

REVISIÓN GENERAL SOBRE EL DESEMPEÑO DEL CLARIFICADOR CROMPION LLT EN LA INDUSTRIA AZUCARERA

INTRODUCCIÓN

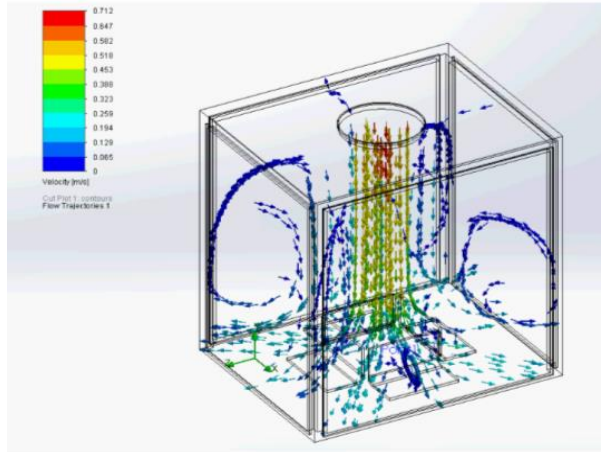
El Clarificador Crompion LLT que por sus siglas en inglés significa Louisiana Low Turbulence ha sido diseñado a través de una alianza estratégica entre la Universidad Estatal de Luisiana (LSU) y especialistas de la industria azucarera. Este nuevo clarificador es un diseño innovador en la clarificación de jugo de caña ya que incorpora en su estructura un canal para el flasheo del jugo que provee mayor área de desaireación comparado con un tanque flash externo de capacidad similar y reduce la posibilidad de reincorporar el aire al jugo. Adicionalmente, el jugo que entra al clarificador llega a través de una red de tuberías que tienen adaptado al final un Dispositivo Reductor de Turbulencia (TRD por sus siglas en inglés) reduciendo de esta manera el momento del jugo y las recirculaciones internas. La suma de estas tecnologías permiten que el clarificador Crompion LLT tenga un bajo tiempo de residencia, reduzca la pérdidas de sacarosa y produzca un jugo clarificado de alta calidad.

CONCEPTOS SOBRE EL DISEÑO DEL CLARIFICADOR CROMPION LLT

Los siguientes conceptos básicos fueron considerados en el desarrollo del Clarificador Crompion LLT:

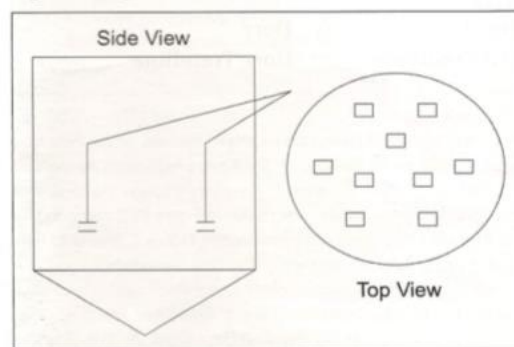
- Al final de cada tubo de distribución de jugo está conectado un dispositivo reductor de turbulencia (TRD) que reduce la cantidad de movimiento del fluido reduciendo las recirculaciones y turbulencia al interior del clarificador (Kochergin, Gaudet, & Robert, 2011). Este fenómeno se puede observar en la figura 1, donde se utilizó dinámica computacional de fluidos (CFD) para modelar el comportamiento del TRD.
- Los tubos de alimentación del jugo están diseñados para mantener una velocidad alta del jugo para reducir el riesgo de taponamiento e incrustaciones (Kochergin et al., 2011).

Figura 1: Comportamiento del jugo a través del TRD simulado mediante CFD.



- El jugo alimentado al clarificador se realiza a través de una serie de tubos que conforman una red hidráulica uniforme ubicada en toda la sección transversal del clarificador. Este esquema se puede observar en la figura 2 (Kochergin et al., 2011).

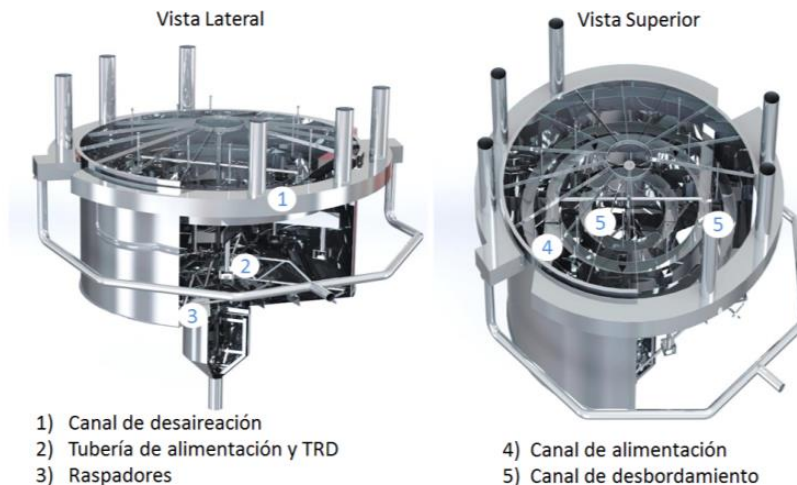
Figura 2: Esquema Conceptual de Distribución del Jugo en el Clarificador (Kochergin et al., 2011)



- El jugo clarificado se recibe por desbordamiento en la parte superior mediante el uso de canales. Esta característica mantiene perfiles de velocidad verticales que permiten el uso de toda la sección transversal del clarificador (Kochergin et al., 2011).
- El Clarificador Cromption LLT tiene en su estructura una canal de flasheo que remueve el aire disuelto sin la necesidad de utilizar un tanque flash externo. Este diseño provee más área de desaireación que un tanque flash externo de capacidad similar y ocupa menos espacio. Adicionalmente, se disminuyen otros requerimientos como el uso de tubería adicional y también el riesgo de posicionar el tanque flash incorrectamente, que conlleva a una desaireación pobre del jugo y consecuentemente trae problemas a la clarificación (S. Grimaldo, 2013).

Un esquema general del clarificador Crompton LLT se puede observar en la figura 3.

Figura 3: Esquema General del Clarificador Crompton LLT.

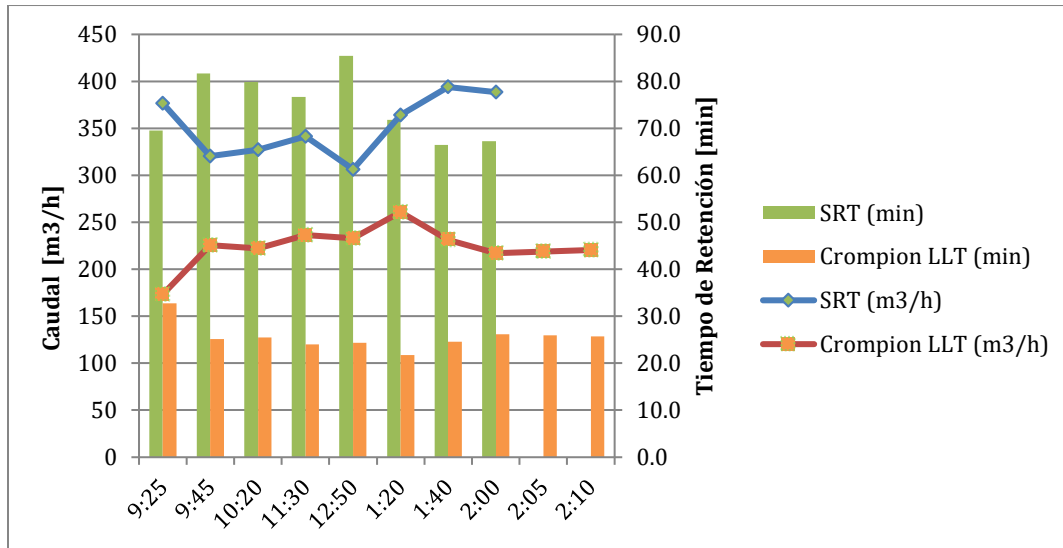


DESEMPEÑO DEL CLARIFICADOR CROMPION LLT

La primera implementación a escala industrial del Clarificador Crompton LLT fue en Sterling Sugars (Franklin, Luisiana) en el año 2010. Durante esta zafra la fábrica molió aproximadamente 10,890 toneladas de caña por día y operó con dos clarificadores en paralelo: un clarificador SRT con 12 metros de diámetro y aproximadamente 74 minutos de tiempo de retención; y el Clarificador Crompton LLT de 6.1 metros de diámetro y con un tiempo de residencia de aproximadamente 25 minutos.

En la zafra del 2010-2011 se realizó un seguimiento del caudal de jugo alimentado a los clarificadores, el tiempo de retención en los clarificadores y la turbiedad, medida en unidades nefelométricas (Gaudet & Kochergin, 2013). Los resultados mostraron que el Clarificador Crompton LLT operó con un tiempo significativamente menor que el SRT (figura 4), lo que reduce las pérdidas de sacarosa al interior del clarificador que pueden ser estimadas a través de la ecuación de Vukov (1965). Adicionalmente, un análisis de la turbiedad del jugo (figura 5) mostró que el clarificador Crompton LLT redujo en un 23% más la turbiedad que el clarificador SRT en un tiempo de retención menor, lo que indica que el Clarificador Crompton LLT puede manejar altos caudales con tiempos de residencia bajos sin sacrificar la calidad del jugo claro y con una buena amortiguación de las fluctuaciones del proceso. Finalmente, un comportamiento similar se observó (figura 6) durante la zafra de 2013-2014 donde la turbiedad del jugo se monitoreó en unidades de absorbancia (900 nm) acorde con el método ICUMSA GS7-21.

Figura 4: Seguimiento del caudal y tiempo de retención en los clarificadores durante la zafra de 2010-2011 en Luisiana (Gaudet & Kochergin, 2013).



El clarificador Cromption LLT también ha sido probado con éxito en la industria azucarera de la India, específicamente en Andhra Sugars. Un estudio realizado por ellos mostró que el clarificador Cromption LLT removi6 en t6rminos de turbiedad y color aproximadamente 90.42% y 33.34%, respectivamente con un tiempo de retenci6n de aproximadamente 37 minutos (Narendranath & Lionnet, 2011). Adicionalmente, durante este seguimiento se observ6 que la temperatura del jugo claro obtenida con el Clarificador Cromption LLT fue 3 °C m6s alta que las de un clarificador tipo Graver que oper6 en paralelo. Este incremento en la temperatura del jugo signific6 un ahorro de aproximadamente 3000 toneladas m6tricas de bagazo por cada mill6n de toneladas de caña molida, lo que equivale a un ahorro de aproximadamente \$78,000¹ d6lares por cada mill6n de toneladas de caña molida. Este factor puede ser especialmente atractivo en f6bricas con cogeneraci6n o donde el bagazo se utiliza para la elaboraci6n de otros productos p. ej. papel.

Figura 5: Seguimiento de la turbiedad del jugo claro, medida en unidades nefelom6tricas, durante la zafra de 2010-2011 en Luisiana (Gaudet & Kochergin, 2013).

¹ Suposiciones: El 6ndice de generaci6n de vapor equivale a una tonelada de bagazo genera aproximadamente una tonelada de vapor, la capacidad calor6fica del bagazo utilizada en el c6lculo equivale a 9,740 kJ/kg, la del carb6n fue de 25,000 kJ/kg y el precio del bagazo y el carb6n utilizado fue \$26 y \$68.5 d6lares, respectivamente.

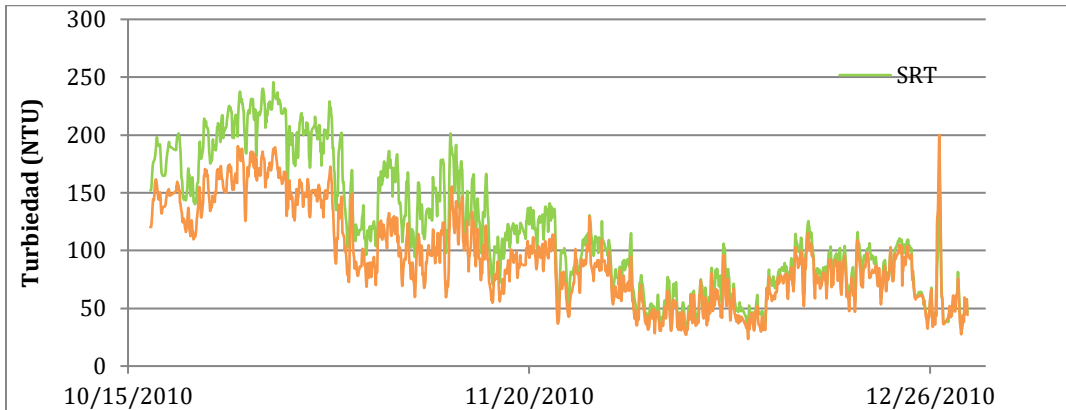
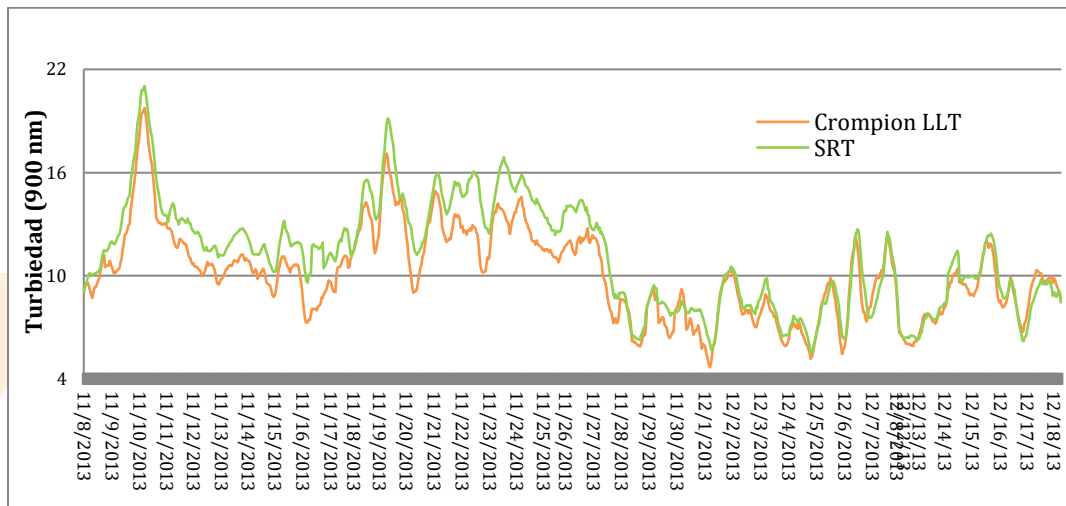


Figura 6: Seguimiento de la turbiedad del jugo claro, medida en unidades de absorbancia, durante la zafra de 2013-2014 en Luisiana.



CLARIFICACIÓN DE JUGO FILTRADO

Otra aplicación donde el Clarificador Cromption LLT se ha utilizado es en la clarificación de jugo filtrado. Algunas de las ventajas que la clarificación de jugo filtrado trae a la fábrica son: reduce la inversión de sacarosa ya que evita la recirculación del jugo filtrado que es perjudicial para el proceso; la clarificación de jugo filtrado puede incrementar la capacidad de los clarificadores principales en un 15 a 20% y puede reducir la destrucción de azúcares reductores que conllevan a la generación de color en el proceso, entre otros.

Un estudio realizado utilizando la tecnología de reducción de turbulencia mostró que se puede obtener un jugo filtrado clarificado con un muy bajo tiempo de retención (10 minutos) con una calidad comparable al jugo claro obtenido en los clarificadores principales, y este puede ser enviado directamente a los evaporadores (S. A. Grimaldo &

Kochergin, 2015). Los resultados obtenidos durante la operación de un clarificador de jugo filtrado con una capacidad máxima de 100 galones por minutos se resumen en el cuadro 1.

Cuadro 1: Desempeño del Clarificador de Jugo Filtrado durante zafra 2012-2013 en Luisiana.

Parámetro	Objetivo	Promedio obtenido durante la operación del clarificador
Turbiedad del jugo filtrado (NTU)	<260	250
Turbiedad obtenida al mezclar el jugo filtrado clarificado con el jugo claro (NTU)	<180	165
Color del jugo filtrado clarificado (IU)	5936-7764	5730
Porcentaje de remoción de color obtenido en el clarificador de jugo filtrado (%)	15-32	17
Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos (%)	69-93%	>87%
Tiempo de retención del jugo en el clarificador [min]	-	<10

Durante el seguimiento, la turbiedad obtenida del jugo filtrado clarificado fue en promedio 250 NTU. Este valor fue menor comparado los resultados obtenidos en pruebas de sedimentación por jarras realizadas al mismo tiempo que se operaba el clarificador de jugo filtrado, lo que indicó que el clarificador se estaba comportando de acuerdo a lo esperado. Adicionalmente, cuando el jugo filtrado clarificado se combinó con el jugo claro la turbiedad promedio obtenida fue de 165 NTU que se considera buena ya que está por debajo de un valor límite establecido en Luisiana que equivale a 180 NTU. Adicionalmente, en términos de remoción de color el clarificador logró disminuir el color del jugo filtrado en 17%. Además, el color del jugo filtrado clarificado, medido a pH 7 y 420 nm, fue 5730 IU. Estos valores tanto de color del jugo filtrado y la remoción de color se encuentran dentro del rango de los valores reportados en Luisiana (Eggleston, 2000; Saska, Zossi, & Liu, 2010). Finalmente, la remoción de sólidos suspendidos fue cercana al 87% con una concentración de insolubles en el jugo filtrado clarificado de 900 ppm (S. A. Grimaldo & Kochergin, 2015).

CONCLUSIONES

- Una de las características principales del Clarificador Cromption LLT, que lo diferencia de otros clarificadores que operan en la industria, es principalmente su tecnología en reducción de turbulencia que le permite ser más eficiente en la

separación del jugo, ya que disminuye significativamente la cantidad de movimiento del fluido y los remolinos que se generan al interior de los clarificadores y desvían el flujo de una trayectoria vertical.

- Adicionalmente, el canal de flasheo, incorporado en el cuerpo del clarificador, evita el uso de un tanque flash externo reduciendo el espacio requerido, garantiza una desaireación óptima y una temperatura constante del jugo, lo que reduce la presencia de gradientes de temperatura en el clarificador y de sólidos suspendidos en el jugo clarificado.
- En los diferentes estudios realizados al clarificador Cromption LLT se observó que este clarificador produce un jugo claro de óptima calidad en un bajo tiempo de retención (aproximadamente 30 minutos) comparado con otros clarificadores.
- El Clarificador Cromption LLT se ha utilizado también en la clarificación de jugo filtrado evitando la recirculación de esta corriente. Los estudios realizados muestran que se puede alcanzar una calidad de jugo filtrado clarificado alta con un muy bajo tiempo de retención (10 minutos).

BIBLIOGRAFÍA

- Eggleston, G. (2000). Hot and Cold Lime Clarification in Raw Sugar Manufacture I: Juice Quality Differences. *International Sugar Journal*, 102(1220), 406–416.
- Gaudet, C., & Kochergin, V. (2013). Design and Industrial Applications of Louisiana Low Turbulence (LLT) Clarifiers. *International Sugar Journal*, 115(1377), 628–632.
- Grimaldo, S. (2013). *Design and Implementation of a Very Short Retention Time Filtrate Clarifier*. Louisiana State University.
- Grimaldo, S. A., & Kochergin, V. (2015). Design and Implementation of a Very Short Retention Time Filtrate Clarifier. *International Sugar Journal*, 117(1394), 106–113.
- Kochergin, V., Gaudet, C., & Robert, M. (2011). A Juice Clarifier with Turbulence Reduction Devices: Results of first Industrial Trials. *International Sugar Journal*, 113(1349), 348–354.
- Narendranath, M., & Lionnet, R. (2011). Performance of the Louisiana Low Turbulence (LLT) Juice Clarifier. Gold Coast: ISSCT Factory Workshop.
- Saska, M., Zossi, B., & Liu, H. (2010). Removal of Colour in Sugar Cane Juice Clarification by Defecation, Sulfitation and Carbonation. *International Sugar Journal*, 112, 258–266.
- Vukov, K. (1965). Kinetic Aspects of Sugar Hydrolysis. *International Sugar Journal*, 67, 172–175.