

## **OPTIMIZADOR DE TACHOS DE AZÚCAR REFINADO**

Leonardo Velásquez Orozco

Actkon S.A.S., Manizales, Caldas, Colombia. E-mail: lvelasquez@actkoncorp.com

### **RESUMEN**

Se implementan analizadores inferenciales tipo Softsensors para el proceso de cristalización en los tachos refino tipo batch, con el propósito de tener en tiempo real la medida de concentración de azúcar ( $^{\circ}$ Brix), reemplazando sensores físicos y determinar el índice de sobresaturación, el cual gobierna la velocidad de cristalización de la masa.

La metodología se basa en el conocimiento y correlación de las variables de proceso y los lazos de control (PID), vinculadas a un conjunto de estrategias de control que agrupan las mejores relaciones que existen en el proceso para optimizar el desempeño del equipo. Los resultados obtenidos en los analizadores de concentración de azúcar presentan una desviación del error máxima del 5% comparado con los análisis de laboratorio para cualquier masa, predicción aceptable del softsensor de  $^{\circ}$ Brix, proporcionando estabilidad en el sistema en la medición del índice de saturación, el cual controla el tiempo de cocimiento de las masas. Se obtiene un grado de automatización y optimización del proceso de cristalización aceptable para las condiciones de operación.

**Palabras claves:** *Control Regulatorio Avanzado, Analizadores Inferenciales, Softsensor,  $^{\circ}$ Brix, Concentración de Azúcar, Índice de Saturación, Velocidad de Cristalización, Automatización, Optimización, Tachos, Tachos de Refino*

## **INTRODUCCIÓN**

En general las plantas azucareras desarrollan la automatización de los tachos por medio de control regulatorio clásico y secuencias de control. La medición de Brix se ha venido realizando por medio de diferentes tecnologías, entre las cuales se han probado conductividad, densímetros gama, radio frecuencia, micro-ondas, entre otros, y los resultados más ajustados se han obtenido con el sistema de densímetro gama. La normatividad actual de alimentos y las restricciones de seguridad industrial no permiten tener medidores de Brix con tecnología radioactiva y los altos costos de inversión para adquisición y mantenimiento de medidores de concentración de azúcar hacen pensar en otras alternativas para la medición en línea de esta variable. Debido a las restricciones de las tecnologías radioactivas, es entonces de gran interés para el sector azucarero el desarrollo de aplicaciones que no involucren un sensor de alto costo y que además conserven los mejores indicadores de Tiempo de Templa, Consumo de Vapor y Consumo de Agua. Para ello se propuso una solución compuesta por Softsensors y Control Regulatorio Avanzado para controlar y operar los Tachos de Refino.

Se inició un proceso de análisis estadístico con los datos de varios meses del proceso y se determinó una correlación entre variables de medición primaria como nivel, presión y temperatura con el grado de concentración de azúcar ( $^{\circ}$ Brix) y el índice de saturación.

Debido a que se demostró esta correlación se decidió construir un modelo matemático Inferencial más desarrollado para las dos medidas expuestas anteriormente. Como las variables primarias son monitoreadas en línea esto permite obtener una medida continua y coherente de  $^{\circ}$ Brix y de la velocidad de formación del grano.

Los Analizadores Inferenciales o Softsensors, permiten generar modelos probabilísticos a partir de un conjunto de observaciones. Para el desarrollo de un Analizador Inferencial

(Softsensor) es necesario desarrollar un plan de pruebas coherentes para determinar, por medio de métodos estadísticos de alto nivel, la correlación existente entre las variables primarias y el análisis deseado. A los conjuntos de datos obtenidos, se le realizan filtraciones matemáticas para así obtener mejor representatividad de las variables, con estos nuevos conjuntos de datos se estiman los parámetros del modelo y se contrastan con las hipótesis establecidas, con el objeto de determinar si el modelo Inferencial es el adecuado al problema real que se ha planteado.

La utilidad de los analizadores inferenciales conocidos como Softsensors de concentración de azúcar e índice de saturación en las masas, consiste en que si el modelo es adecuado puede usarse para la toma de decisiones en tiempo real o acciones adecuadas para el proceso, además puede manipularse los elementos finales de control de tal manera que se obtenga una operación eficiente.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Los Softsensors o analizadores inferenciales se basan en modelos probabilísticos, en los cuales, un conjunto de observaciones se contrastan con las hipótesis establecidas, con el objeto de determinar si el modelo es adecuado al fenómeno real estudiado.

Para la implementación de los analizadores inferenciales (softsensor) en los tachos, se parte de un fuerte conocimiento del proceso, fundamentado en las entrevistas con el personal de operación e instrumentación, la revisión de diagramas de flujo del proceso y de la instrumentación disponible, manuales de operación y otros, con el objetivo de realizar un análisis detallado de las condiciones actuales y generar un caso base, punto de partida del proyecto.

Como complemento se realiza un análisis estadístico de alto nivel, que provee información importante en el conocimiento del material transformado y las características de calidad que se deben lograr; así mismo es una mirada introspectiva al proceso y una evaluación del alcance de los estándares fijos de producción y calidad. Esta primera etapa corresponde a lo que se denomina como pruebas preliminares o pre test del proyecto.

Con el análisis del proceso tanto en su condición física como en su fenomenología, se procede a proponer estrategias avanzadas de control que incluyen softsensor de concentración de azúcar e índice de sobresaturación.

Se instalan los instrumentos necesarios para la implementación del softsensor y se configuran los lazos de control propuestos. Se realiza un diagnóstico de la instrumentación y la sintonía de alto desempeño.

Posteriormente se realiza el modelamiento del tacho, etapa que brinda una idea de las ventajas de implementar un sistema de control como el propuesto.

Se continúa con el modelamiento de datos históricos y observaciones de campo, contando siempre con la retroalimentación y el valioso aporte del personal del departamento de elaboración y refinería de la planta azucarera.

El resultado del modelamiento de datos, mediante el uso de estadística descriptiva e inferencial y la revisión bibliográfica de la fenomenología del proceso, constituyen los modelos matemáticos, lo cuales son sometidos a pruebas de repetitividad y reproducibilidad, para ser aceptados y lograr una buena representación del sistema a controlar, en el rango de operación y para cualquier instante de tiempo. Esta etapa de modelamiento se conoce como test.

La puesta en marcha del proyecto comprende las pruebas de robustez y sensibilidad de las estrategias y modelos implementados.

La evaluación de datos y repetitividad es un proceso continuo, que requiere la interacción del equipo de trabajo completo.

La capacitación del personal de operación se realiza a medida que avanza la optimización, lo cual permite adaptar a los operadores con las estrategias y el nuevo sistema implementado.

La etapa final de optimización que corresponde a las pruebas de desempeño sostenido, aún se encuentra en ejecución.

Las actividades descritas, se realizaron de manera conjunta entre el personal de la Planta Azucarera y personal de Actkon.

## **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

El Optimizador de los tachos de refino de la planta azucarera surge como una necesidad de reemplazar los sensores de concentración de sacarosa (°Brix) que hasta el momento se tenían instalados y la renovación de las estrategias de control regulatorio clásico por un control regulatorio avanzado que aproveche la interacción de variables del proceso para lograr la estabilidad del sistema.

Los tachos de refino objeto del proyecto contaban con lazos de control sencillo de nivel, presión de vapor, presión de vacío, junto a una medida de la temperatura del cuerpo del tacho, temperatura de agua del condensador y flujo de condensados de la calandria, los cuales controlaban en forma independiente cada una de las variables correspondientes.

En el siguiente gráfico se presenta el Diagrama de Tubería e Instrumentación (P&ID por sus siglas en inglés), punto de partida en el análisis y generación del caso base.

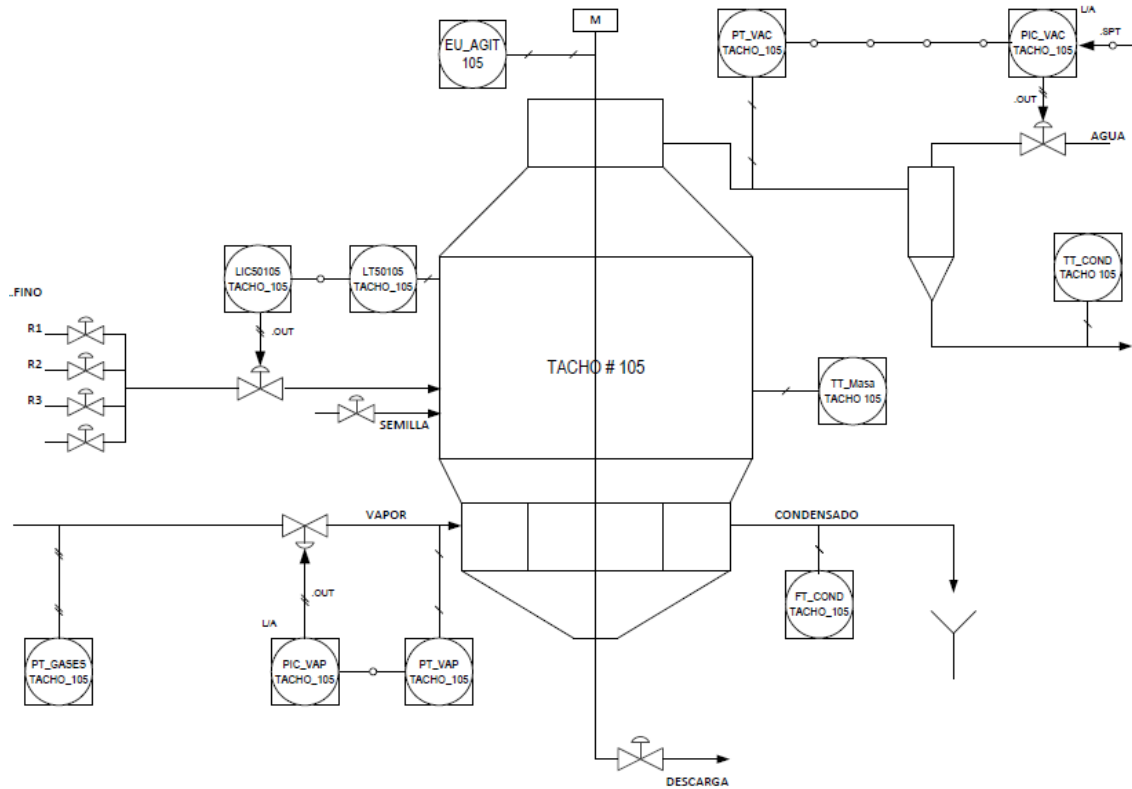


Figura 1. P&ID Tacho de refino. Control Regulatorio Clásico. Planta Azucarera Colombiana

El Optimizador de tacho de refino es el resultado de la implementación de estrategias control regulatorio avanzado, y de analizadores inferenciales o softsensor de índice de sobresaturación y concentración de azúcar, con las cuales se asegura la estabilidad de la operación. El controlador de nivel es manejado mediante el cambio de concentración de sacarosa durante la cocción de la masa; el modelo que representa este cambio obedece a la dinámica del sistema. El Optimizador del Tacho también envía los set point remotos para los controladores de vapor y de vacío. Adicionalmente tiene una retroalimentación sobre la válvula de vapor para ayudar a la estabilidad de entrega de energía al tacho y así disminuir las inestabilidades por los cambios de calidad del vapor dentro de la red de la planta.

La siguiente gráfica muestra la estrategia de control del Optimizador de Tachos.

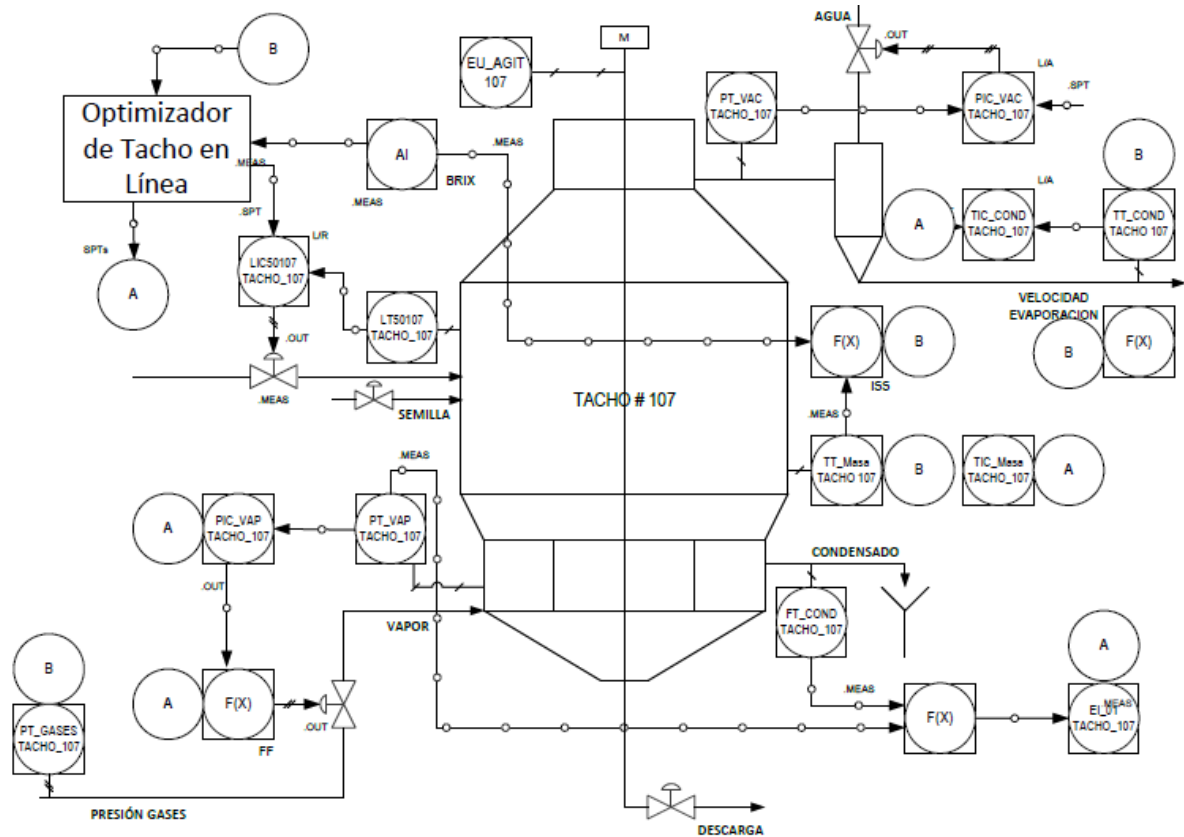


Figura 2. P&ID Tacho de refino. Estrategia de control Optimizador de Tachos. Actkon S.A.S – Planta Azucarera Colombiana

Los indicadores claves del proceso (KPI's por sus siglas en inglés) que se analizaron para el desarrollo del Optimizador de Tachos de refino, son:

- Tiempo de Templa.
- Consumo de Agua
- Consumo de Vapor.
- Calidad de la Masa en el valor deseado.

Es importante aclarar que el objetivo para estos indicadores es disminuir los valores en los tres primeros y un mantenimiento del último KPI.

Teniendo en cuenta el primer KPI es decir el tiempo de templa, se evidenció un cambio importante, ya que su valor promedio se redujo en 11% del tiempo inicial, lo que

significa un aumento en el número de templas que se pueden procesar por día/tacho y un mejor aprovechamiento de la capacidad instalada.

Para la instancia actual del proyecto se tienen resultados generales que indican que el KPI de consumo de agua ha disminuido en un 8%, lo que genera una disminución en el costo de producción y eleva la ganancia neta en la producción de azúcar.

## **CONCLUSIONES**

El Optimizador de Tachos de Refino es una excelente alternativa de medición y control como lo muestran los resultados obtenidos en los indicadores clave de desempeño que se plantearon dentro del proceso. La medición de la concentración de azúcar por medio de Analizadores Inferenciales o Softsensors tiene un error medio inferior al 5%. Se logró reducir el tiempo de cocción de templa a un valor promedio de 11% con respecto al valor promedio inicial y hasta ahora se ha monitoreado disminución del consumo de agua en el condensador del 8%.

Al comparar los Analizadores tradicionales en costos de adquisición y mantenimiento contra los Analizadores Inferenciales, éstos últimos, pueden considerarse como una alternativa para el proceso de Producción de Azúcar por los bajos costos y la confiabilidad de los resultados, ya que la repetitividad en la medida de concentración de azúcar en los diferentes materiales transformados es alta.

La velocidad de cristalización es controlada dentro del proceso, la operación es medida mediante un Softsensor de índice de saturación y mantenida en el valor deseado con la manipulación de los set points de los lazos de control sencillos.

El proyecto actualmente se encuentra en la fase de sintonización fina del controlador, por lo que se espera seguir mejorando los indicadores de la etapa de cristalización.



**BIBLIOGRAFÍA**

Gillet, E. C. 1948. Low Grade Sugar Crystallization.

Honing, P. 1974. Principios de Tecnología Azucarera.