**VI SIMPOSIO DE DISEÑO E INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADORA**

**Título**

**Sustitución de transportadores de tablillas por banda en la manipulación de la caña de azúcar.**

**Tittle**

***Substitution of slat conveyors by belt conveyors in the handling of sugar cane.***

**Dr. C. Eusebio Enrique Pérez Castellanos1, Lic. Rommy Pérez León2, Dr. C. Kirenia Abreu González3**

1. Dr. C. Eusebio Enrique Pérez Castellanos. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba, Email: eusebiopc@uclv.edu.cu
2. Lic. Rommy Pérez León, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba, Email: ropleon@uclv.cu
3. Dr. C. Kirenia Abreu González, Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Cuba, Email: kireniaag@uclv.edu.cu

**Resumen**

En el presente trabajo se analiza la sustitución de transportadores de tablillas por transportadores de banda. Este proceso adquiere una importancia elevada en la actualidad en los centrales azucareros, puesto que con la utilización de la banda se logran ahorros considerables en el consumo específico de energía por tonelada de caña transportada y se disminuyen los costos de mantenimiento, con lo se contribuye a alcanzar la rentabilidad en la producción de azúcar que se requiere actualmente en Cuba.

En el trabajo se establecen los pasos necesarios para el cálculo de capacidad y de la potencia a instalar en ambos tipos de transportadores. Se montan los procesos de cálculo de ambos transportadores en hojas de cálculo Excel y se comparan los resultados.

Se establecen curvas comparativas de capacidad y de consumo de energía para variaciones en los parámetros de trabajo de ambos transportadores, tales como inclinación y ancho del transportador y se demuestra la ventaja que representa un transportador de banda en comparación con uno de tablillas en el consumo energético específico.

**Abstract**

This paper analyzes the replacement of slat conveyors by belt conveyors. This process is currently of great importance in sugar mills, since with the use of belt conveyors, considerable savings are achieved in the specific energy consumption per cane of sugar cane transported and maintance costs are reduced, thus contributing to reach the profitability in sugar production that is currently required in Cuba.

The work stablishes the necessary steps for the calculation of capacity and power to be installed in both types of conveyors. The calculation processes of these conveyors are assembled in Excel spreadsheets and the results are compared.

Comparative capacity and power consumption curves are stablished for variations in the working parameters of both conveyors, such as inclination and conveyor width, and the advantage of belt a conveyors compared with a slat conveyor in specific power consumption is demonstrated

**Palabras clave**: Caña; transportación, bandas, tablillas, energía, eficiencia.

**Key Words:** Cane; transportation, belt, slats, energy, efficiency.

**Problemática:**

La principal problemática que presenta la industria azucarera cubana en la actualidad es el elevado costo de la producción de azúcar en comparación con el precio de la tonelada de azúcar en el mercado mundial. Uno de los elementos que intervienen en esta situación es el costo de la energía que consumen los equipos empleados en la industria, entre ellos, los transportadores. Por ello es de gran importancia el empleo de equipos cada vez mñas eficientes en estas operaciones.

**Objetivo:** Establecer una comparación en la eficiencia tecnológica y energética de los transportadores de tablilla y de banda para la transportación de caña desde el basculador al tándem en un central azucarero.

**Metodología:**

1. **Descripción de los transportadores continuos.**

Los transportadores continuos se han impuesto en el mundo puesto que su funcionamiento permite que una vena continua de material fluya desde el punto de carga hasta el de descarga, lo que permite entregar grandes tonelajes de material. Dentro los transportadores más empleados en esta industria se encuentran los de tablillas y los de banda.

En particular en la industria azucarera en Cuba, se emplearon desde sus inicios los transportadores de tablillas, puesto que la caña se cortaba en pedazos muy largos y muy difíciles de manipular por otro tipo de transportador.

Con el desarrollo de los equipos industriales, se ha logrado la sustitución progresiva de los transportadores de tablillas por banda, que pueden trabajar a velocidades mucho más elevadas y con mayor eficiencia.

Los transportadores de tablillas, son máquinas de transporte continuo que se emplean para la manipulación de materiales a granel y en bultos por trazas horizontales e inclinadas sin que se produzcan paradas entre la carga y descarga. (Oriol Guerra, 1988)

Por otra parte, los transportadores de banda, son un equipo muy común de encontrar en toda industria. Se instalan de preferencia pues tienen un alto desempeño. Su adquisición se hace siempre y cuando las instalaciones y la configuración de los equipos lo permitan, como su nombre lo indica conduce o lleva la caña de un lugar a otro, con vistas a continuar la operación de la fábrica. (Salvatierra Villatoro, 2019)

* 1. **Comparación entre los elementos que intervienen en el consumo de energía en un transportador de tablillas, respecto a uno de banda.**

El consumo más significativo de energía en la transportación de un material a granel mediante un transportador con órgano de tracción flexible, se debe al peso propio del órgano de tracción flexible.

**Al comparar:**

**Banda**: Una banda de 4 capas y 2 m de ancho, que es lo recomendado para grandes capacidades, debe tener un aproximado de 82.2 N/m2 de acuerdo con el catálogo de la ESBELT, o sea, para 2 m de ancho se tendrán 2 m2 por metro de longitud de transportador y aproximadamente 157 N/m.

**Tablillas:** Un entablillado de 2 m de ancho, se emplean 4 cadenas de 6 pulgadas (152 mm) de paso. Se toma del catálogo de transportadores de tablillas, LINK BELT, el peso del transportador y espesor de tablillas de 1/4 de pulgada, es de aproximadamente 1870 N/m.

Puede afirmarse que, un entablillado de 2 m de ancho pesa 12 veces más que una banda de este mismo ancho.

En el caso de la tablilla, puede demostrarse que este valor puede superar incluso al del material que se transporta (colchón de caña), o sea, que se invierte más energía en transportar el entablillado, que en la transportación del colchón propiamente dicho.

1. **Metodologías de cálculo para el diagnóstico de los transportadores.**

Las metodologías se dividen en bloques para facilitar su comprensión y aplicación.

* 1. **Banda:**
		1. **Toma de datos.**

La toma de datos para el cálculo de estos equipos fue descrita en (Pérez Castellanos, 2011). Los principales aspectos que componen esta toma de dato son la capacidad de transportación necesaria, la longitud y la inclinación del transportador, así como los datos de la unidad motriz.

* + 1. **Cálculo de la velocidad.**

v- velocidad de la banda, igual a la velocidad tangencial de la tambora motriz, en m/s.

la velocidad tangencial de la tambora motriz se calcula como:

$v=\frac{π.D\_{tm.}n\_{tm}}{60000}$ (1)

* + 1. **Cálculo de la capacidad potencial.**

Los datos se toman del bloque de toma de datos, la velocidad se ha calculado. Se determina el coeficiente de disminución de capacidad por inclinación del transportador. El cual depende de la inclinación del transportador.

A la relación entre capacidad real y potencial del transportador se le denomina coeficiente de utilización técnica

CUT- coeficiente de utilización técnica del transportador. En la literatura se recomienda que este valor esté por encima de un 80 % para evitar la subutilización del equipo.

* + 1. **Bloque de tensiones**

Se desarrollan los siguientes pasos:

1. Se calculan los pesos por unidad de longitud de la carga, de la banda y de los rodillos superiores e inferiores,
2. Se asumen los factores de resistencia al movimiento en los tramos rectos y los factores de incremento de la tensión por flexión de la banda en los cambios de dirección,
3. Se calculan los incrementos de las tensiones en dichos tramos,
4. Se establece un sistema de ecuaciones que toma como desconocida la tensión en el punto 1.
5. Cuando se resuelve este sistema de ecuaciones se puede conocer la fuerza de tracción a que está sometido cada punto del órgano de tracción flexible.
	* 1. **Bloque de potencia**

En este bloque se calcula la potencia que debe consumir el motor para las condiciones de trabajo reales que se presentan en el equipo.

Una vez que se poseen los valores de tensión a la entrada y a la salida de la tambora motriz se calcula el tiraje efectivo (W0)

$W0 = Sn– S1$(2)

Se asume un factor de sobrecarga (ks), que en las condiciones de Cuba se puede asumir entre 1,5 y 2 , en dependencia de las condiciones reales de operación del equipo, se asume una eficiencia de la transmisión (), que depende de los elementos que conectan el motor con la tambora motriz (reductor, poleas, ruedas de cadena) y con ello se desarrolla el cálculo.

$N\_{C}=\frac{W\_{0}.v.k\_{s}}{1000η\_{t}}$ (3)

El siguiente paso es comparar la potencia instalada con la de cálculo. Nunca la primera puede ser menor que la segunda y en caso que esto ocurra varían las condiciones de operación. Una vez que se ha calculado la potencia que debe consumir el motor se puede calcular el índice de consumo, que es la cantidad de kW h que consume el motor del transportador para mover una tonelada de material en las condiciones planteadas al equipo, o sea, con su longitud y a la altura deseada.

* 1. **Tablillas**

**2.2.1 Bloque de toma de datos.**

Se toman los mismos datos que en el cálculo para banda.

**Se realizan los cálculos:**

1. Cálculo de la velocidad
2. Bloque de capacidad
3. Bloque de cálculo de las fuerzas sobre la cadena.
4. Bloque de potencia
5. Bloque de comprobación de la cadena.
	1. En funcionamiento
	2. En el arranque
	3. Al desgaste
6. **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**El** diseño del sistema de cálculo se montó en Excel, para lo que fue necesario utilizar todas las herramientas y funciones disponibles, como fórmulas, macros y gráficos. Al utilizar Excel para simular sistemas de cálculo, se pueden crear modelos complejos que permitan analizar diferentes variables y escenarios, lo que facilita la toma de decisiones y la identificación de oportunidades de mejora. Además, el Excel permite la creación de tablas y gráficos dinámicos que visualizan los datos de manera precisa y concisa. En conclusión, la simulación de sistemas de cálculo en hojas de cálculo Excel es una herramienta muy útil para la toma de decisiones y la gestión eficiente de datos.

En la simulación del sistema de cálculo de transportadores, se tomaron en cuenta los algoritmos de ambos tipos de transportadores. Los datos iniciales que se toman, para un caso hipotético, son:

**Tabla 1. Datos del transportador de tablillas y el de banda**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Datos** | **Tablillas** | **Banda** |
| Ángulo de inclinación del transportador, en grados | 20 | 20 |
| Ancho, en m | 2 | 2 |
| Altura de la guardera, en m | 1,5 | - |
| Longitud del transportador, en m | 28 | 28 |
| **Unidad motriz** |
| Potencia del motor, en kW | 40 | 25 |
| Velocidad angular del motor, en rpm  | 875 | 1750 |
| Relación de transmisión del reductor (*i*) | 63,5 | 11,5 |
| Número de dientes del sprocket motriz | 23 | - |
| Número de dientes del sprocket conducido | 85 | - |
| Diámetro de la polea conductora, en mm | - | 270 |
| Diámetro de la polea conducida, en mm | - | 560 |
| Relación de transmisión total | 235 | 23,85 |
| Velocidad angular del (sprocket principal/ tambora motriz) | 3,73 | 73,37 |
| Número de dientes del sprocket de la cadena principal  | 16 | - |
| Paso de la cadena principal, en mm | 152 | - |
| Diámetro de tambora motriz, en mm | - | 400 |
| Velocidad lineal (del entablillado/banda), en m/s | 0,15 | 1,54 |
| **Material a transportar** |
| **Caña picada por dos juegos de cuchillas o una desfibradora** |
| Densidad (ρ), en t/m3 | 0,2 | 0,2 |
| Coeficiente de disminución por inclinación (C1) | 0,9 | 0,9 |
| Ángulo de talud estático, en grados | 10 | 10 |
| **Capacidad** |
| Capacidad potencial (Qp), en t/h | 236 | 236 |
| Capacidad potencial (Qp), en @/día | 492 062 | 492 062 |
| Capacidad real programada (Qr), en @/día | 418252 | 418252 |
| Capacidad real programada (Qr), en t/h | 200 | 200 |
| Coeficiente de utilización técnica (CUT) | 0,85 | 0,85 |
|  **Pesos lineales** |
| Peso lineal (del entablillado (qt)/ de la banda(qb), en N/m  | 1870 | 157 |
| Resistencia por fricción con las guarderas (WL), en N/m | 865 | - |
| Peso del material a transportar por metro de transportador (qo), en N/m | 3607 | 355 |
| Peso lineal de los rodillos superiores (qrs), en n/m | - | 112 |
| Peso lineal de los rodillos inferiores (qri), en n/m | ‘ | 29 |
| Factor de resistencia al movimiento en la rama superior | 0,12 | 0,05 |
| Factor de resistencia al movimiento en la rama superior | 0,12 | 0,05 |
| Distribución de tensiones |
| Tensión en el punto 1, en N | 15 004 | 3420 |
| Tensión en el punto 2, en N | 3000 | 2308 |
| Tensión en el punto 3, en N | 3300 | 2538 |
| Tensión en el punto 4, en N | 97 272 | 8756 |
| Tiraje efectivo (W0), en N | 82 268 | 53335 |
| Factor de sobrecarga (ks) | 2 | 2 |
| Eficiencia de la transmisión (ηtt) | 0,85 | 0,85 |
| Potencia calculada (Nc), en kW | 29,25 | 19,29 |
| Índice de consumo (IC), en kW h/t | 0,15 | 0,10 |
| Relación entre la potencia instalada y la calculada | 137 | 130 |

**3.1 Transportador de Tablillas**

**3.1.1 Variación del índice de consumo (IC) en función del ángulo de inclinación del transportador**

|  |  |
| --- | --- |
| Ángulo β, en grados | Índice de consumo, IC, en kW h/t |
| 4 | 0.1 |
| 8 | 0.11 |
| 12 | 0.12 |
| 16 | 0.14 |
| 20 | 0.15 |

**3.1.2 Variación del índice de consumo, IC, en función de la altura de las guarderas laterales**

|  |  |
| --- | --- |
| Altura h, en m | Índice de consumo, en kW h/t |
| 1.1 | 0.142 |
| 1.2 | 0.143 |
| 1.3 | 0.144 |
| 1.4 | 0.145 |
| 1.5 | 0.146 |

**.1.3 Variación de consumo (IC) en función del ancho del entablillado**

|  |  |
| --- | --- |
| Ancho (B), en m | Índice de consumo, (IC), en kW h/t |
| 1.2 | 0.18 |
| 1.4 | 0.17 |
| 1.6 | 0.16 |
| 1.8 | 0.15 |
| 2 | 0.15 |

**3.2 Transportador de Banda**

**3.2.1 Variación del índice de consumo (IC) en función del ángulo de inclinación del transportador.**

|  |  |
| --- | --- |
| Ángulo β, en grados | Índice de consumo |
| 4 | 0.05 |
| 8 | 0.06 |
| 12 | 0.07 |
| 16 | 0.08 |
| 20 | 0.1 |

|  |  |
| --- | --- |
| Ancho B, en m | Índice de consumo |
| 1.2 | 0.11 |
| 1.4 | 0.1 |
| 1.6 | 0.1 |
| 1.8 | 0.1 |
| 2 | 0.1 |

**3.2.2 Variación del índice de consumo (IC) en función del ancho de banda**

* Índice de consumo de un transportador de banda= 0.10 kW-h/t.
* Índice de consumo del transportador de tablillas= 0.15 kW-h/t.

**3.3 Balance económico**

Si se supone que el central trabaja durante 6 meses, 30 días seguidos por mes, las 24 horas del día. Entonces, por zafra se consume en cada transportador:

Banda =meses\*días\*horas\*índice de consumo(kW-h/t) \*capacidad(t/h)

Banda =6\*30\*24\*0.10\*200=86 400 kW h

Tablillas = meses\*días\*horas\*índice de consumo(kW-h/t) \*capacidad(t/h)

Tablillas =6 \*30\*24\*0.25\*200=129 600 kW h

Total, de kW h ahorrados por zafra utilizando banda

Tkw=tablillas – banda =129 600- 86 400 =43 200 kW h

Si se instalan transportadores de banda se ahorran 43 200 kW h por zafra.

1. **CONCLUSIONES**
2. Del balance económico se obtiene que el índice de consumo del transportador de tablillas para este caso es 1,5 veces mayor que el de banda.
3. De los resultados de las hojas de cálculo, se obtiene que el aumento de capacidad en transportadores de tablillas, logra un mejor balance cuando se hace mediante el aumento del ancho del entablillado. Sin embargo, el costo es muy elevado, pues requiere modificar completamente la estructura del transportador.
4. En el caso de los transportadores de banda los mejores resultados se obtienen mediante la variación de la velocidad de la banda, lo cual puede obtenerse mediante un variador de frecuencia que modifique la velocidad angular del motor.
5. La sustitución de un transportador de tablillas por uno de banda es factible técnicamente, pero conlleva un gasto inicial elevado puesto que solo pueden aprovecharse algunos componentes del transportador de tablillas.
6. Por parámetros y características particulares de cada transportador el montaje y mantenimiento de un transportador de banda es mucho más económico y factible que uno de tablillas.

**referencias**

1. Hytrol, 2003, manual de instalación y mantenimiento de transportadores, noviembre del 3002
2. Medina, A. L. (2021). Análisis del sistema de transporte y preparación de la caña en el central Abel Santamaría. Villa Clara, Cuba: Universidad Central ¨Marta Abreu¨de Las Villas.
3. Oriol Guerra, J. M. (1988). *Máquinas de transporte continuo* (Vol. Tomo I). Ciudad de La Habana, Cuba: Editorial Pueblo y Educación.
4. Pérez Castellanos, E. H. (2011). Diagnóstico de los sistemas de transportación de sólidos en empresas azucareras de Villa Clara. *Revista Centro Azúcar*. Obtenido de http://centroazucar.uclv.edu.cu
5. Pérez Castellanos, E. R. (2007). Análisis de la relación entre los parámetros de funcionamiento y el índice consumo en transportadores de tablillas. *Revista Centro Azucar*. Obtenido de http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro\_azucar/article/view/570