

---

## ***Factores que afectan el consumo de lechada de cal en el tratamiento de aguas ácidas (AMD)***

**Mohamad Hassibi, Chemco Systems Senior Process Engineer**

**Versión Español: Juan Morey, Product Manager AGT MINING**

---

### ***INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO***

---

Fecha publicación: Julio 2015

---

Palabras clave: Lechada de cal, apagado de cal, neutralización de aguas ácidas, ahorro en consumo de cal.

### ***RESUMEN***

*Ha existido una discusión sobre cuales factores afectan el consumo de cal en forma de lechada en los sistemas de tratamiento de aguas ácidas. El propósito de este documento es diferenciar los hechos reales de los ficticios.*

*Actualmente no existe un estudio exhaustivo sobre cuales factores afectan el consumo de lechada de cal en los sistemas de tratamiento de aguas ácidas (AMD, por sus siglas en inglés).*

*Hay muchos factores que tienen directa influencia sobre el consumo de cal, como por ejemplo:*

- A. Calidad del agua de apagado*
- B. Temperatura del agua de apagado*
- C. Calidad de la cal viva usada en el proceso*
- D. Tipo de equipo usado para el apagado*
- E. Grado de agitación en el proceso de apagado*
- F. Temperatura a la cual el proceso de apagado toma lugar*

*Se discutirá cada factor y se explicará que impacto tiene cada uno en el proceso de apagado y a su vez en el consumo de cal.*

## A. Calidad de agua de apagado

La pureza y composición química del agua de apagado tiene un efecto muy preponderante en la calidad de la lechada de cal producida y a su vez sobre la eficiencia de esta en la neutralización de aguas ácidas.

Los compuestos que afectan el proceso de apagado son los siguientes:

- **Cloruros**

El contenido de cloruros en el agua de apagado tiene un efecto positivo en el proceso de apagado. Los cloruros actúan como un agente que acelera el proceso de apagado. Agua con contenidos de hasta 10.000 [ppm] de cloruros puede ser usada para el proceso de apagado. Dado que el pH de la lechada es de 12 hasta 13, esta agua no causará corrosión dentro del Slaker o las líneas de lechada de cal. Sin embargo, causará corrosión en las líneas de entrada de agua. En este caso es recomendable usar tuberías de plástico. Si el contenido de cloruros está sobre 10.000 [ppm], como por ejemplo el “agua salobre” o “agua de mar”, ambas con contenidos de entre 25.000 a 30.000 [ppm], el interior del Slaker deberá ser recubierto con goma para evitar problemas de corrosión. Cualquier recubrimiento de goma dentro del Slaker debería funcionar hasta los 100°C (212°F). Las tuberías de lechada también deben ser de FRP (Fibre reinforced plastic) u otros. Otra opción es de aleaciones metálicas especiales.

- **Sulfatos y sulfitos**

Estas sales tienen un impacto sobre el proceso de apagado. Estos compuestos forman un recubrimiento sobre las partículas de cal viva (CaO), la cual retarda el proceso de penetración del agua en los poros de la partícula de cal viva, por lo tanto se retarda también el aumento o subida de temperatura del proceso de apagado. El contenido de sulfatos y sulfitos no debería ser superior a 2.500 [ppm] medidos en [mg/L] para el tratamiento de aguas ácidas. Aunque existen nuevos antecedentes que muestran que la capacidad total de neutralización de la lechada (TNC, en sus siglas en inglés) no se ve afectada mayormente usando agua con hasta 10.000 [ppm] de sulfatos y sulfitos en el agua de apagado.

La Tabla 1 compara el efecto de la química del agua en el proceso de apagado para agua des ionizada, agua potable y agua industrial.

Tabla 1: Temperaturas alcanzadas según el tiempo para distintos tipos de agua

Tiempo de apagado [minutos]	Agua ionizada	des Agua potable	Agua industrial
1	68.5°C	64.9°C	56.4°C
2	70.1°C	68.3°C	61.1°C
3	70.0°C	70.1°C	63.6°C
5	70.1°C	70.1°C	65.1°C
6	70.1°C	70.1°C	66.4°C

*Nota: la temperatura inicial del agua de apagado fue de 25°C. Según se muestra en la Tabla 1 la diferencia de temperatura se hace cada vez menor a medida que el tiempo de apagado aumenta.*

- Sólidos disueltos y suspendidos

Alto contenido de sólidos disueltos en el agua de apagado causaran la formación de espuma, que podría ocasionar problemas operacionales en el reactor principal o slaker. Además algunos sólidos disueltos reaccionan con la cal y formar depósitos en el fondo del apagador y en tuberías o bombas de manejo de lechada.

## B. Temperatura del agua de apagado

La temperatura del agua de apagado tiene un efecto sobre la temperatura de apagado final.

$$\text{Temperatura final de apagado} = \text{Temperatura inicial de agua} + \text{Calor de reacción} - \text{Pérdidas de proceso}$$

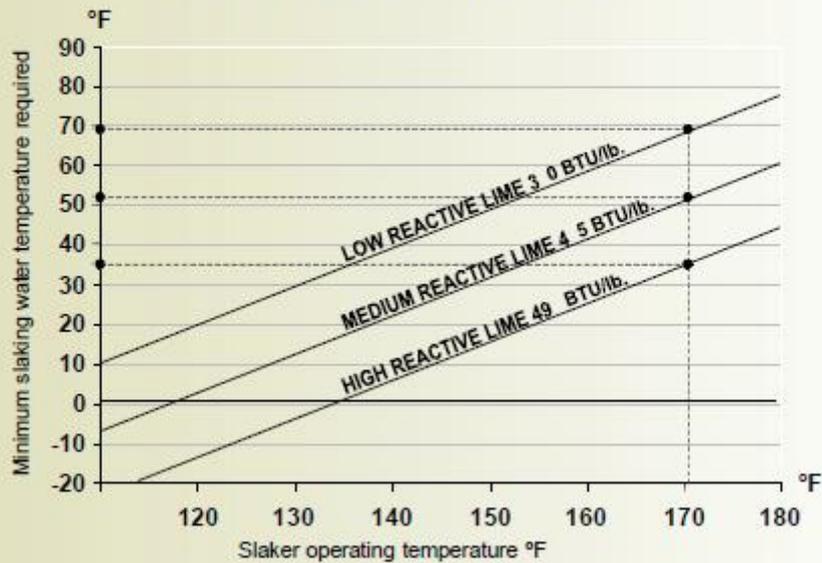
Si asumimos una relación cal-agua de 1:4, las pérdidas caloríficas son consideradas constantes, la cantidad de cal no cambia, entonces cualquier aumento o descenso en el agua de entrada resultara en un cambio en la temperatura final de apagado.

Por otra parte, si mantenemos la calidad y cantidad de la cal constante, para aumentar o disminuir la temperatura final de apagado, debemos aumentar o disminuir la cantidad de agua de apagado que ingresa al apagador.

La Figura 1 muestra el efecto de la temperatura del agua de apagado en la temperatura final de apagado para cal de baja, media y alta reactividad. Una libra de cal viva liberara la siguiente cantidad de calor (medidas en BTU) durante el proceso de hidratación.

<b>Cal alta reactividad</b>	<b>490 BTU</b>
<b>Cal media reactividad</b>	<b>435 BTU</b>
<b>Cal baja reactividad</b>	<b>380 BTU</b>

## Effect of Slaking Water Temperature on Final Slaking Temperature



Above presumes minimum slaker throughput to be at least 50% of the slaker's maximum rated throughput.

Figura 1: Relación entre agua de apagado y temperatura de operación de apagador para distintos tipos de cal, se asume que el slaker está funcionando al menos a la mitad de su capacidad de diseño.

### C. Calidad de la cal

Existen variados factores que afectan la calidad de la cal. Estos son:

- “Soft” o “Hard” burned (Partículas requemadas)

Para convertir el carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) en óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), la caliza es calcinada en un horno a una temperatura alrededor de  $1.000^\circ\text{C}$ . Esto remueve el dióxido de carbono fuera de la caliza y convierte a esta en óxido de calcio o cal. Debido a las variaciones de tamaños de la piedra caliza que es alimentada al horno algunas partículas de cal son sobrecalentadas y forman una capa sólida vitrificada en la superficie de la partícula. Esta superficie dura no deja que el agua penetre en la partícula de cal, por lo que retrasa el proceso de conversión de cal a hidróxido. Este tipo de cal no es muy reactiva y es llamada “HARD BURNED LIME”. Estas partículas de cal HBL son clasificadas como cal de baja reactividad.

De acuerdo con la norma ASTM C-110 una cal de alta reactividad es aquella que tiene un aumento de  $40^\circ\text{C}$  en un periodo de tres minutos al iniciar el contacto con el agua. A modo de ejemplo, si la temperatura inicial del agua es de  $20^\circ\text{C}$ , la temperatura final luego de tres minutos debería ser de  $60^\circ\text{C}$ .

- Contenido de óxido de calcio

Dado que el óxido de calcio (CaO) es el único elemento útil en la cal, se utiliza este para medir la calidad de la cal. Sin embargo, no todo el contenido de CaO de la cal está disponible o es químicamente reactivo. El factor adecuado para medir la calidad de cal es el "Óxido de Calcio disponible". La Figura 2 muestra la composición típica de la cal.

CHEMICAL ANALYSIS	<sup>3</sup> / <sub>4</sub> " X <sup>1</sup> / <sub>4</sub> " PEBBLE QUICKLIME
Total CaO	93.00
Available CaO	88.50
MgO	2.65
Total Oxides	95.65
SiO <sub>2</sub>	1.95
R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.86
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.70
Sulfur	0.045
P	0.004
Loss on Ignition Total	1.50
CO <sub>2</sub>	1.10
H <sub>2</sub> O	0.40

Figura 2: Composición típica de cal granulada comercial

El contenido de óxido de magnesio no debería exceder de 2 a 3%. Dado que el MgO no se hidratará fácilmente a temperaturas de entre 160°F (71°C) a 180°F (82°C), este terminará como arenillas en la zona de descarte. Respecto al contenido de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> estos no deberían superar el 2%. Altos contenidos de estos componentes abrasivos causaran altos niveles de desgaste en las paletas de mezclado del slaker.

- Distribución de tamaño de partículas de cal

Partículas pequeñas de cal reaccionan más rápido que las partículas grandes. Sin embargo, las partículas pequeñas tienen algunas desventajas. La cal fina (cal en polvo) es más susceptible al apagado aéreo que la cal granulada. Una buena cal granulada se hidratará rápidamente y el proceso de apagado estará completo entre 3 a 4 minutos en comparación a una cal en polvo que se hidrata instantáneamente. La mayoría de los apagadores tienen un tiempo de retención de entre 5 a 10 minutos, por lo que un apagador del tipo retención tendrá el tiempo para hidratar completamente la cal granulada.

Cuando cal granulada es usada en el proceso de preparación de lechada de cal, típicamente las arenillas e impurezas poseen tamaños de partícula mayores que el tamaño de partícula del  $\text{Ca(OH)}_2$ ; los grits o arenillas son separadas por el sistema de remoción de arenillas. En el caso de la cal fina o en polvo, las impurezas estas molidas, por lo que terminan dentro del proceso aguas abajo.

La Figura 3 es indica la distribución de tamaños para cal granulada.

PHYSICAL ANALYSIS SCREEN SIZE	% PASSING
3/4"	100.0
1/2"	95.0
1/4"	70.0
1/2"	48.0
3/8"	18.0
1/4"	10.0
1/8"	8.0
#50	7.0

Figura 3: Distribución de tamaños de partícula

- Apagado aéreo

La cal viva tiene una gran afinidad por el agua y absorbe esta en forma líquida o como vapor. Una cal fina o el polvo, tiene una gran cantidad de partículas finas, por lo tanto, una gran área superficial está expuesta a la atmosfera en el almacenamiento, transporte o carguío neumático. Estas absorben humedad del aire o ambiente y se apagan o hidratan lentamente sin existir un aumento de temperatura. Cuando la cal es apagada lentamente con poca cantidad de agua las partículas de hidróxido formadas son muy grandes y de baja reactividad. Es mejor evitar el uso de cal fina debido al riesgo de que ocurra apagado aéreo y además que manejar un polvo químico seco es más complicado que manejar cal granulada.

- Contenido calorífico de la cal

La reacción entre la cal y el agua es exotérmica y libera una gran cantidad de calor. Para entender el alcance del calor producido durante el apagado de cal, una libra (0,453 [kg]) de cal de alta reactividad produce el calor necesario para llevar 2,3 libras de agua (1,04 litros) desde 0°C a 100°C o para llevar 3,4 libras de agua (1,54 litros) desde temperatura ambiente (21°C) a la ebullición.

#### **D. Tipo de equipos usados para el apagado de cal**

Investigaciones muestran que realizar el apagado de cal con un exceso de agua resultará en partículas de hidróxido más pequeñas.<sup>1</sup> Los apagadores tipo Slaker usan una relación agua – cal de entre 4 a 1 hasta 5 a 1, mientras que los apagadores de pasta usan relaciones agua – cal de entre 2.5 – 1. Además una lechada más diluida es menos propensa a desarrollar puntos calientes (Sobre 100°C) que causan aglomeración de las partículas más finas.

#### **E. Grado de agitación en el Slaker**

Una agitación vigorosa dentro del Slaker es necesaria debido a:

- Las partículas de cal mojadas reaccionan rápidamente
- Se mantiene una temperatura pareja dentro de la(s) cámara(s) del Slaker
- Previene “puntos fríos” y “puntos calientes” que podrían causar aglomeración
- En partículas de cal parcialmente “vitrificadas” causa abrasión sobre estas para acelerar el proceso de apagado

#### **F. Temperatura a la cual ocurre el proceso de apagado**

La temperatura de apagado es uno de los factores más importantes que determinan la calidad final de la lechada de cal. Teóricamente mientras más alta sea la temperatura de apagado, más finas serán las partículas de hidróxido, si tenemos partículas de hidróxido pequeñas el área superficial de contacto con el fluido a neutralizar será mayor y finalmente si el área superficial es mayor esta llevará a un menor consumo de cal.

Sin embargo, en la práctica, la ganancia en área superficial por sobre los 83°C (185°F) es compensada por la aglomeración de partículas de hidróxido, mantenciones adicionales y aspectos de seguridad que son producto de la generación de vapor.

Debe señalarse que el área superficial no es la única determinante de la eficiencia del proceso. La porosidad de las partículas, así como la forma de las partículas tienen un efecto en la eficiencia de la reacción. La porosidad y forma de las partículas son función de la composición química de la cal. Esta es el área que ha sido menos estudiada en el proceso de apagado de cal. Las partículas finas de cal apagada tienen una tendencia a aglomerarse y formar grandes partículas planas. Si la cal apagada es mantenida a una temperatura alta (>70°C) es importante enfriarla a la salida del Slaker para prevenir aglomeración.

---

<sup>1</sup> Chemistry and Technology of Lime and Limestone, by Boynton J. Will & Sons, 2nd Ed.

---

## Resumen

Para reducir el consumo de cal en el tratamiento de aguas ácidas se debe usar una lechada de cal con el menor tamaño posible de partícula de hidróxido y la mayor área superficial. Estas partículas deben además tener una adecuada porosidad.

Para obtener estas características se debe:

- Tener una buena calidad de agua de apagado
- Tener una buena calidad de cal
- Realizar el proceso de apagado a una temperatura alta (>75°)
- Evitar el apagado aéreo.