



Nº9 Abril 2012

CONTRIBUCIÓN AL USO EFICIENTE DE ENERGÍA EN TRANSPORTADORES DE SÓLIDOS MEDIANTE UN DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO.

CONTRIBUTION TO THE EFFICIENT USE OF ENERGY IN SOLID CONVEYOR BY MEANS OF AN ENERGY DIAGNOSTIC.

René Mateo Reyes Pérez
Eusebio E. Pérez Castellano

Resumen:

Tomando como antecedentes el amplio uso de los equipos de transporte continuos de sólidos en la actualidad y su incidencia en el consumo de energía, se desarrolla un sistema de diagnóstico en ese tipo de equipos en la industria azucarera. En dicho sistema se analizan, mediante un algoritmo de cálculo aplicable a un software convencional, los indicadores de capacidad de trabajo, coeficiente de utilización técnica y el consumo de potencia, en estrecha relación con sus parámetros de diseño, todo ello facilitando las decisiones a tomar para que el proceso se realice con mayor eficiencia energética, con la consiguiente disminución del impacto ambiental negativo, dándole la oportunidad a profesores y estudiantes con el tema tratado de contribuir al desarrollo sostenible del país.

Palabras clave: diagnóstico, energía, transportadores, capacidad, potencia.

Abstract:

Taking as antecedents the wide use of solid materials conveyors today and its incidence in the energy consumption, it was developed a diagnostic system in this type of equipment in a sugar industry. It was analyzed in this system a calculation algorithm applicable to conventional software, the indexes of work capacity, technics useful coefficient and power consumption, in relationship with design parameters, all this favor the decisions to be taken so that the process can be developed with a greater energetic efficiency and the corresponding diminish of the negative environmental impact. It providing an opportunity for teachers and students with the subject to contribute to sustainable development of the country

Key words: diagnostic, energy, conveyor, capacity, power.

INTRODUCCIÓN

Como una manifestación del extenso trabajo que se realiza en nuestros centros de educación superior por contribuir al desarrollo sostenible del país desde los aspectos educativos e investigativos, se expone este trabajo, resultado de la vinculación de estudiantes y profesores a través de las asignaturas que integran el plan de estudio del modelo profesional.

En muchas organizaciones resultan insustituibles en sus operaciones los equipos de transporte continuo de materiales sólidos, tal es el caso de la industria azucarera, donde tienen una amplia utilización los transportadores de banda, tablillas y rastrillos, estos últimos en la manipulación del bagazo como uno de los productos finales y que generalmente se emplea para la generación de energía. (Pérez C., 2006)

Es frecuente que se reconozca en los transportadores de bagazo de tipo rastrillo un elevado consumo de energía propiciado no solamente por el peso de la carga a

transportar sino también por el peso de su órgano de tracción (cadena) y además las considerables fuerzas de fricción a superar en su operación. (Pérez C., 2006)

Ello hace necesario que se tome en cuenta el índice de consumo de energía por tonelada de bagazo transportado y así poder adoptar medidas para su disminución sin afectar su funcionamiento.

Precisamente por esto se asumió como objetivo fundamental de la investigación, desarrollar un sistema de diagnóstico que permita reflejar el comportamiento de sus índices de consumo de energía ante variaciones en su régimen de trabajo y que posibilite a su vez tomar decisiones para mejorar la eficiencia operativa.

Tareas realizadas:

- Búsqueda de información de parámetros de diseño y operación de los transportadores de banda, tablillas y rastrillo en cuatro industrias azucareras.
- Entrevistas a especialistas y directivos de las industrias estudiadas.
- Desarrollo de una metodología de diagnóstico para transportadores continuos de sólidos.
- Aplicación de un algoritmo de cálculo que llevado a hojas de cálculo Excel permita con la información del escenario real y otros creados virtualmente, obtener la variante de operación más favorable para el proceso.

DESARROLLO

Considerando el gran número de estos equipos en industrias del país se realizó un estudio en cuatro de ellas mostradas en la tabla 1, donde se evidenció la posible influencia de las características de diseño y operación sobre el consumo de energía.

Tabla 1. Equipos de transporte continuos

	Transportadores	Transportadores	Transportadores	Sub total
--	------------------------	------------------------	------------------------	------------------

Industria	de banda		de tablillas		de rastrillos			
	cantidad	Pot. Inst. KW	cantidad	Pot. Inst. KW	cantidad	Pot. Inst. KW	cantidad	Pot. Inst. KW
A	6	38.8	19	893	9	466	34	1397,8
B	6	86	7	176,5	7	408	20	670,5
C	7	47	7	143,5	8	213	22	403,5
D	11	120,2	8	188,5	11	355,4	30	664,1
Total	30	292	41	1401,5	35	1442,4	106	3135,9

Otros aspectos preliminares que se tomaron en cuenta en este trabajo fueron la necesidad de modificar los parámetros de operación sin que se modifiquen los de montaje. Existe poca información actualizada sobre la temática a disposición de los técnicos para realizar un diagnóstico de estos y su interrelación (Relación de encuestados, 2009-2010).

MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar este trabajo se estudiaron las metodologías de cálculo para determinar el consumo energético en transportadores continuos, destinados a manipular materiales a granel (Oriol G. 1998, Pérez C. 2008, Spivakosky, A. y Dyachkov, V. 1990). Todas las metodologías coinciden en que son indispensables para un análisis los siguientes datos:

- Material a transportar.
- Traza de la transportación, lo cual incluye longitud e inclinación del equipo.
- Capacidad deseada de transportación.
- Condiciones ambientales de trabajo.

A partir de los datos obtenidos se aplica la secuencia de cálculos correspondientes con el algoritmo a que se hace referencia (Pérez C. y Reyes P. 2007). Básicamente integrado por los cuatro bloques principales siguientes:

- Toma de datos
- Cálculo de capacidad

- Cálculo de tensiones de la banda ó cadena
- Cálculo de potencia

En el primer bloque los datos principales a localizar son los siguientes:

Capacidad real a manipular, potencia nominal del motor instalado, relación de transmisión del reductor, velocidad angular del motor, número de dientes de los sprocket que intervienen en la transmisión, densidad del bagazo y otros (Catalogue CEMA, 2004).

En el transcurso del cálculo en los demás bloques reviste gran importancia la determinación de la velocidad de transportación Ec.(1), la capacidad potencial Ec.(2), tensiones de entrada y salida del sproket motriz del transportador Ec.(3), el tiraje efectivo a partir de estas últimas Ec.(4), la potencia demandada por el motor Ec.(5) y finalmente el índice de consumo de potencia Ec.(6).

Las ecuaciones principales utilizadas para los cálculos [Oriol G. 1998, Spivakosky y Dyacchkv V. 1990, Pérez C. 2008] son las siguientes:

$$V = \frac{n_{sm} \cdot Z_{sm} \cdot t_{sm}}{60 \ 000}$$

(1)

V velocidad lineal del transportador (m/s)

n_{sm} velocidad angular del motor (rev/min)

Z_{sm} número de dientes del sprocket del eje motriz del transportador

$$Q_p = 3600 \cdot B \cdot H \cdot V \cdot \rho \cdot \psi \cdot C_3$$

(2)

Q_p capacidad potencial (t/h)

B largo de los rastrillos (m)

H altura de los rastrillos (m)

ρ densidad del bagazo (t/m^3)

Ψ factor de llenado.

C_3 coeficiente de disminución de la capacidad por inclinación del transportador.

$$S_n = S_{n-1} + \Delta S_{n-1} a n \tag{3}$$

S_n tensión para un punto determinado del transportador (N)

$$W_0 = W_n - W_1 \quad (4)$$

W_0 tiraje efectivo (N)

$$P = \frac{W_0 \cdot V \cdot k_s}{1000 \eta_t} \quad (5)$$

P potencia demandada por el motor (kW)

k_s factor de sobrecarga del motor

η_t eficiencia de la transmisión

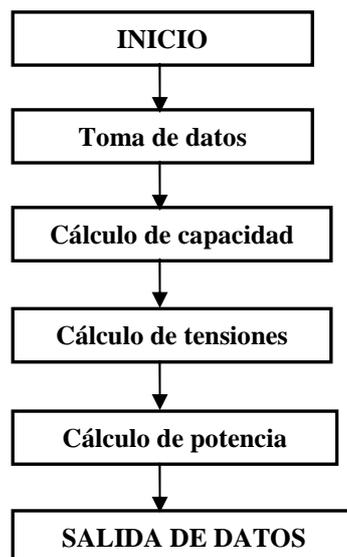
$$IC = \frac{P}{Q_R} \quad (6)$$

IC índice de consumo (kW-h/t)

Q_R capacidad real a manipular (t/h)

En la figura 1, se muestra el algoritmo de cálculo para los transportadores de rastrillos, de forma abreviada, en el desarrollo de este existen opciones de decisión para mejorar la operación y la eficiencia energética.

Figura 1. Algoritmo de cálculo simplificado para transportador de rastrillo



Una etapa muy importante la constituyó el montaje del algoritmo anterior en hojas de cálculos Excel para lo cual se aplicó la siguiente secuencia:

- Introducción de los datos necesarios.
- Cada uno de los bloques explicados en el algoritmo y la metodología se separó de los anteriores por una fila que lo identifica.
- A partir de los resultados de la primera columna y en función de los mismos se pueden montar columnas con tantos escenarios como sea necesario para propiciar el análisis del comportamiento del equipo ante variaciones en la situación planteada, por ejemplo, un escenario importante es el de tomar la capacidad real igual a cero. Este es el caso en que el equipo trabaja en vacío. En este escenario se puede conocer qué proporción de la potencia que se consume en el equipo corresponde al movimiento de sus elementos de trabajo y cuál le corresponde al movimiento del material. Este cálculo es importante para alertar a los operarios y directivos de la necesidad de no tener los equipos trabajando en vacío durante períodos prolongados.
- Todos los elementos de consumo de potencia que se calculan en el programa pueden ser cuantificados económicamente si se conoce el costo del kilowatt-hora.

En la figura 2, se muestra una vista de ejemplo de montaje en hojas de cálculo.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2	Transportadores de Rastrillos # 2.	1	2	3	4				
3	Potencia del motor (Kw)	40,00	40,00	40,00	40,00				
4	Bloque de capacidad								
5	Velocidad angular del motor (rev/min)	1750	1750	1750	1750				
6	Relación de transmisión del reductor	31,50	31,50	31,50	31,50				
7	Dientes del sproc.motriz (1er paso)	21	21	21	21				
8	Dientes del sproc.conducido (1er paso)	40	40	40	40				
9	Dientes del sproc.motriz (2do paso)	20	20	20	20				
10	Dientes del sproc.conducido (2dopaso)	40	40	40	40				
11	Relación de transmisión total	120,0	120,0	120,0	120,0				
12	Veloc. Ang. de los sproc.principles (rev/min)	14,6	14,6	14,6	14,6				
13	Número de dientes del Sprocket motriz	16	16	16	16				
14	Paso de la cadena (mm)	152	152	152	152				
15	Velocidad lineal del transportador (m/s)	0,59	0,59	0,59	0,59				
16	Largo del rastrillo (m)	1,20	1,20	1,20	1,20				
17	Ancho del rastrillo (m)	0,15	0,15	0,15	0,15				
18	angulo máximo de inclinación (grados)	20	20	20	20				
19	Coef. de dism. de capac. por inc.	0,80	0,80	0,80	0,80				
20	Factor de llenado	0,75	0,75	0,75	0,75				
21	Densidad del material en t/m3	0,16	0,16	0,16	0,16				
22	Capac. potencial de transportación (t/h)	37	37	37	37				
23	Capacidad máxima a transportar (t/h)	30,00	20,00	0,00	30,00				
24	Coefficiente de utilización técnica (CUT)	0,82	0,54	0,00	0,82				
25	Bloque de tensiones								

Figura 2. Muestra de la aplicación del algoritmo a hojas de cálculo Excel en un transportador de rastrillo.

Para una mayor comprensión sobre la forma de disponer los datos en las hojas y de interpretar los resultados se adoptó el siguiente código de colores para las celdas.

Amarillo: Para las celdas en las que se vuelcan datos

Terracota: Para las celdas en que se nominaliza un equipo o un escenario.

Verde: Para las celdas en que se desarrollan cálculos intermedios

Azul: Para las celdas donde existen resultados significativos.

RESULTADOS OBTENIDOS Y SU DISCUSIÓN

A continuación en la tabla 2, se relacionan parte de los resultados obtenidos en el área de bagazo de una de las industrias estudiadas.

Tabla 2. Resultados obtenidos de transportadores de rastrillo del área de bagazo.

Transportador número:	Potencia instalada (kW)	Potencia necesaria (kW)	Capacidad potencial (t/h)	Capacidad Real (t/h)	Coefficiente de utilización Técnica CUT	Indice de consumo IC (kW-h/t)
1	7,5	3,6	98	30	0,31	0,12
2	40	25,6	37	30	0,82	0,85
3	7,5	6,4	27	10	0,37	0,64
4	13	11	31	30	0,65	0,89
5	22	7,8	25	20	0,39	0,39
6	7,5	0,7	12,9	6,8	0,48	0,11
Totales	97,5	55,6 (56 %)				3

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

1.- La potencia que se consume es solamente un 56 % de la instalada, por lo que el factor de potencia debe ser muy bajo y por tanto ocasiona las pérdidas correspondientes, incluyendo las penalizaciones. En este sentido la situación más crítica se encuentra en los transportadores 5 y 6.

2.- El coeficiente de utilización técnica es muy bajo en todos los equipos de este sistema excepto en el número 2 y el número 4.

3.- El sistema en su conjunto consume 3 kW para transportar una tonelada de bagazo, índice bastante alto para este tipo de instalación.

CONCLUSIONES

1. Con los datos obtenidos en este diagnóstico y entregados a la industria se puede caracterizar completamente el sistema de transportación de bagazo y el mismo permite a la dirección tomar las medidas para mejorar la eficiencia tecnológica y energética.
2. Se ha aplicado un diagnóstico en el cual se han caracterizado las situaciones actuales y los aspectos en que se debe trabajar para mejorarlos.
3. El sistema analizado preferentemente se ha aplicado a manera de ejemplo en el área de bagazo de una industria azucarera donde predominan los transportadores de rastrillo, pero es utilizable para los transportadores de banda y tablillas, realizando los cambios convenientes en las fórmulas de cálculos que se llevan al algoritmo.
4. En este tipo de transportador los rastrillos metálicos aumentan en gran medida el peso del órgano de tracción y constituyen una de las causas principales que inciden en los costos energéticos en el sistema de transportación.

REFERENCIAS

1. Catalog Conveyors Equipment Manufacturing Association (CEMA), 2004, USA
2. Oriol Guerra, J. M., 1998, Conferencias de Máquinas de Transporte Continuo, Editorial Ciencia y Educación, La Habana.
3. Pérez Castellanos E. E., 2006, Curso de postgrado Diagnóstico de Tandem y Transportadores de centrales azucareros, ULT.
4. Pérez Castellanos, E., 2008, Curso de Transportadores Industriales, Editorial UCLV, Villa Clara.
5. Pérez Castellanos, E. y Reyes Pérez, R., 2007, Análisis de la relación entre los parámetros de funcionamiento y el índice de consumo en transportadores de tablillas, Revista Centro Azúcar, No. 3, páginas 48-52. Villa Clara.
6. Relación de Técnicos y Directivos encuestados en las industrias, 2009-2010.
7. Spivakoski, A. y Dyacchkov, V., 1990, Conveyors and related equipment, peace publishers, Moscú.

