

Diagnóstico de los sistemas de transportación de sólidos en empresas azucareras de Villa Clara.

Diagnostic of the systems of transportation of solids in sugar factories of Villa Clara.

Dr. Ing. Eusebio Pérez Castellanos eusebiopc@uclv.edu.cu

Dirección: Calle B # 9 / 8va y 9na, Reparto Osvaldo herrera, Santa Clara, Villa Clara, teléfono 281630

Msc. Robert Hernández Ortega

Dr. Andrés Espinosa Acevedo

Resumen

En el presente trabajo se ofrecen los resultados de un diagnóstico realizado a todo el sistema de transportación de sólidos existente en las empresas azucareras de la provincia de Villa Clara con el objetivo de comprobar la eficiencia de explotación de estos equipos. Se desarrolla una caracterización de cada equipo e cuanto a características geométricas y cinemáticas. Se montan en Excel las metodologías de cálculo correspondientes y se hace una caracterización de los equipos desde el punto de vista de capacidad y consumo de energía. Se concluye como una regularidad que existe un sobredimensionamiento en la totalidad de los equipos, lo que hace ineficientes su funcionamiento desde el punto de vista tecnológico y energético.

Palabras claves: Diagnóstico, Transportación, Sólidos, Empresa Azucarera.

Abstract

Presently work offers the results of a diagnosis carried out to the system of conveying of solids in the sugar companies of Villa Clara in order to determine the efficiency of operation of such equipment. A characterization of each conveyor about the geometric and kinematics characteristics is developed. The methodical of calculus of the conveyors in Excel is used. In the work was established that all the equipments are oversized. These conditions make inefficient the system in the technological and energetic features.

Key words: Diagnostic, Conveying , Solids, Sugar Company

INTRODUCCIÓN

Los transportadores continuos de sólidos resultan de gran utilidad en la industria azucarera por el papel que juegan en el movimiento de materias primas y productos en el proceso. Los más empleados son los de tablillas y rastrillos, que utilizan cadenas como órganos de tracción flexible y el de banda, que utiliza una correa de goma como elemento de transportación.

Tanto en la industria azucarera como en otras de manipulación de materiales en Cuba y en el mundo se producen constantemente redimensionamientos de capacidades que obedecen a diversas necesidades de estas industrias pero en muchas ocasiones no se analizan las modificaciones que es necesario llevar a cabo en los equipos de transportación continua de sólidos para adaptarlos a las nuevas condiciones.

Los parámetros básicos que se analizaron fueron:

-Capacidad potencial y su relación con la capacidad real a través del coeficiente de utilización técnica (CUT).

-Índice de consumo de cada equipo (en kW-h/t de material transportado).

-Relación entre la potencia instalada y la que se calcula.

DESARROLLO

En la realización de un diagnóstico es indispensable el conocer los datos de cada uno de los componentes. Para ello se realizaron entrevistas con los directivos de la empresa, con personal dirigente y obreros de las respectivas áreas de trabajo, se revisó la documentación existente y se hizo un levantamiento de cada transportador que incluyó: funciones, vista lateral del sistema, datos de la unidad motriz etc. A partir de aquí se aplicó un algoritmo de trabajo que incluye los siguientes bloques:

1. Bloque de toma de datos.
2. Bloque de cálculo de capacidad.
3. Bloque de cálculo de tensiones.
4. Bloque de cálculo de potencia.

A modo de ejemplo se explica a continuación la metodología de diagnóstico para transportadores de banda. La utilizada en los demás transportadores es similar en todo a esta.

Metodología de diagnóstico para transportadores de banda

En primer lugar se toman a pie de obra los datos, se aplica una metodología de cálculo, en este caso de comprobación y se determina si con sus características constructivas y de funcionamiento el equipo es capaz de cumplir las funciones para las que fue instalado. Los pasos que se llevan a cabo son los siguientes:

1. Capacidad.

A pie de obra se puede leer la potencia de chapa del motor y su velocidad angular, la relación de transmisión del reductor y los números de dientes de todos los sprockets así como los diámetros de las poleas en las denominadas transmisiones flexibles. La velocidad angular de la tambora motriz puede determinarse por la expresión siguiente:

$$n_{tm} = \frac{n_m}{U_r \cdot \frac{Dp_2}{Dp_1}} \quad (I)$$

donde:

n_m – velocidad angular de la tambora motriz, en rev/min.

U_r – relación de transmisión del reductor

Dp_2 - diámetro de la polea conducida, en mm.

Dp_1 - diámetro de la polea conductora, en mm.

Para calcular la velocidad lineal de la banda es necesario poseer el diámetro de la tambora motriz, el cual puede ser medido en el equipo. En este caso se aplica la expresión:

$$V = \frac{\pi \cdot n_{tm} \cdot D_{tm}}{60 \ 000} \quad (II)$$

donde:

V – velocidad de transportación, en m/s.

D_{tm} – diámetro de la tambora motriz, en mm.

Es necesario determinar la densidad (ρ) y el ángulo de talud del material (j) que se va a manipular.

Ambos pueden ser localizados en [7, 8]. Cuando se poseen estos datos puede aplicarse la expresión siguiente:

$$Q_p = \rho \cdot A \cdot V \quad (III)$$

donde:

Q_p – capacidad de transportación en t/h.

A – área de flujo del material, en m².

V – velocidad de transportación en m/s.

Esta expresión adquiere una forma distinta para cada tipo de transportador y dentro de ellos para las características del mismo. Por ejemplo, en transportadores de banda el perfil de los rodillos superiores puede ser de uno, dos, tres o cinco rodillos. Para uno y tres rodillos se tendrán respectivamente las siguientes expresiones:

$$Q_p = 576 \cdot B^2 \cdot V \cdot \rho \cdot C_1 \cdot \text{tg}(0,35\varphi) \quad (\text{IV})$$

(para un rodillo en la rama superior).

$$Q_p = 160 \cdot B^2 \cdot V \cdot \rho \cdot \left[3,6 \cdot C_1 \cdot \text{tg}(0,35\varphi) + 1 \right] \quad (\text{V})$$

(para tres rodillos en la rama superior).

Aquí se tiene la siguiente simbología:

B- ancho de banda, en m.

ñ – densidad del material a transportar, en t/m³.

C₁- coeficiente que tiene en cuenta la inclinación del transportador y que aparece en [8].

j - ángulo de talud o de reposo estático del material, en grados.

Para transportadores de tablillas y rastrillos se emplean expresiones similares, pero que toman en cuenta las particularidades de los mismos. Las mismas aparecen en [1; 7; 8 y 13]

Una vez determinada la capacidad potencial (Q_p) se puede comparar la misma con la capacidad real (Q_R) que es necesario transportar.

El coeficiente de utilización técnica se calcula a través de la expresión:

$$CUT = \frac{Q_R}{Q_p} \quad (\text{V})$$

Se recomienda que este coeficiente esté entre 0,8 y 0,95. Si los valores son muy bajos se pueden recomendar medidas para disminuir la capacidad potencial. La más razonable es una disminución de la velocidad. Si este coeficiente es mayor que 1 significa que el transportador puede estar derramando material por los costados.

2. Tensiones.

La forma en que se calculan las tensiones en un transportador continuo con órgano de tracción flexible es la siguiente:

a) En los tramos rectos la diferencia de tensiones entre dos puntos de la traza se calcula por la siguiente expresión:

$$\Delta S_i = \sum q_i \cdot L_i \cdot \cos \beta_i \pm \sum q_{des} \cdot L_i \cdot \text{sen} \beta_i \quad (\text{VI})$$

donde:

ΔS_i - diferencia de tensiones entre el inicio y el final del tramo, en N.

Σq - peso lineal de la carga de todos los elementos por unidad de longitud en el tramo, en N/m. Este peso está dado por el elemento portante y el material que se transporta, que actúa solamente en la rama superior.

W^{*} - factor de resistencia al movimiento. Este factor oscila entre 0,05 y 0,12 en dependencia del tipo de transportador y de las condiciones de lubricación.

Sus valores pueden ser consultados en [3;4 y 8], q_{des} - peso lineal de las partes que se desplazan, en N. En la rama inferior es solamente el elemento portante y en la rama superior se la añade el peso del material

L_i - longitud del tramo en metros.

Â_i - inclinación del tramo en grados

El signo + entre el primero y el segundo término de la ecuación anterior se toma cuando el tramo es ascendente y el signo menos, cuando es descendente.

El peso de la carga por unidad de longitud puede determinarse por la expresión:

$$q = \frac{Q_R}{L} = \frac{3,6V}{8} \quad (\text{VII})$$

El peso del elemento portante (q_b) en N, puede obtenerse directamente pesando un metro del mismo o bien por los catálogos del fabricante.

Para los transportadores de cadena se establece una tensión mínima, para los de banda se utiliza la ecuación de Euler.

$$S_n = S_1 \cdot e^{\mu \cdot \alpha} \quad (\text{VIII})$$

Donde:

S_n – tensión sobre la banda a la entrada de la tambora motriz.

S₁ – tensión sobre la banda a la entrada de la tambora motriz.

m - coeficiente de tensión entre la banda y la tambora (puede tomarse 0,3 para tambora de acero y banda de goma en ambiente seco)

a - ángulo de contacto entre la banda y la tambora, en radianes.

Con este sistema de ecuaciones establecido se pueden calcular todas las tensiones a lo largo de la traza.

3. Potencia.

Para calcular la potencia en los transportadores de banda se calcula el tiraje efectivo mediante la expresión:

$$W_0 = S_n - S_1 \quad (\text{IX})$$

donde

W₀ es la diferencia entre las tensiones de entrada y

de salida.

A continuación se calcula la potencia que demanda el motor mediante la siguiente expresión:

$$N = \frac{W_0 \cdot v_s}{1000 \cdot \eta_t} \quad (X)$$

donde:

N – potencia que demanda el equipo motriz, en kW.

W_0 – diferencia de tensiones entre la entrada y la salida del elemento motriz, en N.

V – velocidad de transportación, en m/s.

η_t - eficiencia de la transmisión, que se depende de los pasos empleados en la transmisión y de la eficiencia de cada elemento.

Una vez que se calcula la potencia demandada por el motor se compara con la instalada y si esta última es mucho mayor que la primera se puede recomendar el montaje de un motor más pequeño.

Con la potencia demandada por el motor se puede calcular el índice de consumo por la expresión:

$$IC = \frac{N}{Q_R} \quad (XI)$$

Esta metodología y su algoritmo correspondiente fueron desarrollados en hojas de cálculo en Excel para cada equipo, en cada empresa. A modo de ejemplo se muestra el cálculo de uno de los transportadores de banda.

Transportador de Banda horizontal	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Capacidad			
Potencia del motor en kW	5.5	5.5	5.5
Velocidad angular del motor en rev/min	1800	1800	1800
Relación de transmisión del reductor	20	20	20
Número de dientes del sprocket conductor	18	18	18
Número de dientes del sprocket conducido	26	110	26
Relación de transmisión total	28.89	122.22	28.89
Velocidad angular de la tambora motriz (rev/min)	62.31	14.73	62.31
Diámetro de la tambora motriz (mm)	500	500	500
Velocidad lineal de la banda (m/s)	1.63	0.39	1.63
Ancho de la banda (m)	0.60	0.60	0.60
Densidad del material (t/m ³)	0.92	0.92	0.92
Angulo de inclin. máximo en el trans. (grados)	0	0	0
Coefficiente de disminución por inclinación	1	1	1
Angulo de talud estático del material en grados	40	40	40
Capacidad potencial del transportador (t/h)	78.54	19.33	0
Capacidad real máxima (t/h)	15.80	15.80	0
Coefficiente de utilización técnica (CUT)	0.20	0.82	0

Capacidad real máxima (t/h)	15.80	15.80	0
Coeficiente de utilización técnica (CUT)	0.20	0.82	0
Tensiones			
Peso de la banda (kg/m ²)	8	8	8
Peso lineal de la banda en N/m	47.09	47.09	47.09
Peso de una estación de rodillos superiores (lbs)	18	18	18
Peso de una estación de rodillos superiores en N	80.06	80.06	80.06
Separación entre rodillos superiores en m	1.20	1.20	1.20
Peso lineal de rodillos superiores en N/m	66.72	66.72	66.72
Peso de un rodillo inferior (en lbs)	18	18	18
Peso de un rodillo inferior en (N)	80.06	80.06	80.06
Separación entre rodillos inferiores en (m)	3	3	3
Peso lineal de rodillos inferiores en N/m	26.688	26.688	26.688
Peso lineal de la carga en N/m	26.395	111.672	0.000
Distancia entre los puntos 1 y 2 en m	50.6	50.6	50.6
Angulo de inclinación entre los puntos 1 y 2 (grados)	0	0	0
Distancia entre los puntos 3 y 4 en m	50.6	50.6	50.6
Angulo de inclinación entre los puntos 3 y 4 (grados)	0	0	0
Fact. de resist. al mov. rama inf.	0.08	0.08	0.08
Fact. de resist. al mov. rama sup.	0.08	0.08	0.08
Incremento de la resistencia entre puntos 1 y 2 (N)	298.65	298.65	298.65
Incremento de la resistencia entre puntos 3 y 4 (N)	567.54	912.74	460.69
Factor de aumento de la tensión entre los puntos 2 y 3	1.10	1.10	1.10
Coeficiente de tracción de tambora motriz	2.56	2.56	2.56
Tensión en el punto 1 (N). Primer cálculo	206	206	206
Tensión mínima	500	500	500
Tensión en el punto 1	500	500	500
Tensión en el punto 2 en N	799	799	799
Tensión en el punto 3 en N	879	879	879
Tensión en el punto 4 en N	1446	1791	1339
Tiraje efectivo en N	946	1291	839
Factor de sobrecarga	2	2	2
Eficiencia de total del sistema de transmisión	0.85	0.85	0.85
Potencia en kW	3.63	1.17	3.22
Índice de consumo (kW-h/tonelada de material)	0.23	0.07	#DIV/0!

Contados estos elementos se establecieron los valores correspondientes para cada sistema de transportación en varias empresas azucareras.

Es difícil obtener datos de todos los cálculos y compararlos ya que cada transportador se calculó en una hoja Excel. A modo de resumen se muestran a continuación las tablas de resultados de varios sistemas en algunas empresas

Tabla 1 Sistema para el transporte de caña del CAI Heriberto Duquesne.

Transportador #	Potencia instalada (kW)	Potencia necesaria. kW	Qp (t/h)	Qr (t/h)	CUT	IC (kW-h/t)
1	30	17,72	338,02	110,15	0,32	0,16
2	40	13,42	229,58	110,15	0,47	0,12
3	40	19,01	138,21	110,15	0,79	0,17
Totales	110	50,15(48%)				0,45

Tabla 2 Sistema para el transporte de bagazo del CAI Heriberto Duquesne.

Transportador #	Potencia instalada (kW)	Potencia necesaria. kW	Qp (t/h)	Qr (t/h)	CUT	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
4	7,5	6,4	27	10	0,37	0,64
3	13	11	31	20	0,65	0,89
5	22	7,76	25	20	0,8	0,39
6	7,5	0,70	12,90	6,75	0,48	0,11
Totales	97,5	55,56 (56 %)				3

Tabla 3 Sistema para el transporte de azúcar del CAI Heriberto Duquesne.

Transportador #	Potencia instalada (kW)	Potencia necesaria. kW	Qp (t/h)	Qr (t/h)	CUT	IC (kW-h/t)
1	5,5	1,32	17,22	11	0,64	0,12
2	14	2,57	29,19	11	0,47	0,23
Totales	19,5	3,89 (20 %)				0,35

Tabla 4 Sistema para el transporte de caña del CAI Carlos Baliño.

Transportador #	Potencia instalada (kW)	Potencia necesaria. kW	Qp (t/h)	Qr (t/h)	CUT	IC (kW-h/t)
1	30	18,56	301,94	98,18	0,32	0,19
2	30	11,24	113,06	98,18	0,86	0,11
Totales	60	29,8(50%)				0,3

Tabla 5 Sistema para el transporte de bagazo del CAI Carlos Baliño.

Transportador #	Potencia instalada (kW)	Potencia necesaria. kW	Qp (t/h)	Qr (t/h)	CUT	IC (kW-h/t)
1	21,3	11,28	35,29	29,45	0,83	0,38
2	21,3	18,90	34,98	29,45	0,84	0,64
3	21,3	20,52	30,73	29,45	0,96	2,05
Totales	63,9	50,7(92%)				3,07

Tabla 6 Sistema para el transporte de caña del CAI Héctor Rodríguez

Transportador #	Potencia instalada (kW)	Potencia necesaria. kW	Qp (t/h)	Qr (t/h)	CUT	IC (kW-h/t)
1	40	22,4	220,7	191,57	0,87	0,12
2	40	20,33	200,07	191,57	0,96	0,11
Totales	80	42,73(53%)				0,23

Tabla 7 Sistema para el transporte de bagazo del CAI Héctor Rodríguez

Transportador #	Potencia instalada (kW)	Potencia necesaria. kW	Qp (t/h)	Qr (t/h)	CUT	IC (kW-h/t)
1	22	20,21	92,08	57,47	0,62	0,35
2	40	39	72,29	57,47	0,79	0,68
3	40	37	69,85	57,47	0,82	0,65
4	14	6,42	37,89	57,47	1,52	0,11
Totales	116	102,6(88 %)				1,79

Tabla 8 Sistema para el transporte de caña del CAI José Maria Pérez

Transportador #	Potencia instalada (kW)	Potencia necesaria. kW	Qp (t/h)	Qr (t/h)	CUT	IC (kW-h/t)
1	40	11,6	234,27	158,05	0,65	0,07
2	40	5,12	253,05	158,05	0,62	0,03
3	40	13,8	215,49	158,05	0,73	0,09
Totales	120	30,5(25%)				0,19

Tabla 9 Sistema para el transporte de bagazo del CAI José Maria Pérez

Transportador #	Potencia instalada (kW)	Potencia necesaria. kW	Qp (t/h)	Qr (t/h)	CUT	IC (kW-h/t)
1	22	17,69	55,76	47,4	0,85	0,37
2	40	24,72	55,76	47,4	0,85	0,52
3	40	27,21	66,41	47,4	0,71	0,57
Totales	120	69,6(58%)				1,46

Tabla 10 Sistema para el transporte de azúcar del CAI José Maria Pérez

Transportador #	Potencia instalada (kW)	Potencia necesaria. kW	Qp (t/h)	Qr (t/h)	CUT	IC (kW-h/t)
1	7,5	5,5	41,32	15,8	0,38	0,35
2	5,5	3,63	78,54	15,8	0,20	0,23
Totales	13	9,13(70%)				0,58

Interpretación de los resultados:

- Es difícil generalizar los resultados de equipos distintos en distintas empresas pero existe una regularidad y es que la potencia instalada es mayor que la necesaria en, con diferencias excesivas en algunos casos. Puede decirse que cuando la relación entre la potencia necesaria y la instalada sea de un 80 % existe una selección adecuada de los motores y en caso contrario existe un sobredimensionamiento de los mismos que disminuye el factor de potencia del equipo, del sistema y de la fábrica.

- En cuanto coeficiente de utilización técnica (CUT) ya se ha señalado que debe oscilar alrededor del 80 %. Con valores demasiado elevados se corre el riesgo de que el material se derrame. Con valores muy bajos el equipo se encuentra sobredimensionado, bien porque sus características geométricas son muy grandes para el material que manipula o porque la velocidad es muy baja. Si la velocidad se eleva demasiado pueden existir cargas dinámicas sobre el órgano de tracción que disminuyen la durabilidad de la misma.

- El índice de consumo es un elemento importante pero es muy difícil de comparar ya que en el caso de los transportadores de cadena el peso propio del elemento portante es mucho mayor que en los transportadores de banda, pero, aunque a veces se pueden emplear dos tipos distintos de transportadores en un mismo material (como es el caso del bagazo), esto no siempre es posible.

Conclusiones

Después de analizar los resultados obtenidos se arriba las siguientes conclusiones:

1. La potencia instalada en la mayoría de los transportadores está muy por encima de la que demandan los equipos lo que influye directamente en el uso eficiente de la energía eléctrica, pues como es conocido, el uso de motores eléctricos muy por debajo de su capacidad nominal provoca valores bajos del factor de potencia.
2. El coeficiente de utilización técnica de algunos equipos esta por debajo de 0,8 que es el valor mínimo que se recomienda en la literatura, algunos incluso tienen valores muy pequeños como en el caso del transportador 2 tabla 10 que solo es de un 0,2.
3. Los índices de consumo no pueden ser comparados pero reflejan un gasto acumulativo del equipo que se va incrementando a lo largo de la zafra y tiene una influencia importante en el consumo energético del sistema..

BIBLIOGRAFÍA

1. All about belt conveyors, Bridgestone, USA, 2002.
2. Catálogo para bandas transportadoras INDY, España, 2003.
3. Catálogo para diseño de rodillos de apoyo, USA, 2004.