

ANÁLISIS DE LA UTILIZACIÓN DE LOS VARIADORES DE FRECUENCIA EN LA OPERACIÓN DE TRANSPORTADORES DE SÓLIDOS EN LA INDUSTRIA AZUCARERA

ANALYSIS OF THE USE OF VARIABLE FREQUENCY IN THE OPERATION IN SOLID CARRIERS IN THE SUGAR INDUSTRY

Dr. Eusebio Pérez Castellanos¹

Email: eusebiopc@uclv.edu.cu

¹Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Cuba. Departamento de Ingeniería Mecánica.

Resumen

En el presente trabajo se desarrolla un análisis de la utilización de los variadores de frecuencia en los transportadores de caña de la industria azucarera cubana. Se analiza el caso particular de una empresa y de un equipo específico. Se describen las características de este sistema en particular y se brindan las expresiones básicas para el cálculo de la capacidad y potencial de transportación y de la potencia que se debe instalar en el motor. Se utilizaron sistemas montados en Excel en el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de las Villas para calcular una gran cantidad de parámetros en los sistemas de transportación de sólidos. Mediante este proceso se demuestra que el transportador está subutilizado en cuanto a la capacidad que es capaz de manipular y a la potencia instalada en su motor. El diagnóstico permite montar escenarios en que el trabajo sea más eficiente desde el punto de vista tecnológico y energético. Los cambios fundamentales se refieren a la velocidad del equipo y esto puede ser programado en los variadores de frecuencia instalados, lo cual amortiza el costo de los mismos en un plazo relativamente breve. Se explica la ventaja de utilización de los variadores de frecuencia en los motores que mueven transportadores continuos de sólidos y el principio de funcionamiento de dichos variadores. Se describe el esquema de la instalación de este transportador que alimenta el tandem. Hace varios años se instaló un variador de frecuencia en el motor que mueve el equipo pero el mismo no ha cumplido cabalmente las funciones para las que fue concebido. Se concluye que es necesario asegurar la capacitación del personal antes de que cada equipo sea instalado, con esto se logra humanizar el trabajo y elevar la eficiencia tecnológica y energética del sistema.

Abstract

This paper develops an analysis of the use of variable frequency drives on conveyors cane Cuban sugar industry. We analyze the case of a company and a specific computer. The characteristics of this particular system e provide the basic expressions for calculating the transportation capacity and potential and power

Copyright © 2013. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

to be installed in the engine. Mounted systems were used Excel in the Department of Mechanical Engineering at the University of Las Villas to calculate a large number of parameters in the solids conveying systems. This process demonstrates that the conveyor is underutilized in terms of capacity that is able to manipulate already installed in the engine power. The diagnosis allows mounting scenarios where the work more efficient from the point of view of technological and energy. The key changes relate to the speed of the computer and this can be programmed into the inverters installed, which amortizes the cost of them in a relatively short time. It explains the advantage of using AC drives on motors that drive continuous conveyors solids and the principle of operation of these drives. Describes the diagram of the installation of the conveyor that feeds the tandem. Several years ago an inverter installed in the engine that drives the team but it has not fully complied with the functions for which it was intended. We conclude that it is necessary to ensure staff training before each equipment is installed, this is achieved with work and raising humanize technology and energy efficiency of the system.

Introducción

La industria azucarera cubana ha atravesado por un proceso que la llevó a cerrar una buena cantidad de sus fábricas por diversas causas. Una de las más importantes era la baja eficiencia con que se llevaba a cabo el proceso productivo. Las causas de este fenómeno son diversas y complejas.

Uno de los aspectos que más resalta es el bajo nivel de automatización del proceso en comparación con otras ramas de la producción. La institución que dirige la industria azucarera en Cuba se encuentra inmersa en un proceso de profundización en la introducción de sistemas automatizados en sus fábricas. Este es un proceso costoso pero absolutamente necesario para lograr una real eficiencia de la industria que la conduzca hacia una elevada competitividad a nivel nacional e internacional.

Uno de los componentes que requiere de este análisis es el sistema de transportación de sólidos en la industria (caña, bagazo, azúcar, cenizas, entre otros). Este es un sistema con consumos relativamente elevados de energía y con índices notables de consumo por tonelada de material transportado.

Particularmente elevados son estos índices en los transportadores de caña. En [2] se describen estos equipos y se evidencia que su estructura, con tabllas móviles de acero atornilladas a 2 o tres hileras de cadenas pesadas de rodillos los convierten en equipos en que el consumo de energía para mover el equipo en vacío a veces constituye más de la mitad de la energía total consumida por el equipo.

En [4] y [6] se explican los métodos para calcular la capacidad de transportación de estos equipos y la potencia que consumen. En [5] se muestran las correlaciones entre los parámetros de operación de los mismos y su índice de consumo energético.

En algunos países ya se han venido sustituyendo estos equipos por transportadores de banda, mucho más livianos y por tanto con índice de consumo mucho menor para capacidades de transportación similares, pero pasar a un proceso de sustitución total de estos sistemas en la actualidad en Cuba es imposible, dado el costo de dicho proceso. Se puede pensar en hacerlo progresivamente y por otra parte elevar la eficiencia de los sistemas actuales mediante un aumento de la automatización en la operación de los mismos.

Una de las variantes es la introducción de variadores frecuencia en los motores que se utilizan en estos equipos. Con esto puede conseguirse una elevación de la eficiencia del proceso mediante un aprovechamiento elevado de las capacidades.

Esta política requiere un estudio profundo de aquellos equipos donde serán empleados los variadores y una capacitación adecuada del personal que los instalará, los operará y les dará mantenimiento. En caso contrario se corre el peligro de realizar inversiones relativamente costosas sin una respuesta adecuada en la eficiencia tecnológica, energética y económica del sistema.

En este trabajo se realiza el estudio de un ejemplo de instalación en una fábrica específica pero este ejemplo puede servir de guía para el proceso de instalación de los variadores en otros equipos de la misma fábrica o en otras empresas de la rama.

Desarrollo

Como se ha señalado anteriormente el proceso de transportación de la caña de azúcar desde el basculador,

donde es recibida, hasta los molinos, donde se le extrae el jugo, se ha desarrollado tradicionalmente mediante transportadores de tablillas, que se describen ampliamente en [2], [4] y [6] se describen ampliamente estos sistemas

Se tomó como ejemplo una fábrica específica, el transportador de caña que alimenta el tándem esta industria azucarera posee la siguiente estructura en su vista lateral.

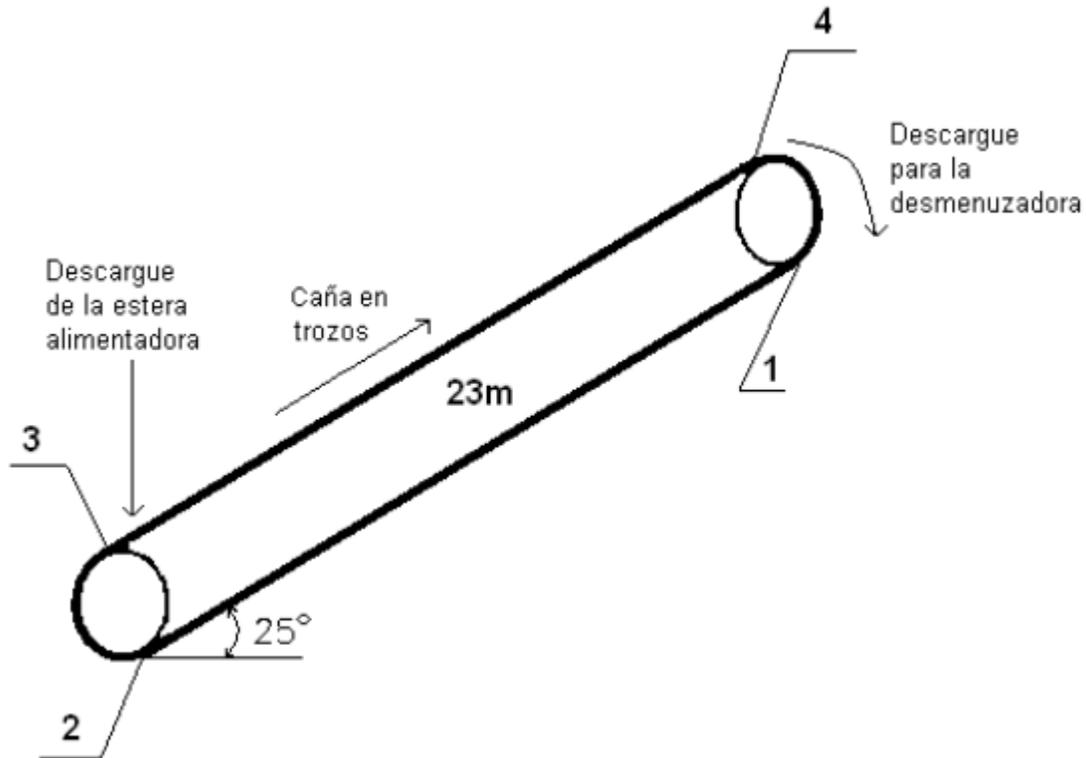


Figura.1: Esquema de la vista lateral del transportador de caña # 3.

Como se muestra es un equipo de poca longitud (23 m), pero dada su estructura y capacidad, su consumo energético es relativamente elevado.

En la siguiente tabla se muestran los datos técnicos del mismo.

Equipo	Datos Técnicos
Transportador de Caña # 3	Distancia entre centros de los ejes Motriz y de Cola: 25m
	Cantidad de tramos: (1 tramo de 23m-25°.)
	Capacidad real deseada: 143.75t/h
	Tipo de Cadena que usa: SS-1796
	Metros De cadena que instalados: 140
	Número de Hileras de cadenas: 3
	Cantidad de Tablillas:252
	Material de las tablillas: Acero CT-3
	Peso del entablillado: 2174.54N/m
	Ancho del Conductor: 1.8 m
	Altura de la guardera: 1m
	Motor: Rotor Bobinado, 440V, 15-30kW, 1180 rpm.
	Tipo de Reductor: U2Y, 31.5
	Trasmisión por cadena:(cadena RC-200, doble; Z1=25,Z2=15)
	Trasmisión por engranaje: (Z3=30,Z4=70,m=10)
	Trasmisión por engranaje: (Z5=15,Z6=94,m=20)
Sprockets conductor: (Z=16,paso =6")	
Velocidad máx.: 0.1m/s, mín.: 0.05 m/s	

En el siguiente esquema se muestran los componentes de la unidad motriz de este equipo.

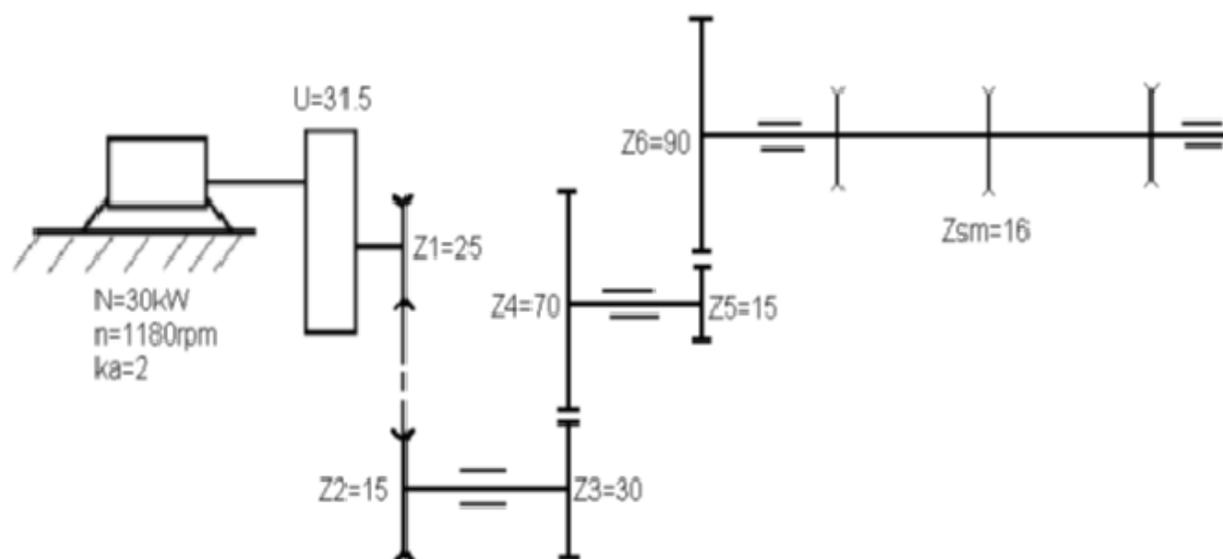


Figura 2: Esquema de transmisión del transportador de caña elevador # 3.

La unidad motriz está compuesta por un motor de 30 kW, un reductor con una relación de transmisión de 31,5 una transmisión por cadenas con 15 y 25 dientes respectivamente en sus ruedas de cadena, dos transmisiones abiertas consecutivas: una con 30 y 70 dientes en las ruedas conductora y conducida y otra con 15 y 90 dientes. Sobre el árbol de la última rueda dentada se montan las ruedas de cadena que mueven las 3 cadenas de rodillos a las que se atornillan las tablillas del conductor.

Con esta configuración y el paso de la cadena, que es de 6 pulgadas (252 mm) se consigue una velocidad de 0,1 m/s en el entablillado y por tanto en la transportación de la caña.

El cálculo de la capacidad de transportación se basa en la expresión clásica que se expresa como:

$$Q_p = \rho * V * A \quad Ec 1$$

Donde:

Q_p - capacidad potencial del equipo, en t/h.

\tilde{n} - densidad del colchón de caña, en t/m³

A - área de transportación del material

Teniendo en cuenta que el área de transportación es básicamente la altura del colchón por la distancia entre guarderas laterales y que a medida que la transportación es más ascendente disminuye la capacidad potencial, en [4] y [6] se emplea la siguiente expresión:

$$Q_p = 3600 * V * h_c * B * C_3 * \rho \quad Ec 2$$

Donde

Q_p - capacidad potencial del equipo, en t/h.

V - velocidad de transportación, en m/s.

h_c - altura del colchón de caña sobre la estera, en m.

B - distancia entre Guarderas, en m.

C_3 - coeficiente de disminución de capacidad por inclinación del transportador

ρ - densidad del colchón de caña, en t/m³

El coeficiente C_3 está tabulado en [4] y [6].

Para calcular las tensiones a lo largo de la traza del transportador se determinaron los pesos por unidad de longitud del entablillado y de la caña, así como los factores a la resistencia del movimiento por la fricción en las cadenas (rodadura) y de la caña con las guarderas laterales, así como en los cambios de dirección.

Una vez obtenidas las tensiones, en particular la entrada y salida de las ruedas de cadena motrices de la cadena principal se pasó a calcular la potencia a seleccionar en el motor mediante la expresión siguiente

$$N = \frac{W_0 * V * k_s}{1000 * \eta_t} \quad Ec 3$$

Donde:

N - potencia a seleccionar en el motor, en kW.

V - velocidad de transportación, en m/s.

k_s - factor de sobre carga estimado

η_t - eficiencia total estimada en la transmisión.

Todo el proceso de cálculo del transportador se montó en hojas de cálculo Excel

En los cálculos se demostró que el transportador estaba subutilizado en capacidad ya que su coeficiente de utilización técnica, o sea, el cociente entre la capacidad real y la potencial es de un 60 %.

En estas condiciones el equipo invierte una parte muy elevada de la energía en mover su propio peso y solo una pequeña parte de la total en transportar la caña, que es la función para la que fue diseñado.

En un escenario en vacío (sin transportar caña) el motor invertía aproximadamente el 60 % de la energía que se consumía en la operación normal.

También se demostró que la potencia instalada era mucho más elevada que la necesaria.

En las hojas de cálculo se montaron escenarios más adecuados, con un coeficiente de utilización técnica

cercano al 90 % y se propone instalar un motor de 25 kW, que es suficiente para mover le quipto en las condiciones propuestas.

Por otra parte la capacidad demandada en este equipo es muy variable y depende de la operación del tandem. Si este último equipo funciona a plena capacidad la demanda de caña es máxima y si esta operación es estable no se requieren variaciones en la capacidad.

Pero cuando las condiciones de operación del tandem varían por diversos factores (como puede ser la naturaleza de la materia prima, tal como se plantea en [2]), se requerirán fluctuaciones en la capacidad de transportación.

Para adaptar las condiciones de operación del transportador a las del molino se instaló un variador de frecuencia, que varía la velocidad del motor mediante del voltaje que se suministra al motor.

En el siguiente esquema se muestra el diagrama de la instalación:

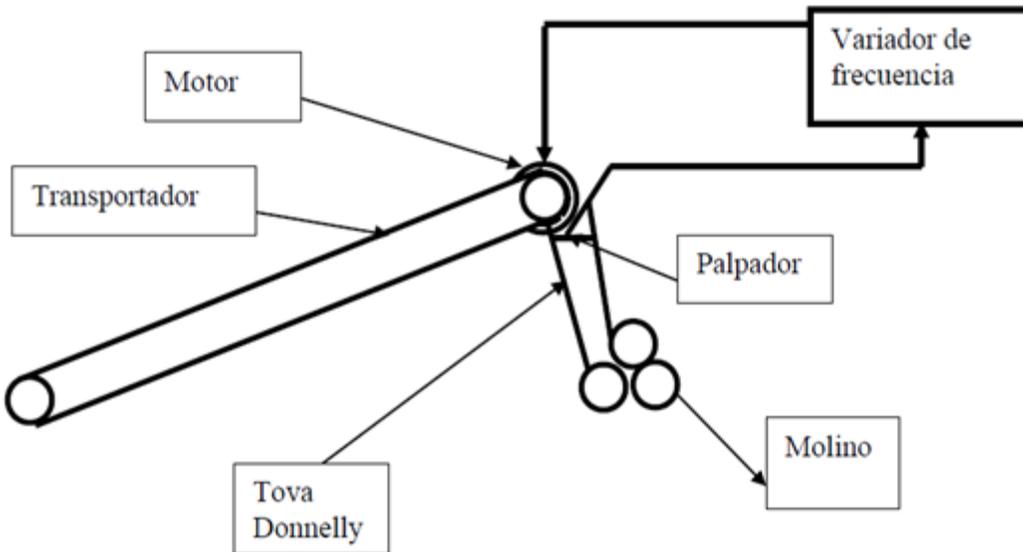


Figura 3: Esquema de la instalación del variador de frecuencia.

Características de un variador de frecuencia

Un variador de frecuencia (siglas VFD, del inglés: Variable Frequency Drive o bien AFD Adjustable Frequency Drive) es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor. Un variador de frecuencia es un caso especial de un variador de velocidad. Los variadores de frecuencia son también conocidos como *drivers* de frecuencia ajustable (AFD), *drivers* de CA, micro *drivers* o inversores. Dado que el voltaje es variado a la vez que la frecuencia, a veces son llamados *drivers* VVVF (variador de voltaje variador de frecuencia).

Los variadores de frecuencia se basan en la fórmula de velocidad angular de un motor de corriente alterna que expresa:

$$n = \frac{120 * f}{p} \quad Ec 4$$

Donde:

n – velocidad angular del motor, en rpm.

f - frecuencia con que se alimenta el voltaje al motor, en Hertz.

p – número de pares de polos del motor

El variador de frecuencia trabaja como un regulador de la velocidad del equipo a través de la velocidad angular del motor que lo mueve. Para el esquema que se muestra en la figura 3 se requiere que la altura del colchón de caña en la tolva Donnelly sea elevada y estable ya que se necesita alimentar a presión el molino pero también que exista una estabilidad en esta altura para que el molino no sufra de discontinuidades en su alimentación que disminuyan su eficiencia y por tanto la extracción de jugo.

Cuando la demanda del colchón de caña en el molino disminuye (lo que puede deberse a causas diversas) la altura de la columna de caña en la tolva tiende a aumentar. En este momento el palpador envía una señal al variador de frecuencia y este, de manera electrónica, disminuye la frecuencia de alimentación al motor, reduce su velocidad angular y con ello la velocidad y la capacidad del transportador de tablillas. Si se produce un atoro en el molino la tolva sobrepasa su altura y el variador de frecuencia puede detener el transportador y enviar una señal (sonora, lumínica, etc) al operario para que se produzcan los ajustes correspondientes en la operación.

En el caso inverso, cuando el molino opera a gran capacidad, lo cual puede deberse al tipo de caña, la altura de la caña en la tolva tiende a disminuir y el variador aumenta la frecuencia del motor, su velocidad angular y la capacidad del transportador.

Este sistema tiene la ventaja de que no es necesario montar transmisiones escalonadas o la utilización de otros sistemas de velocidad variable como los motores hidráulicos u otros.

El costo de los variadores es relativamente elevado en la actualidad pero con un solo variador se pueden operar varios motores a la vez y el variador puede entregar señales instantáneas de todas las variables eléctricas de los motores (frecuencia, voltaje, corriente, velocidad angular entre otras) las mismas pueden almacenarse y ser leídas en tiempo real u observado su comportamiento a posteriori.

Existen ya fábricas azucareras en las cuales se puede observar el comportamiento de un equipo aún varias horas después del momento en que está operando y estos datos son visibles en una computadora ubicada en la oficina técnica del ingenio.

Particularidades de la instalación del variador en esta fábrica.

Hace 4 años que se acometió la instalación de variadores de frecuencia en esta industria. Se hizo la inversión y una empresa especializada se encargó de montar el sistema, pero no se logró una capacitación adecuada del personal encargado de operarlo y se produjeron interrupciones operativas por inadecuado desajuste del sistema.

En la actualidad el variador está siendo utilizado prácticamente como un sistema ON-OFF. En caso de que el operario observe irregularidades en la operación del molino, detiene el transportador mediante el dispositivo. Con esto se pierde completamente el objetivo para el cual fue montado el sistema.

Se requiere que el personal sea preparado en función de los cambios que está sufriendo la industria azucarera para que los mismos no sean traumáticos y se contribuya al objetivo básico que persiguen las inversiones en este sentido que es humanizar el trabajo y elevar la eficiencia tecnológica y energética de todo el sistema

Conclusiones

1. La industria azucarera cubana requiere de grandes cambios en su estructura técnica que le permitan ser eficiente y competitiva a nivel nacional e internacional.
2. Uno de los campos en que aún falta por hacer es el de la automatización de los procesos industriales.
3. El sistema de transportación de sólidos en una empresa azucarera reviste una importancia clave en su funcionamiento pues cualquier interrupción causa problemas en el proceso general y puede llegar a detenerlo totalmente.
4. Este sistema genera consumos de energía importantes que es necesario optimizar. Y los diagnósticos desarrollados demuestran que actualmente la situación no es adecuada.
5. Un camino en la optimización del proceso azucarero y de la transportación de sólidos en particular es la automatización de los procesos y una de las vías que puede ser empleada es la utilización de variadores de frecuencia en los sistemas de transportación de sólidos. Esto también permitiría una información detallada de la marcha del proceso.
6. El proceso de utilización de los variadores de frecuencia en los motores de los transportadores de sólidos requiere de un plan previo de capacitación del personal, sobre todo del encargado de operar el equipo so pena de que este proceso produzca efectos contraproducentes en el personal y en la industria en general.

Recomendaciones

1. Aplicar el diagnóstico a todos los equipos de transportación en que sea posible.
2. Estudiar las posibilidades de introducción de los variadores de frecuencia en aquellas fábricas en que aún no se ha hecho y del comportamiento de la inversión en aquellos en que ya se hizo.
3. Incluir como una medida imprescindible en todos los casos la capacitación del personal relacionado con estos equipos.

Bibliografía

1. Hinojosa, H.; Camacho, F. Desarrollo de software para diseño de máquinas de bandas transportadoras, Revista Tecnológica, España, 2008, aparecido en www.rte.espol.edu.ec/archivos/Revista_2003/n1/Revista_2003_Vol_16_N_1_Art12.pdf -
2. Hugot, E., ed. "Handbook of Sugar Cane Engineering". ed. A. Editorial Elsevier, Holanda. 1986.
3. M.Oriol, J.G., Máquinas de Transporte Continuo, ed. E. Editorial. 1988
4. P.Pérez E. et al, Análisis de la relación entre los parámetros de funcionamiento y el índice consumo en transportadores de tablillas, Revista Centro Azúcar, UCLV, 2006.
5. Pérez E., Hidalgo, P.P. Transportadores continuos, UCLV, 2002.
6. Toranzos, V., Principio de funcionamiento de los vade frecuencia. 2006.