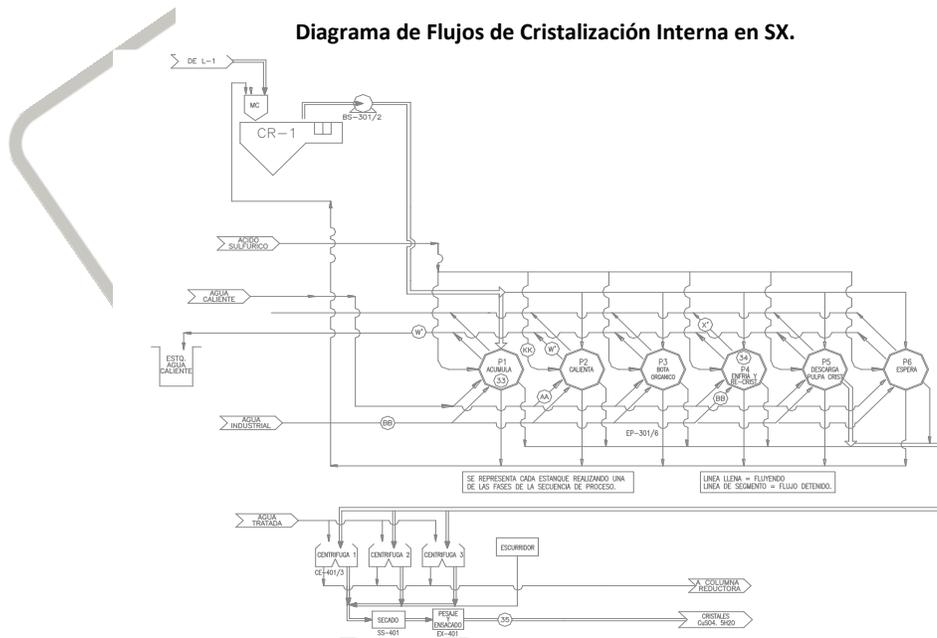
- **CRISTALIZACIÓN INTERNA**

Técnica propuesta en Chile por el Sr. Hans Hein en 1977, consistente en re-extraer el orgánico cargado con una solución saturada en cobre, cuya acidez es ajustada con el consumo causado por la formación de la sal, lo que trae como consecuencia que el cobre re-extraído no se sustenta en la solución y precipita directamente como una fase sólida que se suma a las usuales fases orgánica (descargada) y acuosa (solución sobresaturada).

Esta tecnología resulta ser una razonable alternativa técnica para proyectos de moderada o baja capacidad de producción, o en condiciones de poca disponibilidad de energía eléctrica para la producción de cátodos y cuando se dispone de seguridad de mercado para la colocación del producto final o para contratar la obtención de cátodos en una planta externa que actúe como maquiladora.

Figura Nº 7;

Diagrama de Flujos de Cristalización Interna en SX.



Respecto de esta tecnología, TERRAL ha desarrollado equipos mezcladores-decantadores mejorados para operación en continuo, con sectores destinados a la decantación de la fase sólida para que sea extraída continuamente a procesos de refinación posterior. También ha desarrollado los sistemas y equipos de refinación de los cristales, basados en la generación de una pulpa fría dosificada, que luego se disuelve por calentamiento para remover el fuerte atropamiento de orgánico en los cristales antes, de re-cristalizar sin orgánico y por enfriamiento a un tamaño de cristales de granulometría controlada.

- **USO DE EXTRACTANTE IMPREGNADO EN SUSTRATO INERTE**

Las aplicaciones de la extracción por solventes a la recuperación de elementos cuya concentración se sitúa en el rango de las ppm, generalmente con fines de remediación de efectos medio-ambientales, hace inviable el uso de los mezcladores decantadores convencionales e incluso orienta hacia el uso de resinas de intercambio iónico, que como desventajas son costosas y poco selectivas.

Para estas aplicaciones TERRAL ha iniciado pruebas con una técnica complementaria al SX convencional consistente en impregnar el extractante puro al 100% en un medio poroso inerte (por ejemplo: carbón activado) para que funcione con los conceptos de operaciones y procesos unitarios de las resinas de intercambio iónico, pero esta vez con los menores costos y mejor selectividad de los extractantes líquidos.

Esta metodología se puede implementar en plantas con varios fines específicos:

- Agotar previamente elementos contenidos en el PLS y capaces de contaminar las oximas, o
- Agotar al máximo especies de valor contenidas en el refino que retorna a la lixiviación desde la planta SX de cobre y que se perderían por impregnación en los rípios.
- Agotar al máximo alguna fracción del refino que se destine a una planta de tratamiento de riles.

5.2 CONFIGURACIONES DE EQUIPOS

Las técnicas de extracción por solventes usan sucesivas etapas de mezclado (para generar intercambios de iones a través de las interfases de la dispersión de fases) y de decantación para volverlas a separar como fases limpias. Desgraciadamente, un buen mezclado invita a la formación de gotas finas que luego decantan con dificultad variable, dependiendo de la existencia de otras fuerzas que tiendan a estabilizar las micro-gotas, y causan arrastres de una fase en otra que resultan en contaminaciones o en pérdidas económicas, lo que explica que exista un permanente proceso de desarrollo de mejoras en los dos procesos contrapuestos.

TERRAL no se ha sustraído de esta tendencia y, mirado desde el punto de vista de la decantación de las fases dispersas, la propuesta de la empresa es adoptar una dirección de flujos permanentemente cambiantes de cada una de las fases que se van separando en los decantadores, de modo que las fases se muevan en sentido horizontal y vertical y además cada una de ellas por separado desde la interfase. Con ello se modifica el usual concepto de flujos específicos, que sólo pasa a ser un concepto “aparente” dado que sólo

queda referenciada a la superficie horizontal en planta, mientras que la superficie real de decantación pasa a ser mayor al distribirse tanto en sentido vertical como en el horizontal.

En otras palabras, el flujo específico real pasa a ser sustancialmente menor que el “aparente” y además resulta específico para cada una de las fases, ya que se pueden ajustar un mayor recorrido vertical para favorecer la decantación de la fase que interesa recuperar más limpia.

Este concepto general se aplica en los distintos equipos de la planta SX, que a su vez presentan otras modificaciones que se combinan con él, por lo que ahora se pasa a la descripción de los equipos en particular.

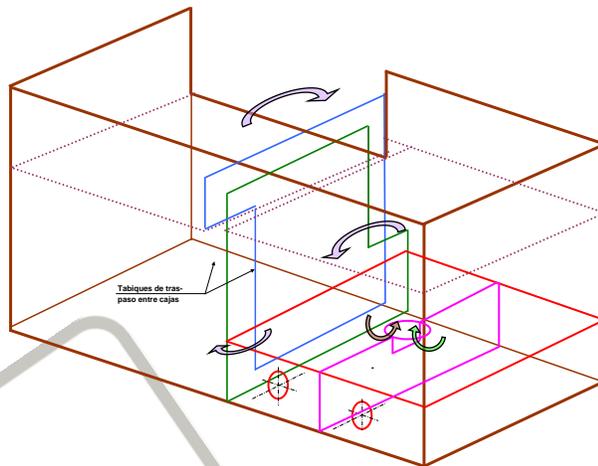
5.2.1 Mezcladores decantadores

Las modificaciones incorporadas en estos y los argumentos considerados son:

- **Mezcladores:**

- **Se usan al menos dos cajas:** para que la primera corresponda a un bombeo eficiente y las siguientes a un mezclado eficiente, además los diámetros de los agitadores resultan menores y más económicos en consumo de energía.
- **La cámara primaria de bombeo sólo es responsable de la eficiente succión de las fases y no de la eficiencia del mezclado:** para evitar el exceso de inducción de energía que se traducirá en micro-gotas y en aspiración de aire; el mezclado en esta caja será deficiente, pero la idea es tolerar gotas grandes y evitar las gotas finas.
- **La turbina secundaria sí es responsable de homogeneizar la suspensión:** pero su menor demanda de energía no expone la suspensión al cizalle de gotas. Las turbinas sí disponen de variador de frecuencia para ajustar sólo la entrega de energía que asegure una buena eficiencia final de mezclado y mejor distribución del tamaño de las gotas dispersas, pero sin exceso.
- **Los alabes de los rodets bombeadores son elipsoides y de velocidad fija:** para permitir una conducción del líquido a través del rodete sólo por vectores de velocidad radial sin componente tangencial, causante de cizalle de gotas. La presión de succión para diversos caudales de operación se logra por variación del “gap” entre el rodete y el doble fondo (sin variador de frecuencia) cambiando la distribución de energía entre el bombeo y la agitación mediante la recirculación interna que ello produce, pero sin afectar el patrón radial de los vectores de desplazamiento.
- **La cámara bajo el doble fondo está dividida:** para separar las entradas de cada fase por baffle vertical interior con rebaje, para permitir el ajuste de las presiones en caso de flujos descompensados. Las recirculaciones ingresan a las tuberías y no a las cámaras del doble fondo.

Figura N° 8;
Configuración de Cajas Mezcladoras



- **Los traspasos de suspensión entre cajas son en sentido horizontal y por ventanas:** de esta forma la demanda de presión resulta ajustable según el área de paso y puede reducirse, mientras que en el usual traspaso en la vertical las crestas quedan fijas por el ancho de paso y las demandas de presión y resultan más elevadas y demandan más energía aplicada al rodete, que puede traducirse en una dispersión más amplia y con gotas más finas.
 - **El traspaso de la suspensión al decantador es sumergido:** es otra aplicación del mismo concepto anterior.
 - **Los baffles verticales de las cajas quedan sumergidos:** para evitar la inducción de aire a la suspensión en los vórtices que provocan.
- **Decantadores:**
- **La suspensión entra por canaleta transversal con perforaciones calculadas:** para que la suspensión ingrese por la diferencia de presión causada por las perforaciones a todo el ancho del decantador; este dispositivo es responsable de la distribución uniforme de la suspensión, pero no de su coalescencia.
 - **Baffle de ingreso horizontal:** por debajo de las perforaciones de la canaleta anterior y de la interfase en reposo, para dirigir el ingreso de la suspensión de modo de mantenerla próxima a la interfase y evitar largos recorridos a las gotas dispersas para integrarse a la fase ya decantada.
 - **“Picket fences” configurados para favorecer coalescencia:** recomendamos dos barreras próximas al baffle horizontal anterior y entre sí, calculados para una muy moderada caída de presión y configuradas para generar el máximo de cambios de velocidad y dirección de flujo que fomenten la coalescencia; estos dispositivos son responsables de fomentar la coalescencia primaria pero no lo son de distribuir la suspensión en el ancho del decantador.

- **Recirculaciones capturadas por tuberías próximas a los “Picket fences”:** para sustraer esa fracción del caudal al resto del decantador y sobre-dimensionar esa zona de coalescencia secundaria.
- **Zona de baffles:** conjunto de baffles verticales, separados (inmersos en cada fase separada) y únicos (cortando la interfase entre ambas) para incorporar recorridos verticales a las fases preliminarmente separadas y aumentar la superficie de coalescencia secundaria

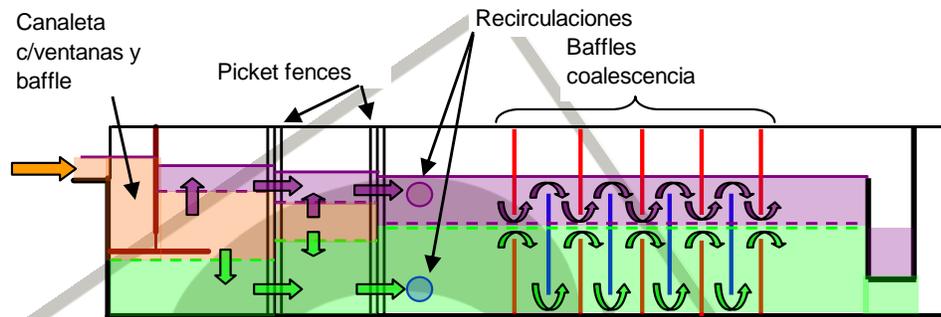


Figura N° 9; Configuración de Decantadores

- **Salidas de acuoso de E-1 y Lavador:** estas están configuradas como un pequeño estanque de orgánico de breve tiempo de residencia para separar de inmediato una pequeña fracción de los arrastres de acuoso a la etapa siguiente.

5.2.2 Post- Decantadores

Destinados a recuperar una buena parte de los arrastres de orgánico en los acuosos que salen de la planta SX (refino y electrolito rico) a causa de varios mecanismos de atrapamiento. Se instalan a un nivel levemente inferior al de los mezcladores decantadores y su característica operacional es que los arrastres remanentes en la descarga son casi independientes de las variaciones de los arrastres recibidos en la alimentación y se recomienda que el orgánico recuperado siempre se reingrese a través de la planta de limpieza de orgánico. La configuración de los equipos propuestos por TERRAL incluye:

- **La suspensión entra a cámara de flotación:** por aire inducido por turbina de alta velocidad; la solución se distribuye luego a lo ancho del equipo.
- **Zona de baffles:** conjunto de baffles verticales alternados para incorporar recorridos verticales a la fase acuosa y aumentar la superficie de decantación, dejando el orgánico recuperado en superficie. Entre los baffles se dispone de rejillas hidrófobas para mejorar la captura del orgánico por atrapamiento eléctrico.
- **Medios de regulación del nivel:** para remover el orgánico recuperado por rebalse a zona de acumulación, desde donde se le puede remover a canaleta para retirarlo del equipo.

Esta configuración resulta compatible con la patente de Counís, consistente en diluir

los arrastres de reactivo en el refino y permite agregar en este equipo la reposición de solvente.

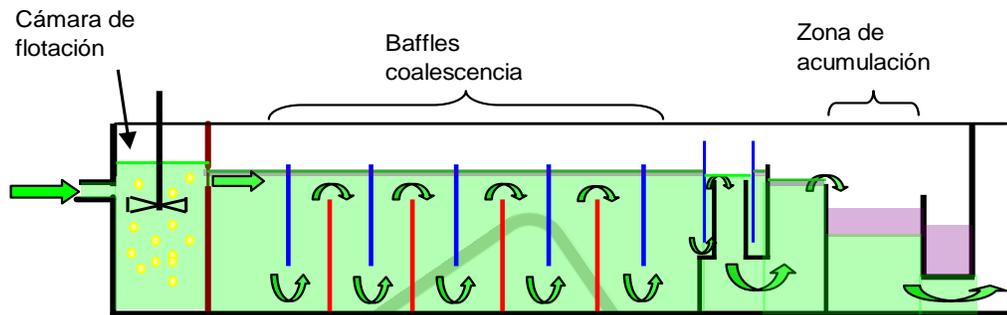


Figura Nº 10;
Configuración de Post - Decantadores

5.2.3 Estanque de Orgánico

Equipo destinado a regular la circulación del orgánico por la planta SX y a remover el máximo de los arrastres de acuoso contenidos. Este estanque también se instala a un nivel levemente inferior al de los mezcladores decantadores; su característica operacional es que los arrastres remanentes dependen del estado de limpieza del orgánico circulante en planta. La configuración de los equipos propuestos por TERRAL ha evolucionado en el tiempo y actualmente incluye:

- **Cámara de entrada:** destinada solamente a distribuir uniformemente el caudal de orgánico en el ancho del equipo.
- **Zona de baffles:** conjunto de baffles verticales alternados para incorporar recorridos verticales a la fase acuosa y aumentar la superficie de decantación, dejando los arrastres de acuoso decantados en el fondo. Entre los baffles se dispone de rejillas hidrófilas y medios de coalescencia para mejorar la captura del acuoso por atrapamiento eléctrico.
- **Foso de recolección:** zona más baja que el fondo del estanque, para acumular el acuoso retenido por tabique intermedio hasta su remoción periódica, mientras el orgánico limpio rebalsa a la zona de succión de la bomba. La altura del tabique define un tiempo de residencia asegurado para la separación.

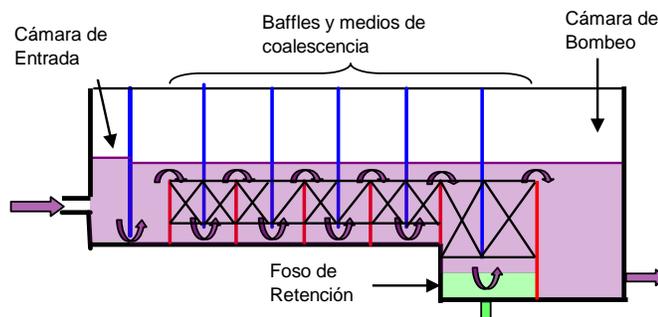


Figura Nº 10;
Configuración de Post - Decantadores

5.3 NUEVOS EQUIPOS

Entre los equipos alternativos que TERRAL propone para las plantas SX se encuentran los siguientes:

5.3.1 Combinación de Lavador-Estanque

Los menores arrastres de acuoso en el orgánico logrado con los equipos y la buena eficiencia del estanque de orgánico para separar los remanentes redundan en una fuerte economía de agua tratada para el lavado del orgánico, cuyo atrapamiento de acuoso ha decantado previamente en el estanque. Esto a ha motivado a combinar el lavador con el estanque, de forma que el orgánico sea aspirado desde E-1 por la etapa de lavado y traspasado a un decantador modificado que cumple las funciones del estanque.

Con esta configuración aumenta levemente el consumo de agua tratada (el orgánico ya no está pre-decantado) pero el equipo queda virtualmente a nivel con los mezcladores decantadores y se simplifica aún más el bombeo del orgánico en la planta.

5.3.2 Filtros de Electrolito

Algunos de los acuosos circulantes en la planta SX contienen arrastres de fase orgánica, que aunque poco significativos en términos de la cantidad de fase orgánica perdida, son relevantes por los efectos que pueden causar en las siguientes etapas de proceso, lo que aconseja extremar los esfuerzos para disminuirlos. Este es el caso de los arrastres de oximas en el electrolito rico, que pueden afectar la calidad de los cátodos que se obtengan en la etapa EW a continuación.

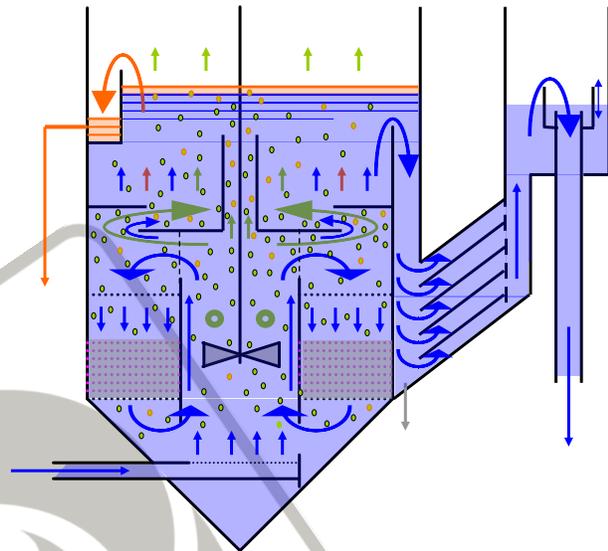
Para disminuir este problema, se incluye un “sistema” de captura constituido por dos líneas en paralelo de dos filtros en serie (es decir, 4 filtros en total) que cambian sus interconexiones durante sus limpiezas, de forma que el acuoso continúa filtrándose durante ellas, aunque con una imperceptible pérdida de eficiencia.

La configuración de cada filtro propuesto del sistema por TERRAL ha evolucionado y actualmente incluye (ver Fig. N° 11):

- **Estanque de recirculación-captación:** para recircular continuamente durante un corto tiempo de residencia el electrolito que se limpia mediante una turbina, a través de un lecho de carbón activado de alta densidad; el carbón capta en su superficie las mini-gotas de orgánico, al mismo tiempo que continuamente se inyecta una mínima cantidad de aire para remover parte del orgánico acumulado.
- **Zona de decantación:** en la parte superior del equipo, y separada por baffles horizontales de la zona más agitada, para recibir el orgánico como una capa ya

decantada y extraíble, mientras que el acuoso limpio rebosa al filtro en serie a continuación, o a la siguiente etapa de proceso, según corresponda.

Figura N°11;
Configuración de Filtro
de Orgánico en Electrolito



La limpieza de cada filtro se efectúa suspendiendo por un corto tiempo la alimentación de acuoso en forma programada, mientras el caudal se deriva al filtro de la línea paralela (sobre-cargándolo momentáneamente) mientras se invierte la recirculación interna de acuoso y se aumenta el caudal de inyección de aire. Esta limpieza del carbón activado (que se hace con el acuoso estacionado en el filtro y que no corresponde al usual retro-lavado) sólo consume aire comprimido de baja presión, sin ningún otro consumo adicional.

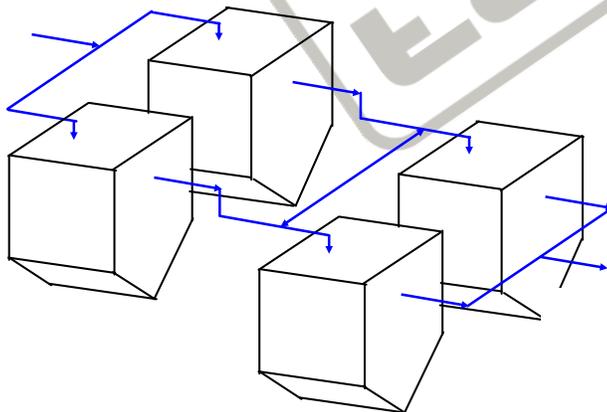


Figura N° 12;
Configuración Operacional del Sistema

6. NOVEDADES EN ELECTRO-OBTENCION

6.1 LA CELDA AGITADA Y VENTILADA

Esta novedosa celda muestra varias características destinadas a mejorar el desempeño técnico, económico (en inversión y costos) y ambiental del proceso de electro-obtención.

Los objetivos considerados en su desarrollo y diseño son:

- **Operar a muy altas densidades de corriente**, de hasta 600 Amp/m², para disminuir las importantes inversiones necesarias en esta sección de las plantas.
- **Lograr cátodos de mejor calidad**, que con las densidades de corriente convencionales, por razones obvias de mercado.
- **Resolver el máximo de problemas operacionales**, para facilitar las operaciones que se realizan durante la electro-obtención.
- **Resolver los problemas causados por el aerosol ácido**, para mejorar el ambiente para las personas y para disminuir las corrosiones en la nave.
- **Permitir la actualización de las celdas existentes**, para actualizarlas fácilmente si se decide implementar esta tecnología en una nave existente.
- **Combinarse con otras operaciones**, para que les sea posible cumplir con nuevos requerimientos en la alimentación de electrolito y para trasladar a otras secciones los beneficios que la celda logra.

Aunque la celda corresponde a un diseño más bien completo destinada al lograr los objetivos anteriores, la mayoría de sus componentes pueden instalarse por separado si se desea incorporar sus conceptos a una celda existente. Su configuración se explica a continuación:

- **Celda electrolítica:** de diseño análogo al convencional y fabricada con los mismos materiales alternativos; presenta las siguientes semejanzas y diferencias con las celdas convencionales:
 - **La caja de rebose:** queda inserta en una de las paredes extremas de la celda, sin sobresalir, lo que facilita la estructuración y el armado de las pasarelas del personal.
 - **Ancho interior:** idéntico al de una celda convencional.

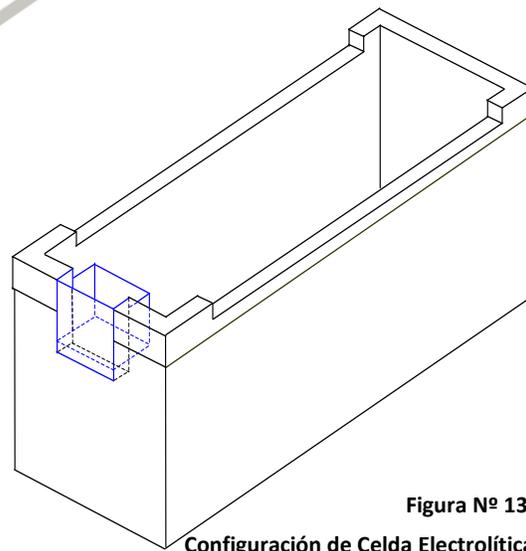


Figura Nº 13;
Configuración de Celda Electrolítica

- **Largo interior:** levemente superior al de una celda convencional, para compensar el espacio ocupado por la caja de rebose interior.
- **Profundidad interior:** levemente mayor que la convencional para permitir el manejo de los dispositivos y operaciones del desborre.
- **Bordes superiores:** levantados hasta el nivel de las barras colgadoras de cátodos en los extremos laterales y en las paredes frontales; los bordes levantados y las barras quedan en un mismo nivel y definen una superficie plana. Para actualizar una celda existente y generar los resaltos, sólo se requiere instalar piezas suplementarias.
- **Electrodos:** de geometría análoga a la convencional, pero con barras colgadoras engrosadas para resistir el paso de la mayor corriente requerida por la alta densidad.
- **Electrolito:** básicamente análogo al convencional, con las siguientes diferencias principales:
 - **Características:** mayores requerimientos de pureza y de una mayor concentración de cobre y de caudal específico para disminuir las caídas de concentración en las celdas.
 - **Ingreso y distribución:** por tubería a través de la pared de la caja de rebose, se distribuye por una sola cañería lateral cerca del fondo de la celda y por debajo del borde inferior de los cátodos, con perforaciones orientadas horizontalmente.
 - **Salida de electrolito:** captada por una sola cañería lateral cerca del fondo de la celda enfrentada a la tubería de ingreso, también con perforaciones horizontales; el electrolito recolectado en forma distribuida ingresa por vasos comunicantes al fondo de la caja de rebose y a través de tubería de elevación ajustable, para controlar el nivel del electrolito en la celda.
- **Aire de agitación:** un flujo de aire de baja presión ingresa por tubería lateral por debajo de las tuberías de ingreso y recolección de electrolito; este aire se distribuye transversalmente entre los electrodos por tuberías que forman una “peineta” de tubos de distribución que se apoyan en una placa abatible e inclinada. Este aire agita el electrolito en la celda y se suma (como volumen de gas) a la emisión de oxígeno (y de aerosol) de los ánodos; además, en las celdas de limpieza el aire desplaza los arrastres de orgánico contra la pared lateral opuesta de la celda, fuera

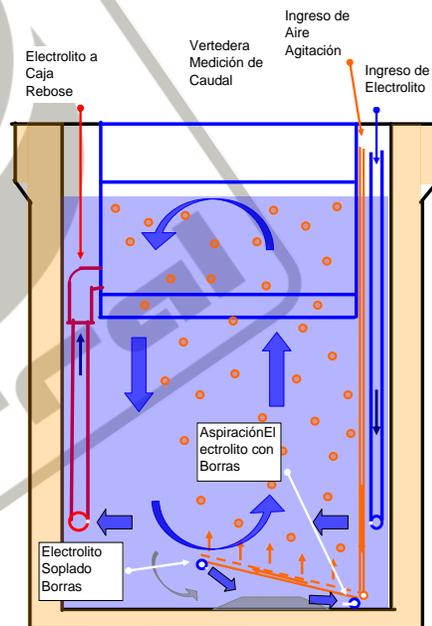


Figura Nº 14;
Circuito de Electrolitos, Aire y Lodos en Celda Electrolítica

del recorrido de los electrodos y luego lo conduce a caja auxiliar (adosada a la caja de rebose) para succionarlo periódicamente de la celda.

- **Caja de rebose:** configurada con una cámara de ingreso del electrolito descargado desde el interior de la celda (por vasos comunicantes de altura regulable) que termina en garganta calibrada para medición del caudal al verterlo a una segunda cámara con menor nivel de electrolito, para salida gravitacional a través de la pared trasera de la caja de rebose, virtualmente a tubo lleno por tubería de un diámetro menor al usual.

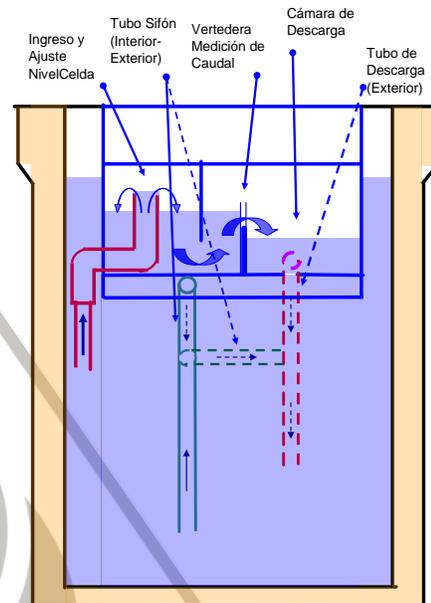


Figura N° 15;

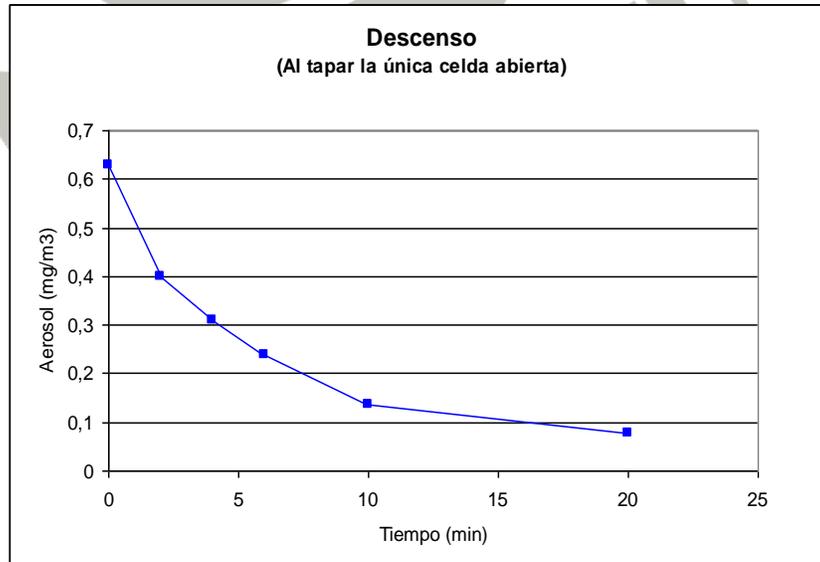
Circuito de Caja de Rebose

- **Vaciado de la celda:** el usual tapón lateral se reemplaza por tubo sifón conectado exteriormente a la tubería de descarga, por válvula que se abre manualmente cuando se requiere; la tubería sale de la celda por debajo de la caja de rebose; el vaciado total de electrolito desde la celda se efectúa por el usual tapón de fondo.
- **Desborre de la celda:** la celda se desborra cuando se desea durante la operación normal, sin interrumpirla ni recurrir a maniobras ni a los elementos adicionales usuales. Los principios se basan en la capacidad del patrón de circulación transversal del electrolito, inducido por el aire de agitación, para orientar las partículas de borra anódica al sector quieto, por debajo de la placa de entrada de aire de agitación, donde decanta fácilmente, para posteriormente agitarla y succionarla al exterior. Para lograr la extracción periódica de la borra, la celda e instalaciones disponen de:
 - **Filtro exterior:** instalado en carro movable hasta las celdas que se limpian; éste incluye bomba eléctrica con conexión flexible a la celda por la entrada de la bomba y filtros de cartuchos a presión cuya descarga dispone de otra conexión flexible con la celda.
 - **Tubo soplador:** en la parte superior, por debajo de la placa inclinada, ingresa electrolito a presión desde conexiones en la caja de rebose, por bombeo desde la descarga de los filtros de cartucho y lo distribuye por perforaciones a lo largo de la celda para agitar la borra decantada y empujarla al tubo de succión.
 - **Tubo de succión:** en la parte inferior y por debajo de la placa inclinada; la borra agitada por el soplado con electrolito, es aspirada por la bomba a través de tubería a lo largo de la celda, con perforaciones para succionar la borra agitada hacia los filtros.

La extracción de la borra dura el tiempo necesario hasta recirculación del electrolito limpio; los cartuchos filtrantes con borra se descargan y lavan en lugar confinado.

- **Ventilación de la celda:** la mayor densidad de corriente utilizada en esta celda y el aire de agitación aumentan notablemente el aerosol generado por la celda y la ventilación se torna un aspecto muy crítico. Los principios usados para controlarlo se basan en adoptar un esquema de ventilación por celda, para disminuir el volumen de aire a renovar. Para lograr una ventilación adecuada, la celda dispone de:
 - **Tapas plásticas flexibles:** confeccionadas con láminas de PVC flexible y transparente que se apoyan virtualmente planas en el plano definido por las barras colgadoras de los cátodos y las paredes de la celda, realizadas en los extremos cubriendo incluso la caja de rebose; estas tapas confinan un pequeño volumen de aire entre las paredes de la celda y el nivel del electrolito en su interior.
 - **Ductos de aspiración de aire a celdas:** configurados por “capping boards” tubulares con perforaciones, que inducen la entrada de aire a cada uno de los espacios entre electrodos, para un barrido transversal del volumen de aire confinado. El aire ingresa a los “capping boards” por mangueras conectadas al exterior de la celda y abiertas a la atmósfera, a través de la pared posterior de la caja de rebose.

Figura N° 16;
Aerosol desde Celda Electrolytica



- **Ductos de succión de aire desde celdas:** configurados por “capping boards” tubulares (por el lado opuesto a los de aspiración) con perforaciones que extraen el aire desde cada uno de los espacios entre electrodos, para un barrido transversal del volumen de aire confinado. El aire se succiona desde los “capping boards” por mangueras también conectadas al exterior de la celda, a través de la pared posterior de la caja de rebose.

- **Extractor y ductos exteriores:** extractor fijo externo de alta capacidad, para extraer más gases que los alimentados y generados en las celdas conectadas, para mantenerlas con presión negativa y producir una muy abundante cantidad de renovaciones de aire de ventilación; se conecta por ductos con las salidas de succión de las celdas. La descarga de gases se efectúa a un “demister” de impacto, cuyo lavado se retorna al electrolito.
- **Inyección de agua:** la fuerte extracción de aerosol lentamente bloquea las perforaciones del “capping board” tubular con depósitos salinos de sulfato de cobre, de modo que existe una última conexión para inyectar agua, cuando sea necesario limpiar y durante las cosechas de cátodos, mientras la celda destapada queda parcialmente cubierta con una cortina horizontal de agua.

6.2 CELDA DE REDUCCIÓN DEL POTENCIAL DEL ELECTROLITO DESCARGADO

Un equipo de norma en las instalaciones diseñadas por TERRAL es una columna reductora del potencia redox del electrolito descargado, destinada a disminuir su potencial redox hasta niveles incapaces de degradar el reactivo extractante en las etapas de re-extracción. Este es un pequeño reactor que se llena con chatarra de cobre para que en el contacto con el electrolito descargado de alto potencial el cobre se oxide y disuelva lentamente mientras el potencial disminuye levemente.

Dado que el llenado con chatarra es engorroso y algo peligroso, se ha modificado el equipo para incluir una serie de cátodos de acero inoxidable que se alimentan con energía desde el rectificador de polarización, que normalmente está fuera de servicio, para obtener depósitos controlados de cobre que cumplan con la función de reducción del potencial del electrolito que los contacte.