



Control del nivel de caña en la estera elevadora del central “Ciro Redondo” / Control of the cane level on the lifting belt in “Ciro Redondo” center

**Ing. Fidel Benítez Hidalgo,
Dr. C. Eduardo Izaguirre Castellanos.**

Resumen

El central azucarero “Ciro Redondo” en Ciego de Ávila se encuentra inmerso en un proceso de incorporación de nuevas tecnologías a la producción azucarera, este ingenio es el primero en estar asociado a una bioeléctrica en Cuba. El bagazo necesario para la operación de la misma será entregado por el tándem del central, el cual tiene que ser diseñado y controlado para cumplir con estas exigencias.

En este trabajo se proponen estrategias de control en lazo cerrado basado en modelo matemático para el control de nivel de caña en la estera elevadora del tándem del central “Ciro Redondo” y su aplicación sobre sistema SCADA EROS.

Como resultados derivados de la presente investigación es posible fomentar las bases para la ejecución de varios proyectos futuros por parte de la Empresa de Servicios Técnicos Industriales (ZETI) como son: la automatización del tándem de los centrales Héctor Rodríguez y Quintín Banderas; todos ellos asociados a bioeléctricas, lo cual representa un aporte metodológico y práctico.

Palabras Clave: Control; Estera elevadora; Molinos; Nivel

Summary

Ciro Redondo sugar mill in Ciego de Ávila is immersed in a process of incorporating new technologies into sugar production. This mill is the first to be associated with a bioelectric plant in Cuba. The bagasse necessary for its operation will be delivered by the plant's tandem, which must be designed and controlled to meet these requirements. This paper proposes closed-loop control strategies based on a mathematical model for sugarcane level control on the tandem elevator mat at the Ciro Redondo power plant and its application on the EROS SCADA system. As results derived from the present investigation, it is possible to promote the bases for the execution of several future projects by the Industrial Technical Services Company (ZETI) such as: the automation of the tandem of the Héctor Rodríguez and Quintín Banderas power plants; all of them associated with a bioelectric, which represents a methodological and practical contribution.

Keywords: Control; lifting mat; mills; Level



Introducción

La agroindustria azucarera es la encargada de la siembra y cosecha de la caña, así como la extracción del jugo para convertirlo en azúcar a través de un complejo proceso industrial. Esta industria ha evolucionado considerablemente, siendo muchos los países que destinan recursos y esfuerzos al desarrollo de la misma. En esta situación encontramos a Brasil, India, Australia, México, Estados Unidos, Honduras y Cuba entre otros. Estos países, se ven envueltos en nuevos retos impuestos por la competitividad y los costos del azúcar, teniendo como alternativa, las tecnologías de alta eficiencia y fiabilidad que permitan incrementar el rendimiento de los procesos.

El central “Ciro Redondo” de la provincia de Ciego de Ávila es un claro ejemplo de la necesidad de incorporar nuevas tecnologías en la producción azucarera, pues este ingenio cuenta con una de las molidas más altas del país y además tiene asociado una importante bioeléctrica a la cual le tributa todo el combustible para su operación. El bagazo necesario es entregado por el tándem del central, el cual tiene que ser diseñado y controlado para cumplir con estas exigencias.

En Cuba se han dedicado esfuerzos al estudio y desarrollo del sistema de molida de los ingenios azucareros, tal es el caso del trabajo de (Alonso y Suárez, 2005) que propone un modelo matemático estacionario de la etapa de extracción de jugos, con la finalidad de poder realizar un análisis operacional de esta, partiendo de mediciones rápidas de las principales variables. (Corrales-Suárez et al. 2013) por su parte desarrolla una investigación para determinar las posibilidades de reducir el consumo generado por la presión hidráulica; regulando apropiadamente las presiones hidráulicas sin disminuir la eficiencia del proceso de extracción.

(Merladet y Yero, 2007), en su trabajo de diploma propone una variante de automatización del área de preparación de caña para el central Bartolomé Masó Márquez. (Garelli et al. 2009) presenta una variante de control por velocidad considerando la altura del colchón de caña en la estera elevadora como una perturbación multiplicativa mientras (Rodríguez et al. 2011) propone un modelo dinámico del molino que permite evaluar las pérdidas de contacto entre los dientes de las coronas. Sin dudas, los aportes de estos estudios surgen de las necesidades específicas de los ingenios en los cuales fueron desarrollados.

En la actualidad el sistema de alimentación de caña del central “Ciro Redondo” se opera de forma manual y en lazo abierto, no se aprovechan algunas de las ventajas de este sistema como la regulación de la velocidad de las esteras. No se logra obtener un nivel en la estera elevadora producto del desbalance entre el flujo de entrada y salida. Esta situación provoca



ineficiencia en la molid, provocando una disminución considerable del índice de preparación, ya que al llegar a las cuchillas un colchón bajo, éstas no alcanzan a preparar la caña en su totalidad. Los colmos también son perjudiciales, pueden provocar atoros en los niveladores o en las cuchillas, que en ocasiones provocan la paralización del proceso lo cual repercute negativamente en la producción y en la eficiencia energética de este proceso.

De ello surge la necesidad de proponer estrategias de control en lazo cerrado basado en modelo matemático sobre el nivel de la estera elevadora del central “Ciro Redondo” e implementadas sobre sistema SCADA.

Entre los aportes de la presente investigación están el modelo que describe la altura del colchón de caña de la estera elevadora del central “Ciro Redondo”. El cual puede ser utilizado para la modelación y diseño de futuras estrategias de control, lo cual representa un aporte teórico. Como aporte práctico se tiene el diseño del sistema SCADA para el control y supervisión, donde se implementa la estrategia de control en lazo cerrado propuesta. Además, se obtiene un considerable ahorro económico, traducido en una disminución de las paradas por mal funcionamiento, protección de los equipos y humanización de la operación.

Materiales y Métodos

La alimentación al primer molino se lleva a cabo mediante un conjunto de esteras, la alimentadora, la elevadora y la estera rápida. Este esquema varía de acuerdo a cada central azucarero. Sobre estas esteras se encuentran todos los aditamentos mecánico-eléctricos como rompe bultos, niveladores, cuchillas y desfibradoras encargadas de preparar la caña para lograr una mayor extracción de jugo, evitar atoros y disminuir el consumo energético en el primer molino (Arronte et al., 1996)

La estera elevadora recibe el volumen de caña de la estera alimentadora la cual debe permanecer siempre llena como garantía para mantener la estabilidad en la molid. En la gran mayoría de los centrales azucareros en el mundo, la estera alimentadora funciona en un régimen de trabajo on-off en dependencia de la necesidad de las esteras que le suceden (Jenkins, 1966).

La estera elevadora es la encargada de alimentar a la estera rápida y esta última a la tolva del molino y mantener su nivel. La estera elevadora al igual que las demás son movidas generalmente por motores eléctricos controlados por variadores de frecuencia, lo cual



garantiza la regulación continua de la alimentación mediante el adecuado control de la velocidad (Sena de O. F et al., 2007).

Modelo teórico del flujo de caña en las esteras

El flujo másico de caña preparada sobre la estera se puede calcular a partir de la siguiente expresión:

$$M_{ce} = A_e * H_{ce} * V_e * \rho_{ce}$$

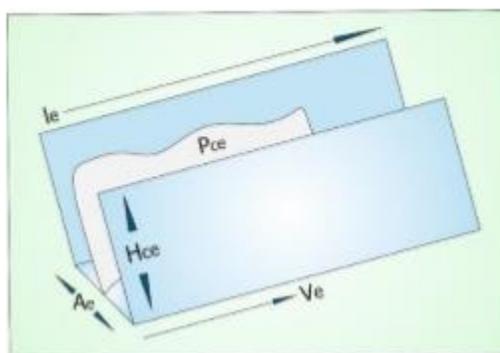


Figura 1: Esquema con los principales parámetros de la estera.

M_{ce} : Flujo másico de caña en la estera (Kg/min), A_e : Ancho de la estera (m), H_{ce} : Altura media del colchón (m), V_e : Velocidad de la estera (m/min), ρ_{ce} : Densidad de la caña en la estera (Kg/m³). En la estera elevadora coinciden los flujos de entrada de esta y el de salida de la alimentadora. Por lo que el nivel o altura de caña en la estera elevadora se puede calcular según la ecuación 2.

$$H_{EE} = \frac{F_{sEA}}{A_{EE} * \rho_{EE} * V_{EE}}$$

F_{sEA} : Flujo de salida estera alimentadora (Kg/min), A_{EE} : Ancho de la estera elevadora (m), H_{EE} : Altura de caña en la estera elevadora (m), V_{EE} : Velocidad de la estera elevadora (m/min) y ρ_{EE} Densidad de caña en la estera elevadora (Kg/m³).



Modelo teórico del conjunto variador-motor

Al utilizar los variadores de velocidad como método de control de las esteras, se mejora el arranque y protección del motor, ya que estas operaciones son programables y evitan los picos de arranque al hacerlo suavemente, por consiguiente, eliminan las presiones excesivas, así como los esfuerzos a que se someten las partes mecánicas, que se producirían en arranques a tensión plena o reducida (Gil, 2009).

(Jiménez Leyva, 1997) presenta la característica mecánica del motor de inducción bajo un régimen de transformaciones para representar la influencia de la inercia electromagnética sobre el comportamiento de los procesos transitorios de conversión electromagnética. Esta expresión, es linealizada para los límites de trabajo del motor asincrónico S (deslizamiento) $< S_{m\acute{a}x}$ (deslizamiento máximo) < 0.25 (Leonhard, 2001) y donde, además, el flujo de la máquina no varía significativamente. Para estas condiciones de operación se obtiene la característica momento-velocidad que posee la forma

$$(T_e s + 1)M = \beta(\omega_o - \omega)$$

siguiente:

T_e : Constante de tiempo electromagnética (s), M es el momento electromagnético (Nm), ω_o es la velocidad angular del campo giratorio (rad/s), ω es la velocidad angular del motor (rad/s) y β es la rigidez mecánica. (Gil, 2009) y (Jiménez Leyva, 1997) concuerdan en que la ecuación 3 puede ser aproximada a un sistema de primer orden como se muestra en la ecuación 4.

$$\frac{\omega(s)}{R_{vf}(s)} = \frac{K_v}{T_v * s + 1}$$

R_{vf} es la señal de referencia (voltaje, corriente u otra variante), K_v : Ganancia del convertidor desde la entrada de referencia en Hz hasta la salida en rpm y T_v es la constante de tiempo equivalente de los elementos que conforman el conjunto variador-motor (s).

Simulación del sistema de control propuesto

Para los efectos de este trabajo se calculan valores aproximados, partiendo de datos reales obtenidos en documentos de fabricantes y aportados por el grupo técnico del central Ciro Redondo e IPROYAZ Ciego de Ávila.



cascada donde el lazo interno es proporcional integral (PI) y el lazo externo proporcional integral derivativo (PID). Esta selección quedó determinada por ser la que mejor respuesta durante las simulaciones. Mientras, los efectos de los cambios de velocidad de la estera elevadora en el nivel de caña, se corrigen con una acción anticipatoria. En la Figura 3 podemos observar el comportamiento del sistema sin el control en cascada ni la acción anticipatoria Sist2 (línea de puntos rojos), el Sist3 mejora la respuesta y está formado por el control en cascada (línea de rayas discontinuas amarilla) y el Sist1 (línea continua azul) es la mejor respuesta obtenida e incluye el control en cascada y el anticipatorio.

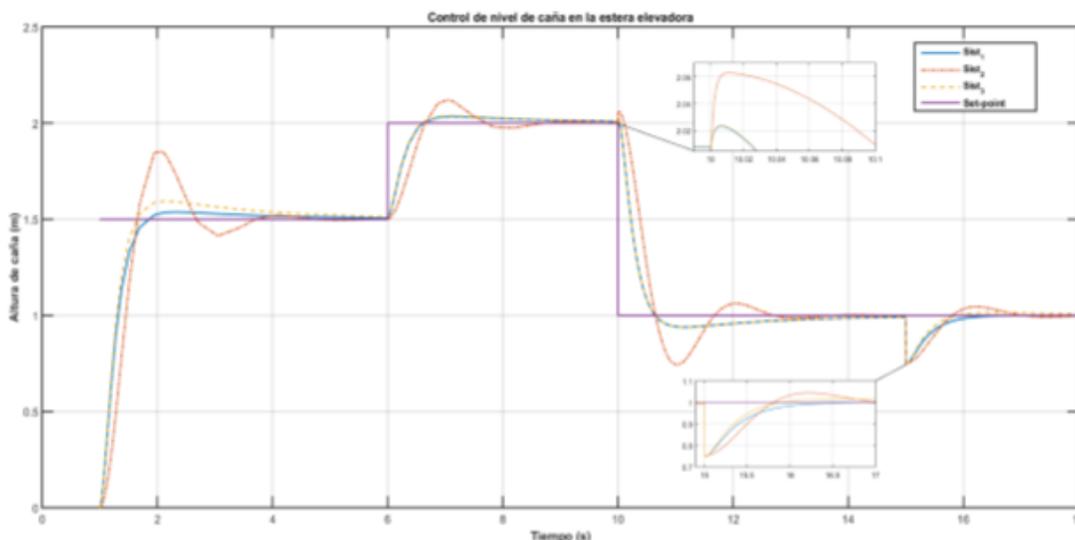


Figura 3. Simulación del control de nivel caña en la estera elevadora

Implementación práctica en sistema SCADA EROS

Para el desarrollo del sistema de control y supervisión fue seleccionado el programa EROS 5.11. Este programa es el empleado por la empresa ZETI para automatizar las diferentes áreas de los centrales azucareros. De esta forma se cumple con la estandarización y soberanía tecnológica a la que está llamada la industria azucarera cubana. El diseño de control para el nivel de caña en la estera elevadora está compuesto por la configuración del controlador del lazo interno nombrado Vel.EsteraAliment. y el controlador proporcional integral derivativo de lazo externo nombrado NivelEsteraElevad. Ver Figura 4. Desde esta ventana se puede modificar el punto de ajuste del nivel, las constantes KP, TI y TD u operar el sistema en manual o automático desde el SCADA.



Figura 4. Ventana para ajuste de controladores, lazo de nivel de caña

El autómata empleado para el control es un Fx3u de Mitsubishi y la comunicación entre el supervisor y el autómata se lleva a cabo a través de una red Ethernet. Mientras el manejo de los variadores de frecuencia está dado por comunicación serie RS-485. En la Figura 5 se muestra parte de la programación empleada para configurar el PID del lazo externo y de la acción feedforward.

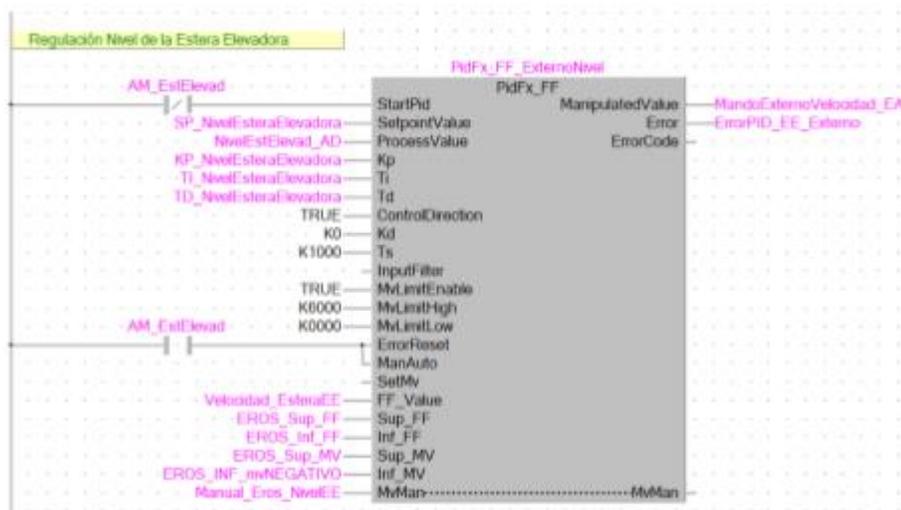


Figura 5. Fragmento del programa para controlar el nivel de caña EE



En la Figura 6 se puede observar un registro histórico del comportamiento del nivel de caña en la estera elevadora durante tres minutos aproximadamente. De color amarillo se muestra el punto de ajuste con un valor de 140.02 cm y en color rojo la variable de proceso nivel de caña con un valor puntual de 142.48 cm. Este resultado muestra la eficacia del control propuesto.



Figura 6. Registro Histórico del nivel de caña en la estera elevadora

Conclusiones

Las estrategias de control propuestas para el central Ciro Redondo e implementadas sobre sistema SCADA, satisfacen las necesidades del diseño. Con la aplicación de las mismas se logra mantener una alimentación estable a los elementos de preparación de la caña.

Referencias Bibliográficas

- ALONSO, H. Q. y SUÁREZ, L. M. P. (2005). Modelación del proceso de extracción de jugos de caña en la Planta Piloto "José Martí". *Centro Azúcar*, 32(3), 14-17.
- ARRONTE, H., BARREIRO, J., PÉREZ, F. y RAMOS, I. (1996). *Manual de Operaciones Planta Moledora*, Ministerio de Educación.
- CORRALES-SUÁREZ, J. M., GIL-ORTIZ, J. M., REMÉDIOS-CASTAÑEIRAS, P. D., MASJUAN-LEYVA, Y. y GIL-CEBALLO, J. A. (2013). Ahorro energético en tándem de molinos de caña de azúcar mediante regulación de presiones hidráulicas. *Ingeniería Mecánica*, (16), 186-193.
- GARELLI, F., M., M. R., C., A. D. y A., M. A. (2009). Simulación de un algoritmo para controlar el nivel en tolva ante alimentación discontinua de caña. *RIAI*, 6,(7).



- GIL, F. R. B. (2009). Solución para sistema de posicionamiento de plataformas mecánicas con motor de corriente alterna y variador de frecuencia. UCLV.
- JENKINS, G. H. (1966). Introduction To Cane Sugar Technology.
- JIMÉNEZ LEYVA, E. A. (1997). Control de flujos líquidos por variación de velocidad de una bomba usando motor de inducción y convertidor de frecuencia. UCLV.
- LEONHARD, W. (2001). Control of electrical drives. 3rd Edition.
- MERLADET, D. y YERO, R. (2007). Propuesta de automatización del área de preparación de caña del Central Bartolomé Masó Márquez. Universidad de Oriente.
- RODRÍGUEZ, J. L. M., VELÁZQUEZ, J. A. y RODRÍGUEZ, M. (2011). Dynamic modeling of sugar cane mills. *Centro Azúcar*, 38, 53-59.
- SENA DE O. F, DE SOUZA R y M., D. L. (2007). Validacao de modelo computacional de um transportador de correia e implementacao de um sistema para ralocacao de energia a traves da frenagem regenerativa. XIX SNPTEE proceedings, GCE 22, 2007 Río de Janeiro.

DATOS DEL AUTOR

Ing. Fidel Benítez Hidalgo,

Correo electrónico: fidel.benitez@zetivc.azcuba.cu

Teléfono: 52720707.

Empresa de Servicios Técnicos Industriales (ZETI), Santa Clara, Villa Clara.

Dr. C. Eduardo Izaguirre Castellanos.

Correo electrónico: izaguirre@uclv.edu.cu

Universidad Central Marta Abreu de las Villas (UCLV), Santa Clara, Villa Clara.

Artículo de investigación. Trabajo presentado en el evento INTERGEST 2022

Recibido: 12 de septiembre del 2022. Aprobado: 30 de septiembre del 2022. Publicado: 26 de diciembre del 2022

Benítez Hidalgo, Fidel; Izaguirre Castellanos, Eduardo (2022) Control del nivel de caña en la estera elevadora del central "Ciro Redondo".

REGRESAR AL SUMARIO