

# Recuperación de alúmina y flujo de caja de las refinerías

## 4 modos de operación y sus impactos económicos y ambientales

### Resumen

La mayoría de las refinerías de alúmina tienen por objetivo la alta recuperación de alúmina y/o el bajo costo de caja. Ya que estos modos de operación inherentemente limitan la producción, hay margen para mejorar la rentabilidad de la refinería. Este documento describe cómo una refinería puede determinar su razón de licor de digestión más económica y calcular el mejoramiento del flujo de caja relacionado.

Ya que el modo de operación más económico implica una recuperación inferior de alúmina de la bauxita, hay margen para mejorar el desempeño ambiental de la refinería. Este documento describe cómo una refinería puede recuperar la alúmina que se pierde en la digestión y la clarificación, mediante una re-digestión de lodo del espesador en Unidades-M2M.

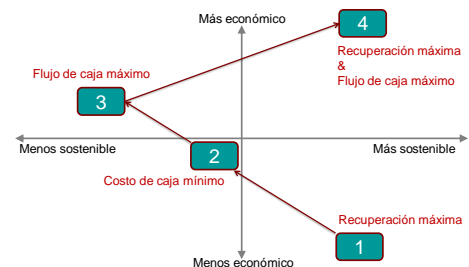
El costo de la alúmina adicional generada en las Unidades-M2M es muy bajo ya que es producida de la alúmina que, de otra manera, se hubiera perdido con el lodo. Este documento describe las Unidades-M2M y cómo permiten que una refinería aumente la producción y el flujo de caja, y a la vez produzca la alúmina en una manera más sostenible.

## 1 Objetivos de la refinería

A veces, operadores o proyectistas de refinerías se vanaglorian de la alta recuperación de alúmina o del bajo costo de caja que obtienen. Aunque las ventajas de la alta recuperación de alúmina o del bajo costo de caja son obvias, uno debe tener cuidado de fijarse simplemente en uno de estos objetivos sin la apreciación de la imagen total. En el análisis final, el objetivo de cada refinería es aprovecharlo al máximo y hacerlo con el menor impacto ambiental posible.

Los cuatro objetivos discutidos en este documento son:

1. La máxima recuperación de alúmina
2. El mínimo del costo de caja
3. El máximo flujo de caja
4. El máximo flujo de caja y la máxima recuperación de alúmina.



Cada objetivo implica un diferente modo de operación con respecto a la razón del licor de la digestión. El cuarto objetivo también requiere la instalación del equipo llamado Unidades-M2M.

Cada modo de operación es detallado en un párrafo separado, describiendo cómo se llega al objetivo elegido y cómo este modo de operación impacta en el desempeño ambiental y económico de la refinería. Los actuales números usados son de una refinería "típica" con una producción nominal de alúmina (AGF / SGA) de 2 Mt/a.

## 2 Objetivo 1: Recuperación máxima de alúmina

### 2.1 Pérdidas de alúmina

Obviamente, lo más deseable sería que el 100% de la alúmina disponible en la bauxita cargada a la digestión termine en el producto del calcinador. Las pérdidas de un cierto porcentaje, sin embargo, son inevitables y las recuperaciones habituales de la refinería están entre 90 - 96%. La recuperación de alúmina se define aquí como la relación peso "alúmina (AGF) producida /alúmina disponible en bauxita", expresada en %.

Las pérdidas de alúmina en una refinería incluyen:

- Pérdidas con el auxiliar de filtración,

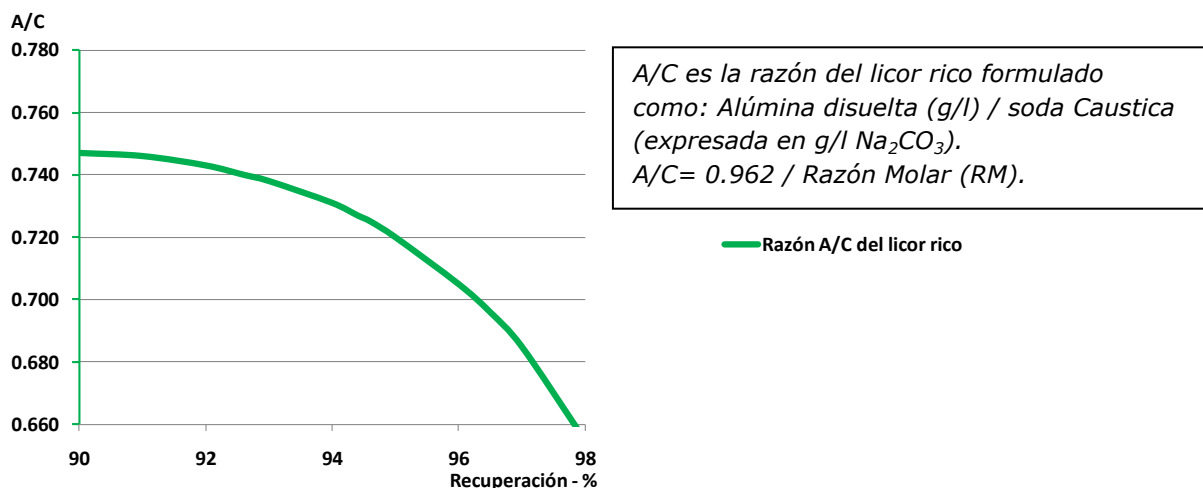
- Pérdidas de polvo de alúmina,
- Pérdidas de alúmina sólida, no liberada, debido a la molida gruesa de la bauxita,
- Pérdidas de alúmina soluble en el licor de los residuos,
- Pérdidas debidas a la reversión (también llamada hidrólisis o auto-precipitación) en los espesadores y lavadores,
- Pérdidas de alúmina no extraída en la digestión debido a la carga de bauxita muy alta.

La alúmina perdida debido a la reversión y a la extracción incompleta termina en el residuo de la bauxita, aumentando la cantidad de lodo que va a ser almacenado. La cantidad de estas pérdidas (recuperables) depende del modo de operación.

Una alta recuperación de alúmina en el proceso implica pérdidas de alúmina bajas. La recuperación puede alcanzar hasta el 98% por medio de una reducción fuerte de la carga de bauxita a la digestión, conduciendo las pérdidas de alúmina recuperable a menos de 1%<sup>1</sup>.

## 2.2 La recuperación versus la razón del licor de la digestión

Es bien sabido que una carga baja de bauxita a la digestión, conduciendo a punto alto de razón molar (punto bajo de la razón A/C) en el licor rico, mejora la recuperación de alúmina de la refinería debido a la extracción completa con pocas o ningunas pérdidas de reversión<sup>2</sup>. De la misma forma, una alta carga de bauxita a la digestión, conduciendo a un mejor rendimiento del licor y a una razón molar baja (A/C alta) en el licor rico, reduce la recuperación debido a más pérdidas de reversión y a más extracción incompleta, como lo muestra la siguiente gráfica.



La gráfica de arriba y las subsiguientes sirven únicamente como ilustración. La posición exacta de las curvas varía de refinería en refinería. La sección 4.2 describe cómo una refinería puede determinar su propia correlación entre razón molar y recuperación.

## 2.3 Objetivos de la digestión en conflicto

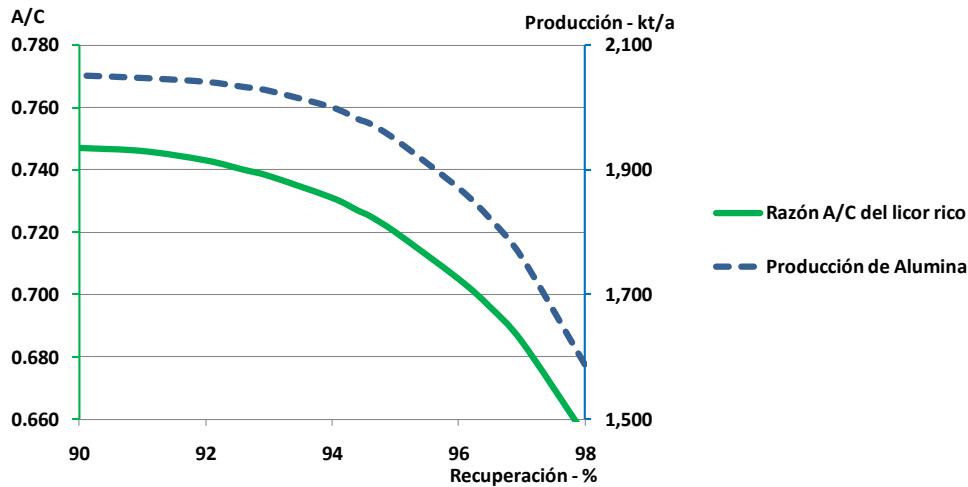
Una refinería que aspire a una alta recuperación debe mantener su razón molar del licor alta (A/C baja), y, por lo tanto, su carga de bauxita relativamente baja, que resulta en una tasa de la producción relativamente baja para el equipo instalado y la inversión hecha.

Una refinería que ya funciona a su máximo flujo y a la óptima concentración cáustica del licor, solamente puede acrecentar su producción aumentando su carga de bauxita a la digestión y bajar

<sup>1</sup> Debe notar que teóricamente sin pérdidas de alúmina, la recuperación de alúmina de la refinería sería superior al 100% pues cerca de 1.3% de impurezas, especialmente los LOI y el sodio acaban en el AGF.

<sup>2</sup> Las pérdidas de reversión también dependen de otros factores como la temperatura en los espesadores y lavadores.

así la razón molar del licor rico, aceptando la baja recuperación asociada. Esto se ilustra en la gráfica de abajo donde, adicional a la gráfica de arriba, se localiza la producción anual de alúmina para una refinería típica de 2 Mt/a (eje vertical a la derecha).



La gráfica muestra que la tasa de producción crece si uno está preparado a reducir la recuperación.

Sin embargo, a medida que la razón molar está más cerca al equilibrio (RM a su mínimo, A/C a su máximo), cargar más bauxita tiene cada vez menos efecto sobre la producción de alúmina; por lo tanto, éste reduce la extracción en la digestión y aumenta la reversión en los espesadores y lavadores. Así, cada vez más alúmina disponible acaba con el residuo de la bauxita que se lavará y almacenará en el área de arrojados de lodo rojo.

El dilema arriba es causado por los siguientes objetivos de la digestión que están en conflicto:

- Para maximizar la extracción de alúmina → sub-carga el licor de la digestión con bauxita
- Para maximizar la producción de alúmina → sobre-carga el licor de la digestión con bauxita.

La gráfica ilustra el primero objetivo en el lado derecho y el segundo objetivo en el lado izquierdo, y también aclara porqué no es posible tener simultáneamente una producción alta y una recuperación alta, por lo menos, no en un sistema de digestión singular.

## 2.4 Sumario de la recuperación máxima de alúmina

Modo de operación: carga de bauxita baja, razón molar del licor rico alta, recuperación alta.

Impacto ambiental: buen uso de la bauxita (factor bauxita), producción de residuos baja (factor lodo).

Impacto económico: producción de alúmina baja, rendimiento del licor baja, mal uso de la inversión, flujo de caja bajo

En la práctica, no hay refinerías que aspiran a tener una recuperación de 97% o más, como la baja producción relacionada volverían estas refinerías inviables económicamente.

## 3 Objetivo 2: Costo de caja mínimo

Pareciera obvio que las refinerías aspiren a tener un mínimo costo de caja. El costo de caja, también llamado costo operacional o costo de producción, incluye:

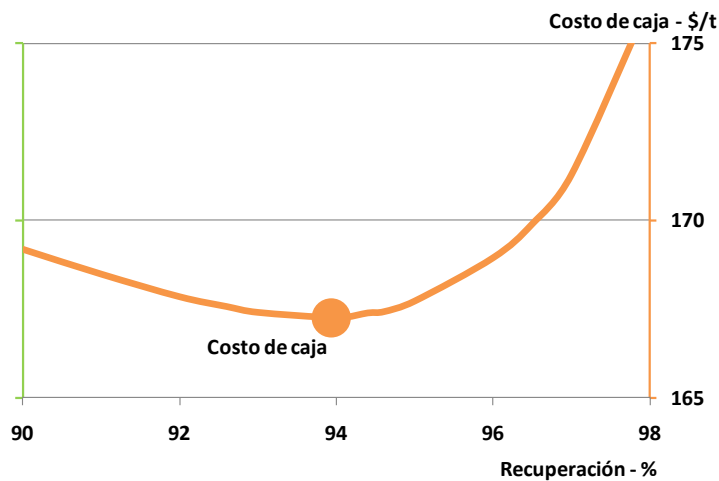
- Costo de bauxita
- Costo de soda cáustica
- Costo de energía (para las calderas, los calcineros etc.)
- Costo de almacenaje de residuos
- Otros costos variables

- Costos fijos.

Debido a que los precios de la materia prima se encuentran fuera del control de la refinería, produciendo al costo de caja bajo requiere que la refinería funcione con la eficacia alta del consumo de las materias primas, que se relaciona directamente a la recuperación de alúmina, a la razón del licor rico de la digestión y entonces a la tasa de la producción de la refinería.

### 3.1 La recuperación versus el costo de caja

Para alcanzar recuperaciones muy elevadas, la tasa de la producción debe estar tan baja que los costos fijos pesan mucho en el costo de caja por tonelada de alúmina producida. Cargando más bauxita y así aumentando la producción, hace que los costos fijos se diluyan, y el costo de caja se reduzca. Sin embargo, la recuperación empeora y con más pérdidas de alúmina, el consumo de bauxita y de soda cáustica por tonelada producida aumenta, igual que la cantidad de lodo que va a ser almacenado, haciendo que el costo de caja suba después de cierto punto, como se ilustra en la gráfica de abajo.



Notar que la gráfica de arriba es específica para la refinería, y también depende de condiciones del mercado para los precios de las materias primas.

En esta gráfica, el punto más bajo del costo de caja corresponde a una recuperación de cerca de 94%. La gráfica también muestra que el costo de caja cambia solamente levemente en el intervalo de la recuperación de 92 - 95%.

La misma unidad de la digestión (inversión) podría producir más alúmina disuelta si uno la utiliza con una razón molar más baja (A/C más alta). Aunque la caída de la RM tiene un impacto negativo en la recuperación y costo de caja, las rentas de las ventas de la alúmina que se agrega compensan el costo de caja más alto, por lo menos hasta cierto punto, según lo elaborado en la sección siguiente.

Por lo tanto, el foco en el costo de caja mínimo es imprudente cuando se percibe la limitación de la producción que se asocia a esto modo de operación.

### 3.2 Sumario del costo de caja mínimo

Modo de operación: Carga media de la bauxita, razón molar media del licor rico, recuperación media.

Impacto ambiental: Uso de la bauxita media (factor bauxita), generación de los residuos media (factor lodo).

Impacto económico: Producción de alúmina media, rendimiento del licor media, uso de la inversión medio, flujo de caja medio.

En la práctica, muchas refinerías aspiran, o tienen instrucciones, de funcionar con costo de caja al mínimo, y alcanzar la recuperación relacionada se considera de primordial importancia. Sin embargo, cuando los efectos de los beneficios y los costos de la recuperación son apreciados, es evidente porqué el costo de caja mínimo no tiene que ser un objetivo de la refinería.

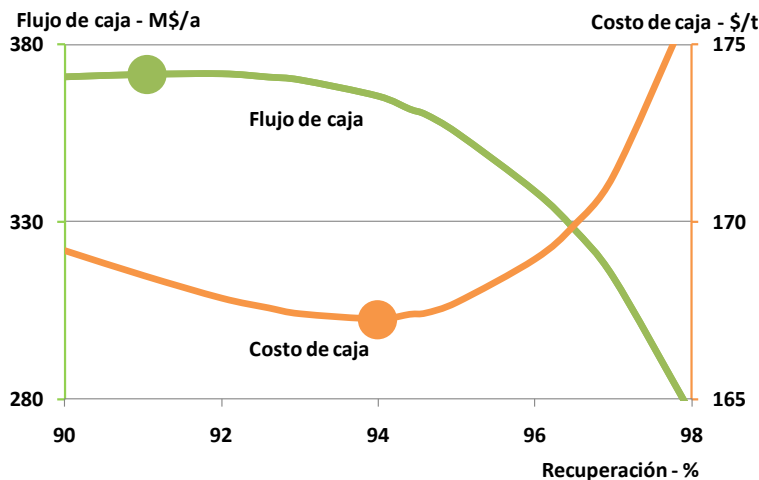
## 4 Objetivo 3: Flujo de caja máximo

Finalmente, el objetivo de una refinería es maximizar el beneficio. Una vez que se ha hecho la inversión, la renta de la refinería se relaciona directamente a su flujo de caja, también llamada flujo del efectivo (\$/a).

### 4.1 La recuperación versus el flujo de caja

Flujo de caja = Producción (t/a) \* {Precio de venta de alúmina (\$/t) - Costo de caja (\$/t)}

El precio de venta de la alúmina es una condición de mercado fuera del control de la refinería. Según lo discutido anteriormente, el costo de caja tiene un mínimo a una determinada recuperación, y la tasa de la producción sube a expensas de la recuperación. El efecto líquido de ambos se ilustra en la gráfica de abajo de donde más allá de la gráfica del costo de caja, se demuestra el flujo de caja para una refinería típica de 2 Mt/a (vertical a la izquierda).



Notar que la gráfica de arriba es específica de la refinería, y también depende de condiciones del mercado para los precios de materias primas y el precio de venta de alúmina.

Mientras que el menor costo de caja corresponde a una recuperación de 94%, el mayor flujo de caja corresponde a una recuperación de cerca de 91% en esta gráfica. Operar la refinería a recuperaciones todavía más bajas reducirá el flujo de caja y tendrá un impacto cada vez más negativo en el desempeño ambiental.

### 4.2 Determinar el flujo de caja máximo y sus condiciones operacionales

La razón molar del licor rico necesaria para funcionar al flujo de caja máximo se puede definir fácilmente con una prueba en la refinería. En esta prueba, la razón del licor rico se reduce en incrementos pequeños, con bastante tiempo entre las etapas para permitir que el efecto de las alteraciones operacionales alcance el último lavador de lodo y que el tanque del licor de extracción consiga una nueva operación de la refinería constante. Durante la prueba, la refinería funciona (más o menos) a tasa de flujo máximo del licor. Mientras que se no encuentren embotellamientos u otras limitaciones operacionales, se puede aumentar la carga de la bauxita hasta que la razón molar del licor rico alcance su mínimo, que ya fue determinado en la prueba 'punto de interrupción' en el laboratorio.

Para cada etapa de la razón (RM u A/C) del licor rico se observan las asociados producción de alúmina (AGF) y recuperación de alúmina, según lo ilustrado en el ejemplo de la tabla de abajo.

RM del licor rico (-)	1.336	1.323	1.316	1.304	1.300	1.294	1.290	1.288
A/C del licor rico (-)	0.720	0.727	0.731	0.738	0.740	0.743	0.746	0.747
Producción de AGF (kt/a)	1949	1982	2000	2027	2033	2041	2047	2051
Recuperación (%)	95.0	94.4	94.0	93.0	92.6	92.0	91.0	90.0

La recuperación de cada etapa se calcula de las pérdidas fijas de alúmina bien conocidas, conjuntamente con el contenido de alúmina-en-Gibbsita variable (recuperable) en el lodo para el almacenaje. El contenido de alúmina-en-Gibbsita fácilmente se mide con análisis térmico como *Differential Scanning Calorimetry* (DSC).

El costo de caja y el flujo de caja se pueden calcular fácilmente de los datos de arriba, conjuntamente con datos operacionales de la refinería y datos de costo según lo reportado rutinariamente. Los resultados de este cálculo se presentan en la tabla de abajo, con más información sobre el cálculo presentado en el anexo al final de este documento.

Recuperación (%)	95.0	94.4	94.0	93.0	92.6	92.0	91	90
Costo de caja (\$/t AGF)	167.7	167.4	<b>167.3</b>	167.4	167.6	167.9	168.4	169.2
Flujo de caja (M\$/a)	355	362	365	370	371	372	<b>372</b>	371

Como demuestra la tabla, las condiciones operacionales para el menor costo de caja, corresponden a una recuperación del 94% (RM del licor rico de 1.316). Igualmente, las condiciones operacionales para el flujo de caja más grande corresponden a una recuperación de 91% (RM del licor rico de 1.290). Mover la operación del Costo de caja mínimo (punto 2) para el Flujo de caja máximo (punto 3) aumenta el flujo de caja de una refinería típica con  $372 - 365 = 7$  M\$/a, sin ninguna inversión adicional.

### 4.3 Sumario del flujo de caja máximo

Modo de operación: alta carga de bauxita, baja razón del licor rico, baja recuperación de alúmina.

Impacto ambiente: mal uso de la bauxita (factor bauxita), alta generación de residuo (factor lodo).

Impacto económico: alta producción de alúmina, alto rendimiento del licor, buen uso de la inversión, mayor flujo de caja.

El flujo de caja máximo debería ser el objetivo común de las refinerías y cada refinería tendría que conocer sus condiciones de flujo de caja máximo y cómo la razón óptima del licor rico cambia con las fluctuaciones de las condiciones del mercado.

La sección siguiente presenta una solución para el impacto ambiental negativo de una refinería funcionando al flujo de caja máximo, que todavía aumenta más el flujo de caja de la refinería.

## 5 Objetivo 4: Flujo de caja máximo y Recuperación máxima

El funcionamiento de una refinería a razón molar del licor muy baja da lugar a un flujo de caja lo más alto posible; pero, desafortunadamente, también da lugar a un desempeño ambiental muy indeseable, tal como mal uso de la bauxita (factor bauxita) y alta generación de residuo (factor lodo). Las altas pérdidas de alúmina, causadas por la extracción pobre en el licor rico de baja razón molar y por la reversión en los espesadores y lavadores, se pueden recuperar por la re-digestión del lodo del espesador, según lo elaborado abajo.

### 5.1 Re-digestión

La doble digestión es habitualmente conocida para bauxitas mixtas de Gibbsita-Bohemita, donde está la etapa de la re-digestión a temperatura alta (180-240°C) y a presión alta que exige una inversión de altos gastos de capital.

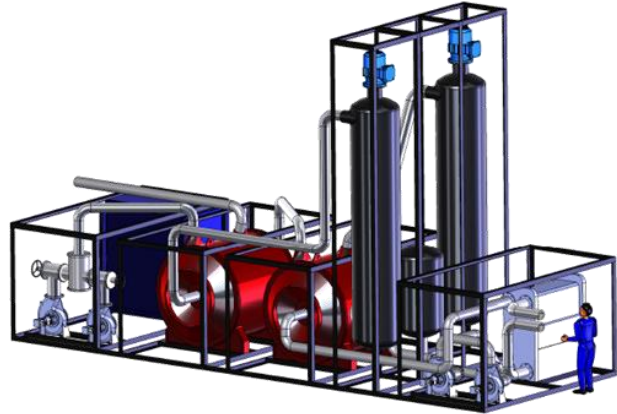
La doble digestión de la bauxita Gibbsita, con re-digestión del lodo del espesador, para recuperar Gibbsita del residuo de la bauxita, es basada en los mismos principios, pero es más simple y el costo es relativamente bajo, una vez que permita la digestión a baja temperatura (145°C) y equipo de baja presión. La figura de abajo representa la doble digestión de bauxita Gibbsita, con la re-digestión del lodo del espesador en el círculo pequeño a la derecha. El flujo de licor en la re-digestión es solamente una fracción pequeña del flujo de licor principal.



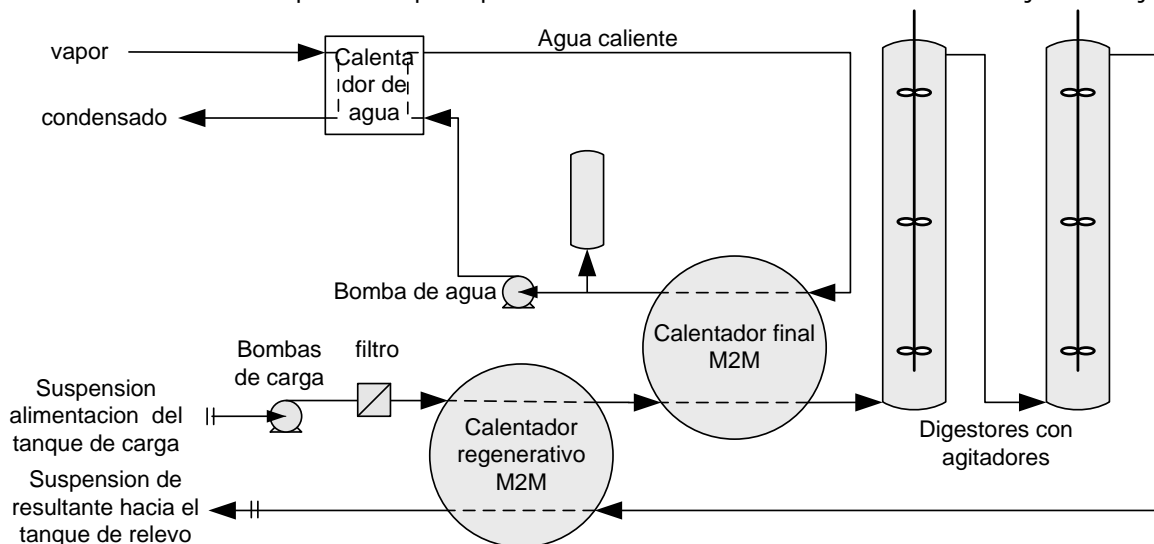
2. El rebosante del 1º lavador incluye la alúmina disuelta en las Unidades-M2M. Noten que la reversión en los lavadores será reducida debido a la razón molar del licor alta y a la temperatura más elevada en el 1º lavador.
3. Con casi toda alúmina disponible extraída, habrá menos residuos que se almacenarán.
4. La línea de desbordamiento garantiza una operación continua de la refinería principal. Una vez que el desbordamiento sea instalado, instalación de las Unidades-M2M no interviene con la operación de la refinería.

## 5.2 Unidades-M2M

Cada Unidad-M2M tiene un peso de aproximadamente 60 toneladas y puede procesar aproximadamente la cantidad de lodo del espesador que se asocia a la producción de alúmina de 0.5 Mt/a. El tamaño de la Unidad-M2M es relativamente pequeño en comparación con las unidades regulares de la digestión debido al uso de cambiadores de calor espiral en vez de sistemas de calentador del tanque del flash.



Las funciones de los componentes principales de la Unidad-M2M se indican en el dibujo de abajo.

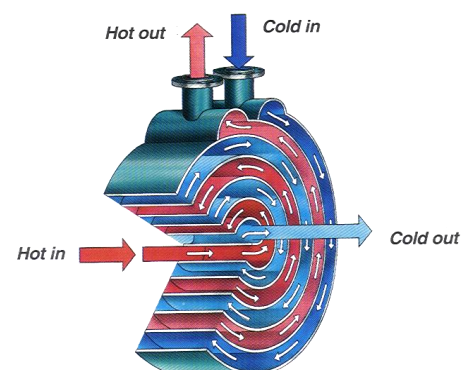


La alimentación de la Unidad-M2M es precalentada en el cambiador de calor espiral regenerativo en contra-corriente con la suspensión del producto caliente y llevada a la temperatura de la digestión en un cambiador de calor espiral final contra agua caliente.

Dos digestores con agitadores en serie dan bastante tiempo de retención para extraer la alúmina disponible en la suspensión. Con la alimentación ya desilicada en la digestión principal, no hay ninguna necesidad de tiempo de retención para la desilicación, y la formación de la escama por DSP no es un problema. Un filtro previene que cualquier objeto grande entre a la Unidad-M2M.

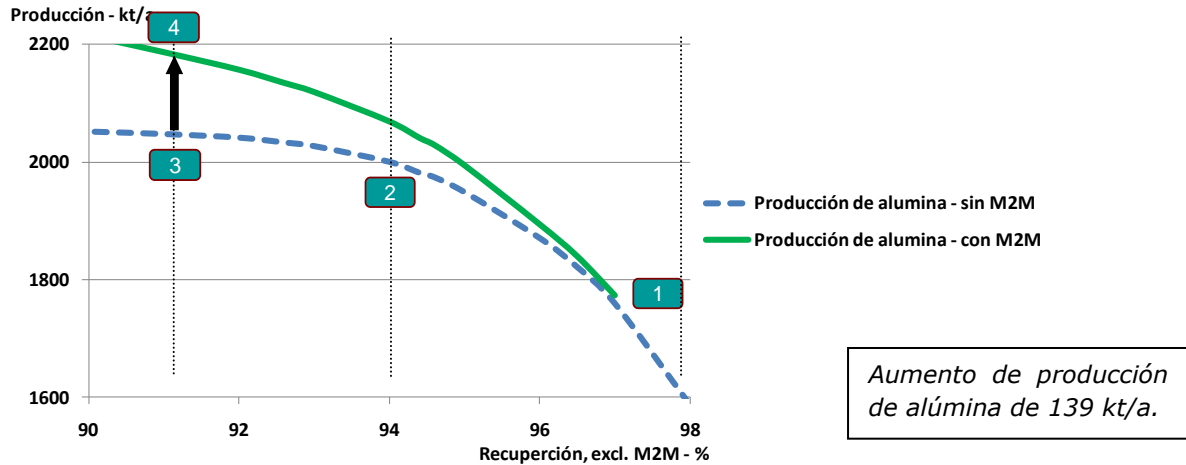
La reducción del almacenaje de lodo da lugar a menos ingestión de agua (de lavaje) y, por lo tanto, menos requisito de evaporación, permitiendo el uso de cambiadores de calor espiral que son mucho más eficientes que los sistemas de calentador de flash, porque la transferencia del calor es continua (sin escalones) y sin subida de punto de ebullición.

Alfa Laval diseña los cambiadores de calor espiral en tal manera que son auto-limpiando, balanceando los incrustantes y la erosión.

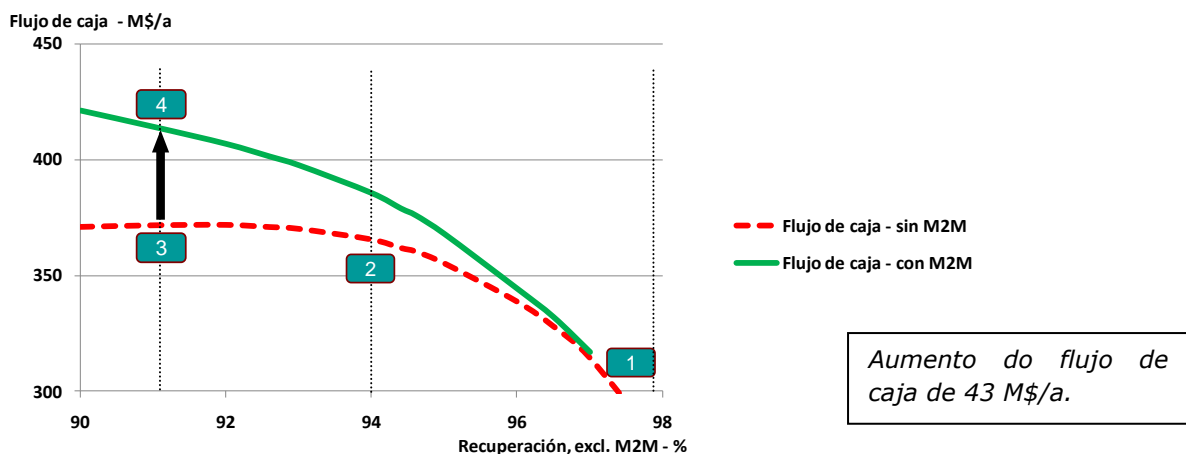


### 5.3 Recuperación versus Producción & Flujo de caja con Unidades-M2M

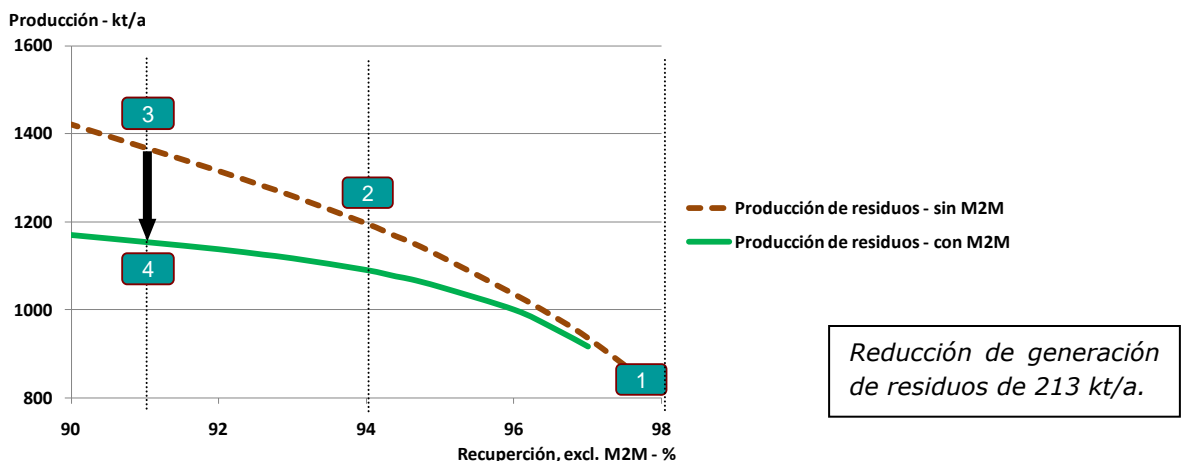
Para digestión singular, las relaciones entre la recuperación y la producción o el flujo de caja fueron presentadas gráficamente en las secciones 2.3 y 4.1. Las gráficas de abajo demuestran la ventaja de instalar Unidades-M2M en una refinería típica de 2Mt/a de producción de alúmina (AGF), al flujo de caja y a la generación de lodo que se almacenará. Los números de 1 a 4 en las gráficas se refieren a los cuatro modos de operación. Las flechas indican las mejoras.



Notar que los porcentajes en el eje de la recuperación presentan la recuperación de modo digestión singular. En caso de doble digestión, con Unidades-M2M instaladas, (objetivo 4), la recuperación total se eleva hasta  $\approx 97\%$ , gracias a la recuperación de pérdidas de alúmina en la re-digestión.



Como la alúmina producida por la Unidad-M2M no exige ninguna bauxita, ni soda cáustica, ni almacenaje de lodo; el costo de caja para esta alúmina adicional es muy bajo, con un efecto favorable en el flujo de caja.



Resumiendo, la instalación de las Unidades-M2M incrementa la producción permitiendo así un flujo de licor más grande en la digestión por medio de una re-digestión de bajo costo de capital. Esto funciona en paralelo con respecto al flujo de licor de la refinería, y a la vez reduce el costo de caja al alimentar la re-digestión con la suspensión del fondo del espesador que es relativamente rica en alúmina disponible debido a la razón molar baja en la digestión principal, y también reduce la generación de los residuos de la bauxita debido a la razón molar alta en la re-digestión.

## 5.4 Desempeño ambiental

Los indicadores relacionados al funcionamiento ambiental de los modos operacionales de 2, 3 y 4, según lo discutido en este documento, se demuestran en la tabla de abajo.

	<b>Modo 2</b>	<b>Modo 3</b>	<b>Modo 4</b>	
Recuperación de la refinería	94.0	91.0	97.2	%
Factor residuo	0.60	0.67	0.53	t/t AGF
Factor bauxita	2.13	2.20	2.06	t/t AGF

Notar que otras ventajas ambientales del modo 4 incluyen un requisito menor de la ingestión de agua, debido al menor factor residuo que reduce la salida líquida de la humedad por tonelada AGF producida. El factor de energía mejora, yendo del modo 2 al modo 3 y permanece igual con la adición de la Unidad-M2M en modo 4.

## 5.5 Sumario flujo de caja máximo & recuperación máxima

Modo de operación: Digestión doble con alta carga de la bauxita, la razón molar del licor rico baja y la recuperación baja en la primera digestión (como en el objetivo 3); razón molar del licor alta y recuperación alta en la re-digestión (como en el objetivo 1).

Impacto ambiental: Alta recuperación total, el mejor uso de la bauxita posible (factor bauxita), la más baja generación de residuos posible (factor lodo).

Impacto económico: Alta producción de alúmina en la primera digestión más allá de la producción adicional de la alúmina en la re-digestión, alto rendimiento de licor, la mejor explotación de la inversión, el mayor flujo de caja debido a la alta producción y el costo muy bajo de la producción de alúmina adicional en la re-digestión.

Este modo de operación debería ser un estándar ambiental internacional porque reduce al mínimo la explotación minera de la bauxita y la cantidad de residuos que se almacenarán por tonelada de alúmina producida y así regala una producción y flujo de caja adicional.

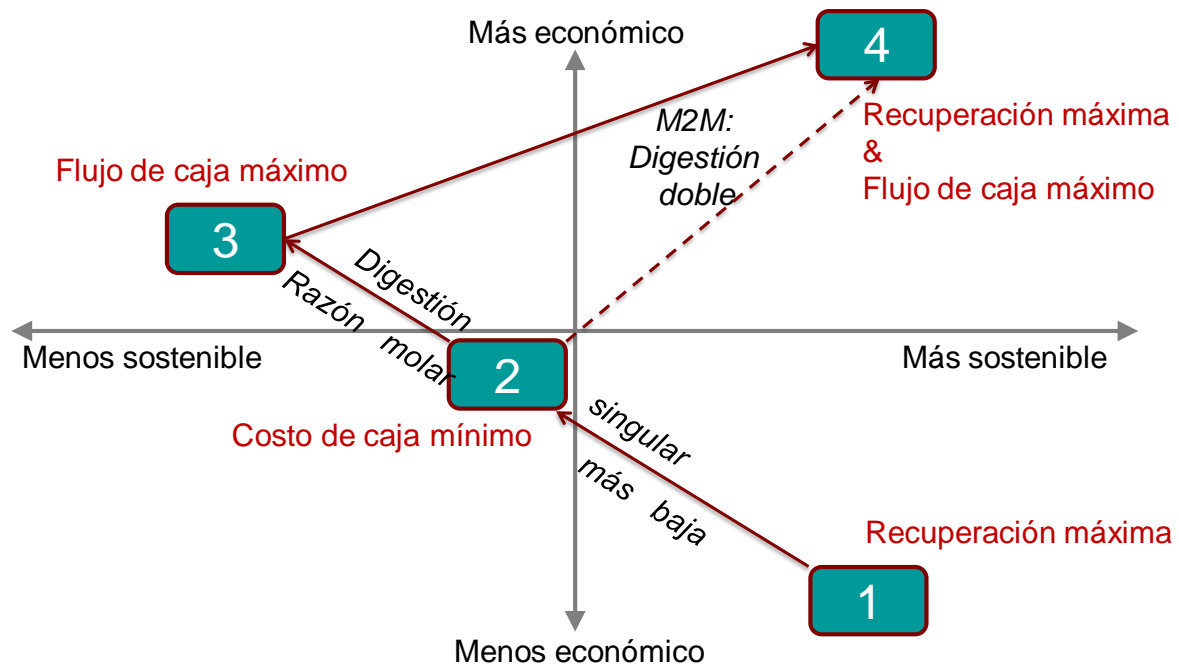
## 6 Conclusiones

Una refinería con alta recuperación no genera su máximo flujo de caja. Cambiando del modo de recuperación máxima de alúmina vía el modo de costo de caja mínimo al modo de flujo de caja máximo, implica una reducción en la recuperación de alúmina con el impacto ambiental negativo como:

- aumento de los pérdidas de alúmina
- reducción del uso de la bauxita
- aumento de la generación de lodo.

A través de la instalación de Unidades-M2M, una refinería puede recuperar la alúmina disponible en el lodo del espesador a razón molar del licor alta y combinar el flujo de caja máximo con la recuperación de alúmina máxima.

Con un eje horizontal para el impacto ambiental (sostenibilidad) y un eje vertical para el impacto económico, los cuatro objetivos y sus modos de operación toman las posiciones relativas según lo presentado abajo.



Instalar Unidades-M2M elimina la necesidad de una refinería a comprometerse entre el ambiente (alta recuperación) o la economía (alta producción y alto flujo de caja). Así una refinería combina los mejores de dos mundos, haciendo la operación más sostenible y más económica.

La línea punteada en la visión general arriba provee una ruta alternativa en el caso de que no es viable realmente reducir la razón molar del licor hacia el punto del flujo de caja máximo debido a las restricciones específicas de la refinería fuera de la digestión principal. Los ejemplos son pérdidas de alúmina alta por reversión en los lavadores y los problemas de la incrustación del hidrato en los filtros.

En estos casos, es posible llegar al punto 4 de la recuperación máxima y flujo de caja máximo mediante instalación de las Unidades-M2M, mientras que la refinería todavía está funcionando alrededor del punto del costo de caja mínimo. Una vez que la re-digestión M2M está en su lugar, la razón molar del licor de digestión principal se puede reducir, moviendo la operación de la digestión principal para el modo 3, sin el impacto negativo de pérdidas de alúmina disponible en los espesadores y lavadores de lodo.

Las Unidades-M2M eliminan los problemas mencionados arriba, porque reducen la reversión en los lavadores y permiten ajustar la razón molar del licor en el flujo de la descarga de la re-digestión M2M para conseguir una razón aceptable en el flujo atravesando el filtro hacia la precipitación.

## Anexo: Calculo del costo de caja mínimo y del flujo de caja máximo

El punto de partida para definir las condiciones operacionales para el costo de caja mínimo y el flujo de caja máximo es una prueba 'punto de interrupción' en el laboratorio, seguida por una prueba en la refinería. La prueba en el laboratorio sirve para determinar la razón molar mínima, después lo que hay una declinación rápida en la recuperación. En la prueba en la refinería, la razón molar del licor rico baja en incrementos pequeños, con bastante tiempo entre las etapas para permitir que el efecto de las alteraciones operacionales alcance el ultimo lavador y que el tanque del licor de extracción consiga una nueva operación de la refinería constante. Durante estas pruebas, la refinería funciona (más o menos) a tasa de flujo del licor máximo.

Para cada etapa, la razón (A/C u RM) del licor rico y las asociadas producción de AGF y recuperación de alúmina son medidas e anotadas, como lo ilustra el ejemplo de la tabla de abajo.

A/C del licor rico	-	0.720	0.727	0.731	0.738	0.740	0.743	0.746	0.747
Producción de AGF	kt/a	1949	1982	2000	2027	2033	2041	2049	2051
Recuperación	%	95.0	94.4	94.0	93.0	92.6	92.0	91.0	90.0

La recuperación para cada etapa se calcula por medio de las pérdidas de alúmina fijas bien conocidas (ver 2.1), conjuntamente con la recuperación dependiente del contenido de alúmina-en-Gibbsita del lodo para el almacenaje. El contenido de alúmina-en-Gibbsita fácilmente se mide con Análisis Térmico como *Diferencial Scanning Calorimetría* (DSC).

El costo de caja y el flujo de caja se pueden calcular fácilmente utilizando los datos de arriba, conjuntamente con los datos operacionales de la fábrica y los datos de costo informados habitualmente en una manera como lo muestra la tabla siguiente.

<b>Main plant - excl M2M</b>									
<b>Process data - not depending on recovery</b>									
Coal consumption - Boilers	t/tSGA	0.117							
Oil consumption - Calciners	t/tSGA	0.070							
Power consumption	kWh/tSGA	183							
Av Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (dry basis) in bauxite	% (by mass)	50.00							
Re SiO <sub>2</sub> (dry basis) in bauxite	% (by mass)	3.65							
Impurities in SGA	%	1.2							
NaOH consumption by DSP	t NaOH / t SiO <sub>2</sub>	0.89							
NaOH consumption by other uses	t NaOH / t SGA	0.015							
Av Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> loss, excl. gibbsite in mud to storage	kg/tSGA	26							
<b>Prices</b>									
Coal price	\$/t Coal	100							
Oil price	\$/t Oil	400							
Power price	\$/kWh	0.040							
SGA price	\$/t SGA	350.00							
NaOH Price	\$/t NaOH	315.00							
Bx Price	\$/t Bauxite	20.00							
Res Storage Costs	\$/t Residue	2.00							
<b>Costs</b>									
Coal	\$/t SGA	11.70							
Oil	\$/t SGA	28.00							
Power duty	\$/t SGA	7.32							
Energy	\$/t SGA	47.02							
Other proc & maint mat'ls, rail & port	\$/t SGA	5.00							
Fixed cost	M\$/y	90.00							
<b>Plant trial data</b>									
Digestion liquor A/C	-	0.720	0.727	0.731	0.738	0.740	0.743	0.746	0.747
Alumina production	kt/y	1949	1982	2000	2027	2033	2041	2047	2051
Recovery - no M2M	%	95.0	94.4	<b>94.0</b>	93.0	92.6	92.0	<b>91.0</b>	90.0
<b>Process data - depending on recovery. Main plant</b>									
Bauxite factor	t Bx/t SGA	2.11	2.12	2.13	2.15	2.16	2.17	2.20	2.22
SiO <sub>2</sub> consumption	t SiO <sub>2</sub> /t SGA	0.077	0.077	0.078	0.078	0.079	0.079	0.080	0.081
NaOH consumption by DSP	t NaOH / t SGA	0.068	0.069	0.069	0.070	0.070	0.071	0.071	0.072
Residue factor	t Res / t SGA	0.58	0.59	0.60	0.62	0.63	0.64	0.67	0.69
Bauxite consumption	kt/y	4102	4198	4255	4359	4391	4437	4499	4559
Residue production	kt/y	1121	1166	1195	1258	1280	1314	1367	1420
<b>Cash cost</b>									
NaOH to non-DSP	\$/t SGA	4.73							
Energy	\$/t SGA	47.02							
Other proc & maint mat'ls, rail & port	\$/t SGA	5.00							
Sub total - constant variable costs	\$/t SGA	56.75							
Bauxite	\$/t SGA	42.11	42.37	42.55	43.01	43.20	43.48	43.96	44.44
NaOH to DSP	\$/t SGA	21.54	21.68	21.77	22.01	22.10	22.25	22.49	22.74
Residue disposal costs	\$/t SGA	1.15	1.18	1.20	1.24	1.26	1.29	1.34	1.38
Sub total - recovery depending variable costs	\$/t SGA	64.80	65.23	65.52	66.26	66.56	67.01	67.78	68.57
Fixed cost - production rate depending	\$/t SGA	46.19	45.42	45.00	44.41	44.27	44.09	43.96	43.87
Cash cost	\$/t SGA	167.73	167.39	<b>167.27</b>	167.41	167.57	167.85	168.49	169.19
<b>Cash flow</b>									
Cash out Ref	M\$/y	327	332	335	339	341	343	345	347
Cash in Ref	M\$/y	682	694	700	709	712	714	717	718
Cash flow	M\$/y	355	362	365	370	371	372	<b>372</b>	371