

# **REMOCION Y PREVENCION DE INCRUSTACIONES EN LAS FABRICAS PRODUCTORAS DE AZUCAR DE CAÑA**

Dirk Großmann, KEBO GmbH&Co.KG, Düsseldorf, Germany, dgrossmann@kebo.de  
Manuel Pelaez, KEBO GmbH&Co.KG, Dusseldorf, Germany, pelae03z@gmail.com

## **Introducción**

La formación de incrustaciones es un problema importante en las fábricas de azúcar de caña. Las incrustaciones que bloquean la transferencia de calor se forman rápidamente en evaporadores e intercambiadores de calor y causan varias paradas durante la temporada de molienda para su eliminación. Dependiendo de la calidad del jugo y el diseño del evaporador se han encontrado intervalos de paradas para la limpieza química que oscilan entre 7 y 30 días.

En base a nuestra experiencia en la industria azucarera durante más de 40 años presentaremos métodos para la eliminación de las incrustaciones y para la prevención de las mismas.

## **Materiales y Métodos**

Todos los análisis fueron realizados en los laboratorios KEBO, en Düsseldorf, Alemania. Para la identificación de metales y elementos, se utilizó tecnología ICP, aplicando métodos normalizados específicamente modificados por el laboratorio analítico de KEBO respecto a los análisis para incrustaciones en fábricas de azúcar. Para la identificación de aniones se aplicó tecnología de cromatografía iónica aplicando igualmente métodos normalizados específicamente modificados.

Los productos utilizados para la limpieza química; hidróxido de sodio, ácido fórmico, ácido sulfámico y ácido clorhídrico, fueron de grado técnico suministrados por diferentes proveedores locales en cada uno de los países de aplicación.

Los productos químicos especiales utilizados, comercialmente disponibles, fueron todos producidos por KEBO GmbH & Co.KG, Düsseldorf, Alemania, y fueron los siguientes:

- Agente secuestrante y humectante KEBOPLEX SC
- Inhibidor de la corrosión para ácido fórmico y sulfámico LITHSOLVENT CS
- Inhibidor de la corrosión para ácido clorhídrico LITHSOLVENT 620
- Antiincrustante KEBO DS
- Floculante KEBOFLOC 402
- Antiespumante KEBOSPUM KIS

## **Resultados y Discusión**

### **1 Limpieza Química**

La principal razón para la eliminación de las incrustaciones formadas durante la operación es la reducción de la transferencia de calor que estas causan. La Tabla 1 muestra la reducción que experimenta la transferencia de calor por las incrustaciones

en función del espesor de la misma. Incrustaciones de mas de 1.0 mm son comunes en fábricas de azúcar de caña y con frecuencia se forman rapidamente.

Las incrustaciones son frecuentemente eliminadas por una combinación de tratamiento químico y mecánico. Aunque la limpieza mecánica es la única opción para eliminar obstrucciones después de un accidente o falla en la operación, cuando se aplica regularmente toma demasiado tiempo además de ser peligrosa para los trabajadores que la realizan con empleo de agua caliente a alta presión. Otra desventaja adicional es que elimina solamente las incrustaciones depositadas sobre la superficie de calentamiento y deja el resto de las instalaciones del evaporador incrustadas. Con el tiempo estas incrustaciones se desprenden y caen en el jugo, son transportadas y pueden causar nuevas tupidiones en tuberías.

Table 1: Heat Transfer at clean and scaled Heating Surfaces (Schneider 1968).

$K_{clean}$ [Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> ]	Scale thickness [mm]	$K_{scaled}$ [Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> ]	$\frac{K_{scaled}}{K_{clean}} * 100$ [%]
3000	0.1	2609	87
	0.2	2308	79
	0.5	1714	57
	0.6	1579	52
	1.0	1200	40
2000	0.1	1818	91
	0.2	1667	83
	0.5	1333	67
	0.6	1250	63
	1.0	1000	50

Para la eliminación química de las incrustaciones es importante identificar su composición. Además de algunos orgánicos los compuestos principales encontrados han sido Oxalato de Calcio, Fosfato de Calcio, Carbonato de Calcio, Sulfato de Calcio, Sulfito de Calcio y Silicatos.

La composición de las incrustaciones muestra gran variación de un área a otra y de un vaso a otro aún en la misma fábrica. Ambos hechos se muestran en la Tabla 2.

Table 2 (Part 1): Scale Compositions as analysed in the KEBO Laboratory

Country	Effect 1					Effect 2					Effect 3					Effect 4					Effect 5						
	CO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Ox	PO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Ox	PO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Ox	PO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Ox	PO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	Ox	SiO <sub>2</sub>	
Afghanistan	32	28		35																							
Brazil								35		51		13			43									13			
Colombia				44				35	8	35		20		11	34									13			
Cuba			27	24						88						78											
India												54		24				27	15								
Indonesia	16			13	52	19		50		18	13		55	10		14				65	10	10	40	15			
							13	40		67	17		48	16		17	74			60	12						
																				58							
																				34	28						
Indonesia		24		19						15	27				21					20			28				
Ivory Coast	86															17				37			22				
			58					80				71	8							41		38					
			60					85				74	13							64		32					

Table 2 (Part 2): Scale Compositions as analysed in the KEBO Laboratory

Country	Effect 1				Effect 2					Effect 3					Effect 4					Effect 5								
	CO <sub>2</sub>	Ox	PO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Ox	PO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CO <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Ox	PO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CO <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Ox	PO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub>	Ox	PO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>			
Pakistan			16	16							70						33									20		
											73							42	30									
Philippines	16	64					13	51								95										40	40	
Salvador	19	20					21	24								22	20									43	20	
South Africa							14	15	40							20	50									12	58	
																89										44	45	
							28	30	11							30	56									79	12	42
							42	33								31	52									66	67	
		36	58																48							20		
																										52		
Thailand	39			22	39																					30	52	
							53	35	42																	25		
									32							34												
																										40		
																										22		
			23																							43	47	
																										28	28	

La eliminación de las incrustaciones frecuentemente no se completa en una sola etapa y necesitan una combinación de tratamiento alcalino y ácido para lograr una superficie limpia. El orden y detalles de ambos tratamientos dependen de la composición de la incrustación. No existe una incrustación típica para fábricas ni para vasos y tampoco un procedimiento típico de limpieza. Los procedimientos que se muestran a continuación dan una información general, pero no reemplazan el análisis de las incrustaciones y la recomendación individual de limpieza para una fábrica específica.

La limpieza química con aditivos especiales tiene por objetivo obtener superficies limpias al final del tratamiento. Su aplicación NO se realiza para ablandar o suavisar la incrustación durante cualquier etapa del tratamiento químico para posteriormente continuar con cepillado, hydro jet u otro procedimiento de limpieza mecánica.

### 1.1 Limpieza Alcalina

La limpieza alcalina se utiliza para cualquier equipo incrustado de la fábrica como evaporadores, intercambiadores de calor, tachos y otros. Basado en la experiencia práctica adquirida en la industria de la caña de azúcar, la limpieza química frecuentemente comienza con la etapa alcalina. Una solución alcalina efectiva es:

NaOH	5 %
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .	5 %
Agente secuestrante	0.8%
Agente humectante	0.7%

Carbonato de sodio se añade para transformar los compuestos insolubles de calcio como el oxalato en carbonato:  $\text{CaOx} + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CaCO}_3$

La sosa cáustica (NaOH) proporciona el medio alcalino apropiado para esta reacción y para actuar sobre los compuestos orgánicos.

El agente humectante se añade para reducir la tensión superficial y facilitar la penetración de la solución química, de forma que esta reacción química no tenga lugar

sólo sobre la superficie de la misma. El agente secuestrante se añade para romper la estructura de la incrustación, dispersar las partículas y disolver los compuestos de calcio. La acción secuestrante y humectante puede ser realizada por un único producto que combina ambos efectos.

Es importante enjuagar con agua caliente o hervir los evaporadores después del tratamiento alcalino. Incrustaciones adicionales se eliminan con este enjuague.

El método de limpieza alcalina puede ser utilizado para la eliminación de azúcar caramelizada y también del carbón de azúcar, siempre y cuando los tubos no estén bloqueados. La solución alcalina para esta aplicación es similar a la señalada anteriormente, sin carbonato de sodio y reforzando el agente secuestrante.

## 1.2 Limpieza Acida

Carbonato de calcio y otras sales solubles de calcio pueden ser fácilmente eliminadas por medio de la limpieza ácida con una solución de ácido al 5%. Además de razones económicas la selección del ácido para la limpieza química depende de la composición de la incrustación. Ácidos típicos son el ácido fórmico y el ácido sulfámico. El ácido clorhídrico puede ser utilizado siempre que la instalación no contemple acero inoxidable. Durante la limpieza el consumo de ácido debe ser comprobado mediante titulación y si la concentración cae por debajo del 2%, ácido fresco debe ser añadido. Cuando la concentración del ácido se estabilice, la limpieza se ha completado.

Para la limpieza ácida es importante utilizar el inhibidor apropiado para proteger de la corrosión los materiales de la instalación. Ácidos sin inhibidor nunca deben ser utilizados. Comercialmente hay disponibles inhibidores de la corrosión para todos los tipos de ácidos y para cualquier clase de material encontrado en las instalaciones de la fábrica. El Diagrama 1 muestra la velocidad de corrosión del acero en un 5% de ácido fórmico con 0,25% de inhibidor y sin inhibidor.

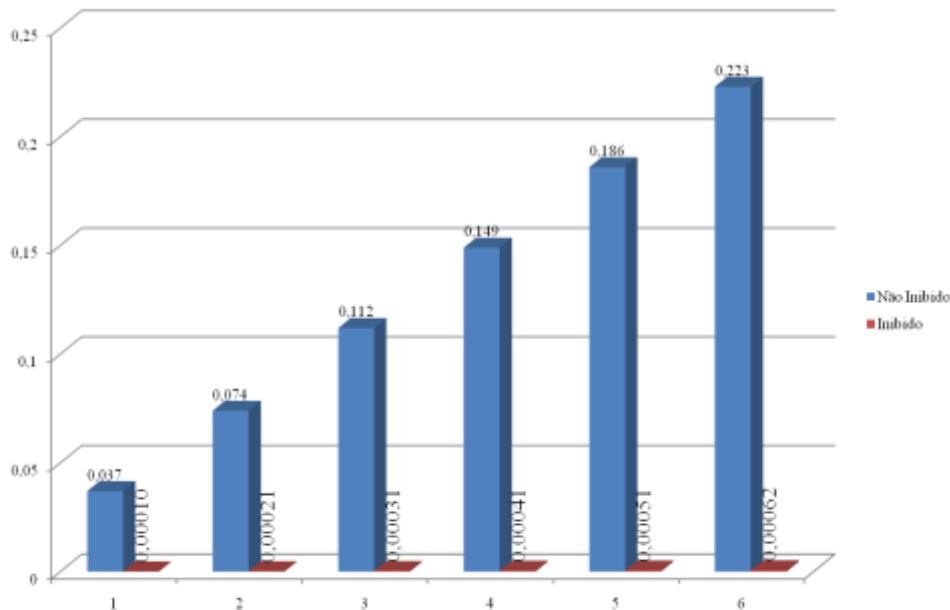


Diagram 1: Corrosion Rates with and without Inhibitor.

### 1.3 Sistemas CIP

Las soluciones de limpieza pueden ser aplicadas de formas diferentes. El mejor método para fábricas de azúcar de caña con alta demanda de limpieza es un sistema CIP (limpieza en lugar) con tanques de almacenamiento para las soluciones alcalinas y ácidas, bombas y tuberías para cada evaporador o intercambiador de calor.

En el evaporador la solución puede hervirse, esto significa que la solución circula igual que el jugo por una tubería de conexión desde el final del evaporador hasta el tanque de jugo claro. Esto es típico en las fábricas de azúcar de remolacha al final de la campaña. Los evaporadores pueden limpiarse independientes por hervidura o aspersión. Diagrama 2 muestra un ejemplo de sistema CIP con reutilización de soluciones de evaporadores para intercambiadores de calor aplicado en una fábrica brasileña.

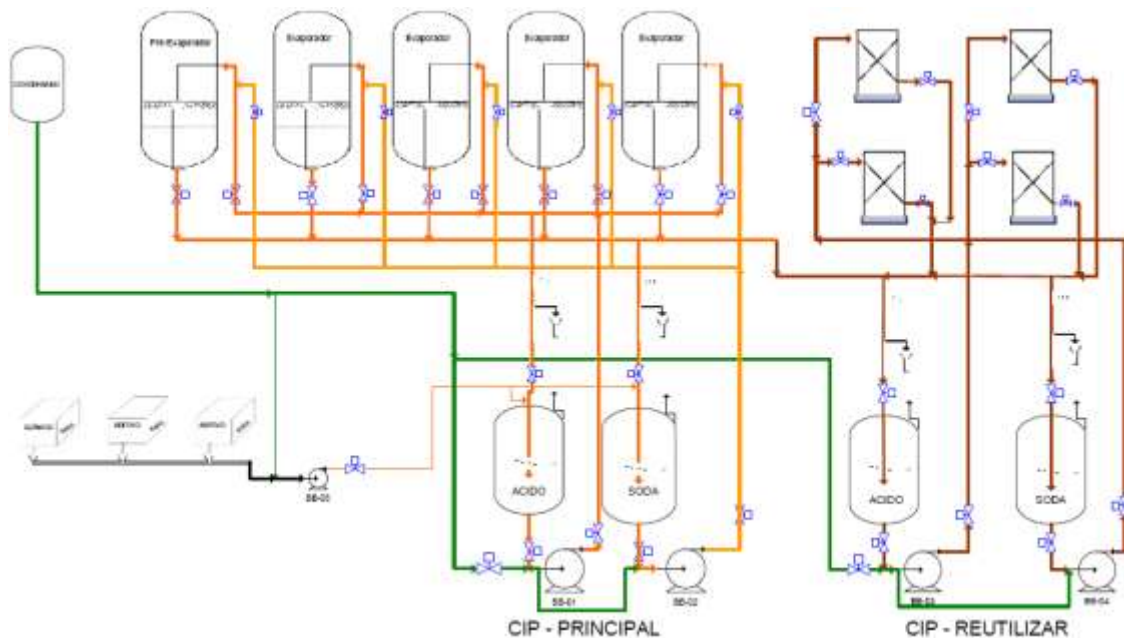


Diagram 2: CIP System used in a Brazilian Factory

## 2 Antiincrustante

El objetivo de la limpieza de la estación de evaporación es recuperar el valor original de la transferencia de calor, sin embargo cuando se aplica un antiincrustante que previene la formación de incrustaciones, este se mantiene en un nivel alto durante más tiempo. Mientras las fábricas de azúcar de remolacha que aplican antiincrustantes de alto rendimiento limpian por lo general sólo al final de la campaña que se extiende hasta 140 días, las fábricas de azúcar de caña tienen que parar frecuentemente para realizar limpieza química y/o mecánica durante la campaña.

### 2.1 Principio de Funcionamiento

Mientras muchos diferentes antiincrustantes están disponibles para el tratamiento del agua, la composición química de antiincrustantes para aplicación a los jugos de caña

está regulada por normas nacionales e internacionales tales como las de la FDA. Los mejores antiincrustantes para aplicar al jugo de la caña son a base de poliacrilato. Previenen la formación de incrustaciones estabilizando las pequeñas y aún invisibles micro cristales de sales de calcio que se forman durante la evaporación y concentración del jugo. Sin antiincrustante los micro cristales crecen, se unen y de esta manera forman la incrustación. Un extremo de la cadena molecular del antiincrustante es capaz de adherirse a la superficie de estos micro cristales y evitar puedan continuar creciendo. Esto mantiene los micro cristales estables en el jugo de forma tal que desde el punto de vista técnico se comportan como si estuvieran disueltos. La estabilización de estos microcristales de calcio se mantiene durante todo el proceso y salen del mismo con las melazas o mieles finales, nunca con el azúcar.

## **2.2 Control de la Aplicación de Antiincrustantes sin abrir el Evaporador**

Durante la operación, un evaporador no se puede abrir para observar la formación de incrustaciones. Sin embargo, la formación de incrustaciones puede ser comprobada por la observación de sus efectos negativos.

La razón de evaporación puede ser determinada mediante la medición de sustancia seca del jugo (Brix) en la entrada y salida del evaporador si el vapor suministrado (consumo de vapor) se mantiene constante.

Frecuentemente una fábrica trata de lograr la evaporación deseada (sustancia seca en la salida) aumentando la cantidad de calor, es decir el suministro de vapor. La mayor cantidad de vapor necesaria para una determinada evaporación da como resultado un aumento en el diferencial de presión  $\Delta p$  o en el diferencial de temperatura  $\Delta T$ . Ambos indicadores son monitoreados por sistemas tradicionales de control del proceso o manualmente registrados por el operador. Si no hay otras razones para estas alteraciones, la formación de incrustaciones se puede seguir mediante la comparación de estas cifras. Generalmente, durante un período corto de tiempo la diferencia de presión puede mostrar fluctuación, lo que puede ser provocado por la misma operación o por otros problemas en el área. Por lo tanto para comprobar la formación de incrustaciones, la tendencia de  $\Delta p$  y  $\Delta T$  durante un tiempo importante debe ser considerada.

Para seleccionar la dosificación correcta del antiincrustante base poliacrilato, es importante conocer el contenido de calcio del jugo porque el calcio es la parte más importante de los compuestos formadores de incrustaciones. Por lo general, no existe una fuente adicional de calcio durante el proceso de evaporación. Por lo tanto, el contenido de calcio del jugo clarificado es el factor más importante para determinar la tasa de dosificación del antiincrustante. La diferencia del contenido de calcio entre el jugo denso y el jugo claro, cuando se calculan base materia seca, también pueden indicar la formación de incrustaciones.

El contenido de calcio del jugo se realiza por titulación con EDTA como se describe y acepta por ICUMSA.

### **3 Influencia de la Purificación del Jugo sobre la Incrustación en el Evaporador**

#### **3.1 Floculante**

Los floculantes se utilizan para mejorar la sedimentación de la precipitación primaria del fosfato de calcio y otras impurezas durante el proceso de purificación del jugo. Casi todas las fábricas de azúcar de caña con clarificación por sedimentación utilizan poliacrilamidas aniónicas de alto peso molecular y de baja a media densidad de carga iónica. Los floculantes se venden en estado de polvo y tienen que ser disueltos en agua antes de su uso. Durante el tiempo de disolución de aproximadamente una hora la solución deberá ser agitada para evitar la formación de aglomerados de floculante en el agua. La concentración de la solución de floculante listo para su aplicación es de aproximadamente 0,1%.

La solución del floculante debe ser dosificada en un punto de alta turbulencia para asegurar una mezcla óptima de la solución altamente viscosa en el jugo y una buena floculación. La dosificación de la solución en puntos de baja turbulencia da como resultado mezclas débiles y una floculación incompleta. Para evitar la destrucción de los flóculos, las turbulencias después de la mezcla deben ser evitadas.

#### **3.2 Antiespumante**

Si bien es muy común utilizar antiespumantes en la producción de azúcar de remolacha, no es usual en fábricas de azúcar de caña. La razón no es que la formación de espuma no ocurra durante el procesamiento del jugo de la caña de azúcar, sino que los problemas derivados de la formación de espuma no son tan evidentes como en las fábricas de azúcar de remolacha.

La formación de espuma se inicia desde los molinos, pero en la mayoría de los casos no es hasta la etapa de sedimentación donde la espuma ocasiona algún problema técnico. En el clarificador los compuestos activos de la formación de espuma en el jugo pueden causar problemas en la sedimentación. Las burbujas de aire estabilizadas por estas sustancias atrapan los flóculos y causan la flotación de una parte importante de los lodos, que de otra manera sedimentan según lo previsto. Lodos y espumas se encuentran frecuentemente en la salida del clarificador y no son totalmente eliminados por los coladores de jugo clarificado. Estas partículas de lodo entran en los evaporadores y frecuentemente se encuentran como incrustaciones de fosfato de calcio en los primeros vasos.

La aplicación de antiespumantes antes de la clarificación reduce la formación de espumas y evita la flotación del lodo. El antiespumante para esta aplicación debe ser formulado para jugos de alta temperatura y estar libre de siliconas.

#### **Conclusión**

La forma más rápida y segura para eliminar las incrustaciones en evaporadores e intercambiadores de calor es la limpieza química con soluciones alcalinas y ácidas. Con los inhibidores de la corrosión la solución ácida se puede utilizar sin ningún riesgo de pérdida del material.

Los antiincrustantes previenen la formación de incrustaciones y conservan la transferencia de calor en un alto nivel. Reducen el consumo de energía y prolongan el tiempo de los ciclos entre limpiezas. Contribuyen al buen funcionamiento de la estación de evaporación.

Las partículas de lodo que no se eliminan durante la sedimentación del jugo y pasan a través de los coladores de jugo clarificado pueden ser fuente de formación de incrustaciones en los evaporadores, sobre todo en los primeros efectos. Las partículas de lodo en el jugo clarificado pueden ser evitadas mejorando la clarificación del jugo con la correcta aplicación de floculantes y antiespumantes.

### **Bibliografía**

Schneider, F. (ed.) 1968. Technologie des Zuckers. p. 725. Hannover, Alemania.