

**UCLV**  
Universidad Central  
"Marta Abreu" de Las Villas



**FIMI**  
Facultad de  
Ingeniería Mecánica  
e Industrial

## Departamento de Ingeniería Mecánica

### TRABAJO DE DIPLOMA

**Título:** Análisis de la sustitución de transportadores de rastrillos por transportadores de banda en el central Uruguay.

**Autor:** Héctor Rafael Polanco Sánchez

**Tutor:** Dr.C Eusebio Enrique Pérez Castellano

Santa Clara , julio de 2019  
Copyright©UCLV

**UCLV**  
Universidad Central  
"Marta Abreu" de Las Villas



**FIMI**  
Facultad de  
Ingeniería Mecánica  
e Industrial

## Department of Mechanical Engineering

### DIPLOMA THESIS

**Title:** Analysis of the replacement of fly conveyors by belt conveyors in the central Uruguay.

**Author:** Héctor Rafael Polanco Sánchez

**Thesis Director:** Dr.C Eusebio Enrique Pérez Castellano

Santa Clara , July, 2019  
Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

**Atribución- No Comercial- Compartir Igual**



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

## **Dedicatoria.**

A todas las personas que de una forma u otra me ayudaron a conseguir mi sueño de profesional, a toda la familia, a mi hermano, a mi mamá, a mama, mi tía, a mi novia, mis suegros mis amigos de siempre y mis compañeros de clase, a todos va dedicado. Muchas gracias de verdad.

## **RESUMEN**

En este trabajo se desarrolla una búsqueda bibliográfica sobre el estado del arte en los sistemas de centrales bioeléctricas que se están instalando en Cuba, sobre la base de la combustión del bagazo de los centrales azucareros y otros biocombustibles. Se analiza además la posibilidad de sustituir transportadores de rastrillos por transportadores de banda en la manipulación del bagazo, como vía para disminuir los consumos de energía internos dentro de las fábricas y aumentar las entregas de energía eléctrica al SEN.

## **ABSTRACT**

In this work, a bibliographic search is carried out on the state of the art in the systems of bioelectric power plants that are installing in Cuba, based on the combustion of bagasse from sugar mills and other biofuels. It also discusses the possibility of replacing fly conveyors with belt conveyors in the transportation of bagasse, as a way to reduce internal energy consumption within the factories and increase deliveries of electrical energy to the SEN.

# Índice

|  |    |
|--|----|
| Introducción.....  | 1  |
| Capítulo 1: Características de la cogeneración y los transportadores de bagazo, en centrales azucareros. Estado del arte.....            | 6  |
| Introducción.....  | 6  |
| 1.1. La cogeneración.....  | 6  |
| 1.2. Máquinas de transporte continuo (M.T.C.).....   | 8  |
| 1.2.1. Transportadores de banda.....   | 8  |
| 1.2.2. Transportadores de rastrillos.....  | 9  |
| 1.3. Estructuración del sistema en el central Uruguay.....   | 13 |
| 1.3.1. Descripción general del sistema.....  | 13 |
| Conclusiones parciales.....  | 16 |
| Capítulo 2: Análisis de los transportadores de rastrillos en el central Uruguay. Metodología de cálculo en transportadores de banda..... | 17 |
| Introducción.....  | 17 |
| 2.1. Método empleado para proponer la sustitución.....   | 17 |
| 2.2. Análisis de cada transportador individual para la posible sustitución por banda: 18   |    |
| 2.2.1 Transportador de bagazo # 1 (rastrillos).....  | 18 |
| 2.2.2. Transportador de bagazo # 2 (rastrillos).....   | 18 |
| 2.2.3. Transportador de bagazo # 4 (rastrillos).....   | 20 |
| 2.2.4. Transportador de bagazo # 5 (rastrillos).....   | 20 |
| 2.2.5. Transportadores # 6 y # 7.....  | 21 |
| 2.2.6. Transportador de bagazo # 8 (rastrillos).....   | 22 |
| 2.3. Metodología de cálculo para transportadores de banda.....   | 23 |
| 2.3.1.-Pasos previos en el cálculo.....  | 23 |
| 2.3.1.1. Selección del tipo de atesador y ubicación del mismo.....   | 23 |
| 2.3.1.2 Colocación de los bancos de rodillos de apoyo.....   | 24 |
| 2.3.1.3 Definición del número de puntos en la traza.....   | 24 |
| 2.3.2. Pasos en el cálculo.....  | 25 |
| 2.3.2.1. Propiedades del material.....   | 25 |

|   |    |
|---|----|
| 2.3.2.2. Comprobación de la posibilidad de transportación.....  | 25 |
| 2.3.2.3 Selección del tipo de rodillos superiores. ....   | 25 |
| 2.3.2.4. Determinación del ancho de banda necesario. ....   | 26 |
| 2.3.2.5. Normalizar el valor del ancho de banda.....  | 26 |
| 2.3.2.6. Recalcular la velocidad por las expresiones siguientes: .....  | 26 |
| 2.3.2.7 Selección de la banda.....  | 27 |
| 2.3.2.8. Determinación de los pesos lineales.....   | 27 |
| 2.3.2.9 Determinación de las resistencias.....  | 28 |
| 2.3.2.10 Distribución de tensiones. ....  | 29 |
| 2.3.2.11. Determinación del tiraje efectivo y la potencia. ....   | 31 |
| 2.3.2.12. Seleccionar el motor.....   | 31 |
| 2.3.2.13. Selección de la transmisión.....  | 31 |
| 2.3.2.14. Comprobación de la resistencia de la banda. ....  | 32 |
| Conclusiones parciales: .....   | 35 |
| Capítulo 3. Análisis de la a sustitución del TR #1 por un transportador de banda. ....  | 36 |
| Introducción .....  | 36 |
| 3.1. Explicación de las características de la hoja de cálculo Excel.....  | 36 |
| 3.2. Ejemplo de cálculo.....  | 37 |
| 3.3. Explicación del enfoque en el proceso de cálculo, los resultados obtenidos en la primera corrida y las decisiones tomadas a partir de la misma. .... | 39 |
| Conclusiones parciales: .....   | 43 |
| Conclusiones generales.....   | 44 |
| Recomendaciones.....  | 45 |
| Bibliografía .....  | 46 |

## Introducción

Cuba está necesitada de variar su matriz energética en los próximos años. La generación de electricidad que se requiere para un funcionamiento estable del país ya en estos es muy elevada y debe seguir aumentando en los próximos años debido al crecimiento económico, sobre todo en algunos sectores.

En informaciones en el periódico (1) se planteaba:

La política para el desarrollo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía, aprobada en el 2014, contiene las acciones para el incremento de la eficiencia energética y la instalación de 2 mil 144 MW hacia el 2030, a partir de tecnologías limpias, para alcanzar hasta el 24 % de participación en la generación eléctrica.

Con esa potencia instalada podrán producirse 7 mil 316 GWh, sustituyendo un millón 75 mil toneladas de combustible al año, que implicará una considerable reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y con ello de la carga contaminante del medio ambiente.

Debe tenerse en cuenta que el precio actual de la tonelada de petróleo en el mercado mundial ronda los 400 USD/tonelada (2).

La producción de electricidad con fuentes renovables de energía (FRE) es baja en la actualidad, pues solo representa el 4,5 % de la generación del país; el aporte más elevado se logra con biomasa cañera, la hidroenergía, y las que proceden de los parques solares fotovoltaicos y de los eólicos.

Ese total planteado anteriormente equivale a 18 días del consumo de electricidad del país y significa que se dejan de emitir a la atmósfera 638 mil toneladas de CO<sub>2</sub>.

La diversidad de fuentes renovables de energía (FRE) que se emplearán para aumentar la generación eléctrica contempla la construcción de 25 bioeléctricas como muestra la (figura 1), en centrales azucareros. Se deben montar, además, 14 parques eólicos, así como la instalación de 700 MW en parques solares fotovoltaicos y de otros 56 MW en las 74 pequeñas centrales hidroeléctricas que se construirán. No es despreciable el aporte del biogás que se logra con los residuos orgánicos de la producción animal; en el país funcionan seis plantas industriales que generan electricidad y otras 3 mil 200 pequeñas.

La biomasa —fundamentalmente la proveniente de la caña de azúcar—, el sol, el viento y la energía hidráulica son las fuentes a las cuales se les puede apostar con mayor certeza para la diversificación de la matriz energética.

Actualmente se plantea utilizar también otros tipos de biomasa como la paja de caña y el marabú.



**Figura 1. Ubicación de los centrales azucareros de las 25 bioeléctricas que se proponen construir hasta el 2030.**

Las biofábricas que se muestran en la figura están en distintas fases de construcción, negociación o en la cartera de oportunidades.

Actualmente la generación de electricidad a partir de la biomasa cañera aporta las mayores cantidades entre todas las fuentes renovables que se emplean en el país.

La biomasa cañera proveniente de la producción de azúcar está compuesta por el bagazo y la paja de caña.

Existen planes de montaje hasta el 2030, de biofábricas, en el país para lograr estos resultados. Unido a esto se presenta la problemática de que en las plantas de cogeneración que existen en los centrales actualmente se utiliza una gran parte de la generación eléctrica en la operación de los equipos dentro de la fábrica.

Con una potencia instalada de 470 MW en 57 centrales, que poseen un potencial de 38 millones de toneladas de caña a moler en cada zafra. La industria azucarera presenta una baja producción energética debido a la obsolescencia tecnológica del proceso industrial y la utilización de calderas de vapor de baja presión, que alcanzan solamente 37,6 kWh/t de caña molida.

El programa hasta el 2030 para la construcción de bioeléctricas en los centrales azucareros elevará la potencia en otros 870 MW, con una generación de 4 mil 300 GWh/año, lo que conllevará a la sustitución de 960 mil toneladas de combustible al año y se evitará la emisión de 3 millones 65 mil toneladas de CO<sub>2</sub> anuales. (1).

No hay duda de que la estrategia energética puesta en marcha se dirige hacia una energía limpia, segura y sustentable, o lo que es lo mismo, hacia las fuentes renovables de energía. En ese sentido, constituye una necesidad alentar su aprovechamiento en aras de enfrentar la carencia de combustibles fósiles y sustituir el petróleo importado que, asimismo, está expuesto a la inestabilidad de los precios en el mercado internacional.

Resulta un imperativo, además, que el medio ambiente no puede continuar deteriorándose por parte del hombre con el uso del petróleo en todas sus aplicaciones. No hay dudas de que la meta de 100 % de la generación de electricidad a partir de las fuentes renovables de energía es difícil, pero alcanzable.

El mapa que se muestra en la (figura 1) puede sufrir algunas actualizaciones en su proyección de futuro pues algunas de estas inversiones no podrán realizarse a corto ni a mediano plazo por carencia de recursos y no disponibilidad de inversores.

El uso de las fuentes renovables de energía ha recibido un notable respaldo de la comunidad internacional con el Acuerdo de París, suscrito en el 2015, por el que casi 200 países se comprometen a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para tratar de que el aumento de la temperatura quede por debajo de 2°C, límite para que los efectos del cambio climático no sean catastróficos.

Tampoco se puede desdeñar el efecto económico que traerá la transición hacia un sistema basado en tecnologías alternativas.

Según la Agencia Internacional de Energías Renovables, alcanzar el 36 % de generación a nivel global supondría un crecimiento económico de 1,1 % ese año, el 3,7 % del incremento del bienestar, y el empleo de hasta 24 millones de personas en el sector contra los 9 millones actuales.

Cuba alcanza la mayor generación mediante la biomasa cañera, un aporte que deberá aumentar significativamente a partir de la puesta en marcha de modernas centrales eléctricas anexas a ingenios azucareros, y la aplicación de tecnologías más eficientes para disminuir el consumo energético en el proceso fabril e incrementar la generación en ellos. Durante el período de zafra, el cual rebasa los 120 días en el país, las fábricas de azúcar se autoabastecen de electricidad y entregan sus excedentes al Sistema Eléctrico. (3)

A raíz de estas innovadoras transformaciones que va a estar gestionando la dirección del país para un desarrollo energético más productivo, limpio y sobre todo eficiente, es que se pone en marcha esta idea para lograr una mayor entrega de energía eléctrica al SEN (Sistema Eléctrico Nacional).

Uno de los ingenios que ha recibido esta encomienda es el Uruguay, esto se debe a la elevada capacidad de molienda, que lo ubica entre los más grandes del país.

Pero es muy importante destacar que una parte de la energía eléctrica que se genera en un central azucarero se consume en los equipos que trabajan dentro del mismo.

Los equipos de transportación de bagazo en la industria azucarera cubana son fundamentalmente transportadores de rastrillos, con una tecnología antigua y muchos años de explotación.

Según (4) en este ingenio, como en la gran mayoría de los centrales azucareros del país, el sistema está constituido por 8 transportadores de bagazo, con una interconexión muy compleja, con cadenas que tienen ya muchos años de trabajo y órganos de arrastre, (rastrillos) constituidos por tubos de 3 pulgadas de ancho, muy pesados y que originan un elevado consumo de energía.

Una de las medidas que se ha venido tomando en otras empresas, aunque en una escala muy baja aún, es la de sustituir los transportadores de rastrillo que se emplean en el bagazo por transportadores de banda que consumen mucha menos energía en su funcionamiento y requieren de un costo de mantenimiento mucho menor.

En este trabajo se propone hacer un estudio de una posible sustitución de los transportadores de rastrillo por banda en el central Uruguay, a partir del análisis realizado por (4) ya que hasta la fecha no se ha realizado ningún trabajo en la aplicación de esta idea y teniendo en cuenta que toda la infraestructura del sistema de manipulación de bagazo sigue intacta y sin modificaciones.

**Problema:**

No existe una información debidamente fundamentada sobre las posibilidades que brinda la sustitución de transportadores de rastrillos para bagazo por transportadores de banda en una central azucarera.

**Hipótesis:**

Con estudios debidamente argumentados se puede lograr la sustitución de transportadores de rastrillo por banda en la manipulación de bagazo en un central azucarero.

**Objetivo general;**

Lograr una mayor eficiencia económica y energética en la transportación del bagazo en un central azucarero, como planta de cogeneración.

**Objetivos específicos:**

1. Describir las características técnicas y de funcionamiento del sistema de manipulación de bagazo en el central Uruguay.
2. Seleccionar una metodología de cálculo para transportadores de banda
3. Establecer recomendaciones para la sustitución de los transportadores de rastrillo por banda en un central azucarero.

# **Capítulo 1: Características de la cogeneración y los transportadores de bagazo, en centrales azucareros. Estado del arte.**

## **Introducción.**

El central Uruguay es uno de los mayores productores de azúcar de Cuba. Es capaz de moler hasta 10 000 toneladas de caña en una jornada y aunque ha confrontado problemas con el abastecimiento de caña en las últimas campañas está previsto que sea montada en él una de las mayores biofábricas del país.

Actualmente la generación de electricidad en este ingenio se desarrolla a partir del proceso de cogeneración, o sea, no como una entidad independiente, sino con el sistema de generación como parte del proceso en su conjunto.

### **1.1. La cogeneración.**

El consumo energético es uno de los principales problemas que afectan a la industria de hoy, no solo por sus altos costos sino por lo agotable de las fuentes convencionales de obtención y el alto nivel de contaminación ambiental que provocan. (5)

Sobre el tema de la cogeneración de energía en centrales azucareros han trabajado varios autores, pero sobre todo en cuanto a los efectos económicos de diversas variantes de cogeneración en la economía del sistema.

El bagazo de caña de azúcar constituye uno de los principales recursos, cuyo aprovechamiento integral y eficiente ofrece nuevas perspectivas para el desarrollo del país, este constituye la principal fuente de biomasa para los centrales azucareros.

En la década del 80 se sincronizaron las fábricas de azúcar crudo al SEN y se implementó la cogeneración de estos empleando el bagazo de caña como combustible. Para el arranque de la zafra se utiliza la energía del SEN.

La problemática más importante que se enfrenta actualmente en las fábricas de azúcar en Cuba es que las calderas donde se produce el vapor son en su mayoría de baja presión y en esas condiciones se alcanzan índices de generación cuyo valor no sobrepasa los 30 a 40 kW-h/tonelada de caña. MW, con presiones de trabajo en las calderas de 18 a 28 bar. Este equipamiento es de muy baja eficiencia.

En (6) los autores plantean que el bagazo producido es de 308 kg/tonelada de caña y que la demanda de energía eléctrica en la fábrica es de 32 kWh/tonelada de caña molida. Este valor prácticamente no proporciona energía sobrante para entregar al SEN.

La producción anual de electricidad a partir de bagazo ha fluctuado de 994,2 GWh en el 2000 y se ha mantenido por debajo de esa cifra desde entonces. Generalmente la

electricidad generada se usa en un 80% -85% para el consumo de los propios centrales y un 15% – 20% se entrega al SEN. (7)

En (8) se plantea que en las condiciones actuales la industria azucarera se trabaja con turbinas de contrapresión y generadores eléctricos desde 1,5 hasta 12 MW. Allí se planteó que en esas condiciones el índice de generación es de 37 kW-h/tonelada de caña y que en el período 2011-2017 se generaron en la industria azucarera valores por debajo de los 800 GW –h en cada zafra y la venta al SEN fue solo del 15 % de esta generación y el resto se consumió dentro de la fábrica.

En (9) se establece una metodología para investigar el costo de la cogeneración en la industria azucarera. No se expresan valores prácticos de generación ni de consumo de energía eléctrica por tonelada de caña de azúcar.

En (10) se reportan valores de venta de energía generada en Costa Rica de entre 60 y 70 kW-h/t de caña, pero allí se trabaja con turbinas de presiones más elevadas.

En (11) se reportan valores de venta de electricidad de un 50 % en Costa Rica.

En (12) los valores reportados para Cuba son similares a los que se plantean en (8), o sea:

Índice de Generación: 37 kWh/tonelada de caña molida

Venta al sistema energético nacional (SEN): 16%

Consumo del central azucarero: 84%

El autor ha tomado valores a pie de obra en el central Uruguay y obtuvo los siguientes datos:

La generación de electricidad instalada en la actualidad en el central Uruguay 14,5 MW y se venden al SEN 2,5 MW. Lo que representa, solamente el 17 % de la generación.

Con el programa de bioeléctricas del país se pretende llegar a índices de generación de hasta 100 kW-h/tonelada de caña y aumentar el índice de entrega al SEN hasta valores cercanos a 80 % (8).

Pero en el alcance de este objetivo es importante, no solamente aumentar la eficiencia de los equipos encargados de generar electricidad, sino de aquellos que la consumen.

Los 4 grupos de equipos más altos consumidores de una empresa azucarera en orden de importancia son:

- El tándem de molinos y los equipos preparadores (cuchillas, desfibradoras).

- El sistema de bombeo de materiales de todo tipo dentro de la fábrica (incluyendo las bombas de vacío).
- Las centrífugas para la purga de azúcar.
- El Sistema de transportación de sólidos.

A modo de ejemplo:

Para la zafra 17-18 el central Uruguay se programó para una capacidad de molida de 9200 t/día y un 28 % de bagazo en caña, o sea, una 107 t/h. Solamente en el tándem se consumían aproximadamente 4000 kwh/h, o sea, el 20 % de la electricidad que se producía. Esto sin contar los equipos de preparación (cuchillas picadoras).

La potencia instalada en el sistema de transportación de bagazo (en este caso, rastrillos) era de aproximadamente 350 kW.

A continuación, se explican las características de dos de los transportadores más empleados en la manipulación de bagazo en los centrales azucareros.

## **1.2. Máquinas de transporte continuo (M.T.C.)**

Su funcionamiento se caracteriza por que el transporte de la carga (a granel, en piezas o en bultos) ocurre a través de una ruta dada, sin que se produzcan paradas para la carga y descarga, y porque el órgano portador de la carga se traslada lleno, y en su retorno, vacío, de forma simultánea. La carga a granel se puede transportar en forma de vena continua o en porciones separadas.

Las características antes descritas (movimiento continuo de la carga, ausencia de paradas para la carga y descarga y simultaneidad del movimiento del órgano portador cargado y vacío en el retorno) le dan a las M.T.C. productividades muy elevadas.

El empleo de los transportadores hace posible la circulación suave del material a través de una planta, sincronizando operaciones y moviendo grandes cantidades del material sin el agobiante esfuerzo humano, lo que contribuye a obtener menores costos de producción y un menor consumo energético. (13)

Otro aspecto a tener en cuenta es que en muchos casos el material puede ser cargado y descargado en cualquier punto del recorrido (14), (15).

De los transportadores continuos, los más empleados para la transportación del bagazo son los de banda y los de rastrillos. A continuación, se describen brevemente los dos tipos.

### **1.2.1. Transportadores de banda**

Los transportadores de banda poseen un amplio campo de empleo en la manipulación de materiales a granel y en bultos. La alta velocidad con que pueden trabajar, los distintos

anchos de bandas, tipos e inclinación de las mismas, los hace capaces de asimilar capacidades desde varios kilogramos hasta unas 20 000 t/h hora y con longitudes que pueden ir desde unos metros hasta varios kilómetros. Además, pueden utilizarse en el transporte de materiales a granel con diversas características y propiedades como son; livianos y pesados; secos o húmedos; polvorientos o en grandes terrones; corrosivos y abrasivos, etc. También distintos tipos de bultos como sacos, paquetes, cajas, etc. y hasta objetos cuya transportación es delicada. Actualmente se fabrican bandas que pueden transportar materiales con temperaturas algo elevadas (en el orden de los 100<sup>0</sup> C). (15) (14).

Sus ventajas principales, además de las ya dichas, son:

- que el perfil transversal de la traza puede ser muy variable,
- son silenciosos,
- su mantenimiento es sencillo,
- el consumo de potencia por tonelada de material transportado es muy bajo
- y es muy factible su automatización.
- fácil limpieza

Sus desventajas fundamentales son:

- que no admiten cambios de dirección en su vista de planta
- un costo inicial elevado, sobre todo por el precio de las bandas que actualmente puede llegar hasta a cientos de dólares el metro de longitud.

### **1.2.2. Transportadores de rastrillos.**

Los transportadores de rastrillos se asemejan a los de banda y de tablillas en que poseen un órgano de flexión flexible (en este caso, dos cadenas), pero a diferencia de aquellos el material en lugar de ser transportado sobre el órgano de tracción flexible, es arrastrado por este mediante el elemento denominado rastrillo. Es por esto que en ocasiones se les denomina también transportadores de arrastre.

El motor mueve el árbol motriz y este arrastra las cadenas a las que van atornillados los rastrillos. El material es alimentado en cualquier punto de la traza e inmediatamente comienza a ser arrastrado por los aditamentos del rastrillo, cada uno de los cuales toma una porción del material y la traslada hasta que se encuentra con una abertura en el fondo de la canal y allí se produce la descarga (16).

Una particularidad de este equipo es que puede transportar cargas por ambas ramas a la vez o a intervalos (primero por una y después por la otra) aunque, como es lógico, cada una de las ramas traslada el material en distinto sentido. Esto constituye una de sus ventajas. A esto puede añadirse la posibilidad de cargar y descargar el material en

cualquier punto de la traza; la simplicidad del diseño y la posibilidad de hermetizar la transportación en caso que se desee. (14)

Por otra parte, los transportadores de rastrillos son capaces de transportar cargas a granel con mayores ángulos de inclinación que los de tablillas y que los de banda. (15)

Sus desventajas principales se refieren:

- al elevado peso propio del transportador lo cual hace necesario también un elevado consumo de potencia (mayor que en los transportadores de banda, pero menor que en los de tablillas).
- A esto debe añadirse la tendencia al rápido desgaste de la canal lo que hace necesaria su reposición, y alguna tendencia a la trituración de los materiales.
- Desgaste de las cadenas, canal y rastrillos.
- Alto consumo de energía.
- El hecho de que utilicen dos cadenas para mover los rastrillos hace que en un rastrillo existan cientos de puntos de deslizamiento, que si no son adecuadamente lubricados producen un rápido desgaste de los bujes interiores de los eslabones y, después de un tiempo de funcionamiento, la rotura de la cadena por la fuerza de tracción, la cual es más elevada que en las bandas debido a la baja velocidad en comparación con ese otro tipo de transportador.
- El aspecto anterior contribuye también a un mayor gasto en el mantenimiento del equipo.

En (17) se plantea que los rastrillos convencionales son de madera y se han venido cambiando por variante de tubos laminados y viga canal. El uso de estos últimos aumenta el peso en los transportadores y provoca un mayor consumo de energía, además al ocurrir una sobrecarga trae consigo mayores roturas y el aumento de los costos en las interrupciones.

A modo de ejemplo se muestra el siguiente reporte de interrupciones en el central Uruguay en 2017-2018:

**Tabla 1.2.1: Tiempo Perdido Zafra 2018**

| Área    | Fecha     | Tiempo (h) | Descripción de las Causas                      |
|---------|-----------|------------|--|
| Caldera | 2/6/2018  | 2          | Partida cadena motriz conductor de bagazo N° 9 |
| Caldera | 3/11/2018 | 1.507      | Partida tablilla del conductor de bagazo No 2  |

|         |           |       |  |
|---------|-----------|-------|--|
| Caldera | 3/26/2018 | 0.435 | Levantada platina del conductor N°5          |
| Caldera | 4/20/2018 | 0.73  | Partida tablilla del conductor de bagazo N°5 |
| Caldera | 4/26/2018 | 8.83  | Descarrilo en el conductor de Bagazo N°5     |

**Tabla 2.2: Desglose del tiempo Tabla1perdido a causa de los transportadores.**

|                                  |                  |
|----------------------------------|------------------|
| <b>Tiempo total de zafra</b>     | <b>2787,12 h</b> |
| <b>Tiempo perdido industrial</b> | <b>13,353 h</b>  |
| <b>Días de zafra</b>             | <b>116,13</b>    |
| <b>Tiempo perdido EUB</b>        | <b>0,48 h</b>    |

**Tabla1.2.3:Tiempo perdido por área.**

| Áreas            | Tiempo         | %            |
|------------------|----------------|--------------|
| Basculador       | 36.811         | 1.32         |
| Molino           | 145.884        | 5.23         |
| Planta Eléctrica | 4.087          | 0.15         |
| <b>Caldera</b>   | <b>106.118</b> | <b>3.81</b>  |
| Fabricación      | 66.684         | 2.39         |
| Instrumentación  | 14.472         | 0.52         |
| Centros Recepc   | 3.739          | 0.13         |
| MTTO             | 58.6           | 2.10         |
| <b>Total UEB</b> | <b>436.395</b> | <b>15.70</b> |

Como se puede apreciar estas son algunas de las interrupciones como se muestra en la (tabla1.2.1). En la (tabla1.2.2) se puede observar cómo estas interrupciones diversas dan como resultado las 13.353 horas de tiempo industrial perdido a causa de estas roturas.

En la (tabla1.2.3) se puede apreciar como el área de calderas, en la cual se desempeñan estos transportadores de rastrillos, es la que más afecta el correcto funcionamiento del central lo cual da una idea de cómo esas 13.353 h de tiempo perdido por transportadores de bagazo, representan el 12.58% del tiempo del área de calderas y el 0.47% del tiempo que es casi igual al tiempo que se pierde por los instrumentos de medición y más que los centros de recepción.

A continuación, en la (tabla1.2.4) se presenta una comparación entre ambos transportadores en solo tres parámetros fundamentales:

**Tabla 1.2.4: Comparación de transportadores de banda y rastrillo.**

| <b>Parámetro</b>               | <b>T. de Banda</b>                                 | <b>T. de Rastrillo</b>   |
|--------------------------------|--|--|
| 1. Consumo energético          | Bajo   | Alto(por su elevado peso propio)   |
| 2. Costo de Mantenimiento      | Muy sencillo                                       | Mucho desgaste en cadenas, canales y rastrillos  |
| 3. Capacidad de transportación | Alta velocidad y gran capacidad de transportación. | Baja velocidad pero buena capacidad de transportación aunque no con elementos triturables. |

La versatilidad de los transportadores de banda ha hecho que en la actualidad surja una tendencia de sustituir los transportadores de rastrillos por transportadores de banda en la transportación de bagazo.

En cuanto a la situación actual de los transportadores continuos de sólidos en la industria azucarera cubana, esta rama ha enfrentado situaciones similares a las que se han presentado en las demás esferas económicas del país:

- Aumentos de gran magnitud en el costo de los insumos y piezas de repuestos, muchas de las cuales se importan del exterior.
- Disminución de los precios del azúcar en el mercado mundial en contraste con los precios del petróleo. Por otra parte, el compañero Fidel Planteó en reiteradas ocasiones la disminución drástica de la cantidad de petróleo que se puede adquirir hoy en día con la venta de una tonelada de azúcar.

- En el caso de Cuba estas situaciones se han visto agravadas por el bloqueo a la isla y por la caída del campo socialista y la desintegración de la URSS. Estos dos acontecimientos históricos trajeron en su momento la desaparición de las posibilidades del país de tener un sitio a donde exportar azúcar y de donde obtener los insumos, recursos y las piezas de repuestos. (18)

En (19) se presentó un trabajo donde describió el diseño y cálculo de un sistema de transportación al granel de bagazo de caña en una planta de cogeneración de energía eléctrica dentro de un ingenio azucarero. Este sistema está formado por diez transportadores de banda y dos transportadores de cadena.

El proyecto para cogeneración de energía eléctrica dentro de un ingenio azucarero en Ecuador, demandó el desarrollo del sistema de transportación del bagazo de caña a ser utilizado como combustible para la generación de vapor.

El sistema se diseñó con transportadores de banda. Se plantearon valores de velocidad de 1.35 m/s para una capacidad de 160 t/h y anchos de banda que oscilan en 1.5 m y ángulos de inclinación de 0 a 16°.

### **1.3. Estructuración del sistema en el central Uruguay.**

El objetivo del sistema de manipulación de bagazo es recibir todo el bagazo proveniente del último molino, alimentar las calderas y trasladar el sobrante hasta la casa de bagazo, el sistema también permite un retorno desde la casa de bagazo hasta las calderas para las situaciones en las cuales no se estuviera moliendo caña como podía ser en la arrancada, para levantar presión hasta que se comenzara a mover. Esto puede ocurrir en el caso de roturas, o bien para liquidar las existencias en casa de caldera cuando la molida se haya detenido. Todas estas tareas son cumplidas por los 8 transportadores de rastrillo. (20)

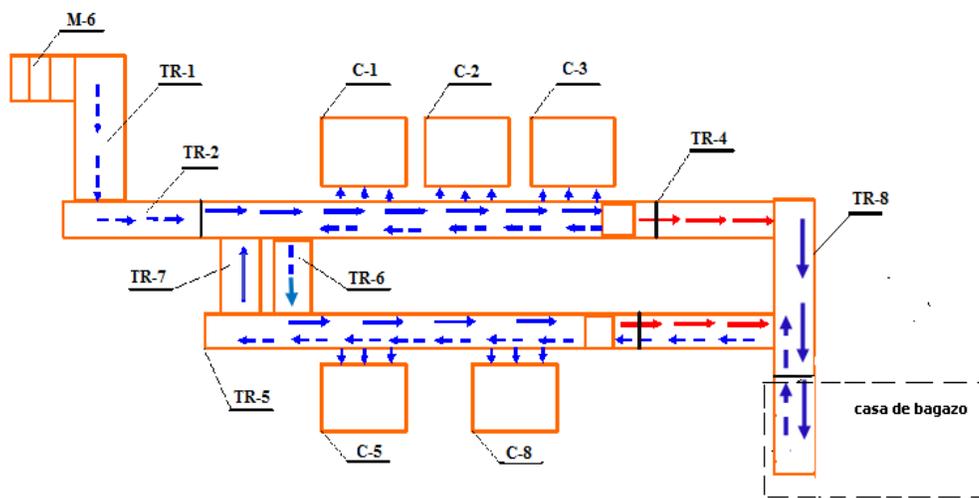
#### **1.3.1. Descripción general del sistema.**

En la (figura 1.3.1), (4) presentó una vista en planta del esquema general de transportación.

Durante el período de molida el transportador de bagazo # 1 recibe el bagazo del último molino del tándem y lo traslada por su rama inferior hasta el transportador de bagazo # 2, éste recibe el bagazo y lo transporta por su rama inferior hasta el final, allí el bagazo cae en el transportador # 4 en la rama superior, este lo traslada a lo largo del conductor hasta una abertura que regula la cantidad de bagazo a consumir por las calderas que son alimentadas por la rama inferior del transportador de bagazo # 4, estas calderas son alimentadas a través de tolvas dosificadoras, el bagazo sobrante, continúa por el interior del conductor # 4 hasta llegar al transportador # 6 que toma ese bagazo restante y alimenta al conductor # 5 en su rama superior, el bagazo se desplaza a lo largo del conductor # 5 hasta llegar a una abertura que da paso a su rama interior por la cual se

alimentan las calderas, este sobrante es alimentado al transportador # 7 y retorna al transportador # 4. Tanto el conductor # 4 como el # 5 pueden transportar más bagazo que el necesario para las calderas, para ello las aberturas en los conductores mencionados dejan seguir al bagazo hasta el conductor # 8 en su parte superior, este a su vez lo descarga en el conductor # 9 que lo lleva a la casa de bagazo. Esta operación se lleva a cabo mediante la utilización de compuertas de cremallera ubicadas en el fondo de la canal de los transportadores.

Cuando el ingenio no está moliendo, un cargador alimenta por su rama inferior al conductor de bagazo # 9, ubicado en la casa de bagazo, este lo traslada al conductor # 8 por su rama inferior, que a su vez lo descarga en el conductor # 5.



**Figura 1.3.1: Esquema del sistema de transportación de bagazo con transportadores de rastrillos en la UEB Uruguay**

La simbología del esquema es la siguiente:

M- Molino          C-caldera          TR- Transportador de rastrillo

- > Recorrido del bagazo por la rama superior del transportador.
- -> Recorrido del bagazo por la rama inferior.
- > Bagazo sobrante

En la operación del sistema de transportación de bagazo de esta UEB existen varios escenarios posibles y el sistema es sumamente complejo ya que se tiene en cuenta más de una variante.

La capacidad de molida potencial de molida de caña de la UEB es de 9200 t/día. Según (20) la biomasa aprovechable energéticamente es el bagazo y los residuos agrícolas

cañeros (RAC), el bagazo representa el 30% de los tallos verdes molidos y es el residuo fibroso de este proceso. Asumiendo un 28% en este caso, por tanto, la capacidad de manipulación del bagazo que sale molino (M-6) debe ser de  $0,28 \cdot 9200 = 2576$  t/día, o sea, de 107 t/h.

## **Conclusiones parciales.**

- Existe un numeroso grupo de autores que han tratado sobre el tema de los transportadores continuos.
- La transportación de bagazo en el central Uruguay se desarrolla a través de transportadores de rastrillos.
- Es interesante al análisis de la posible sustitución de algunos de los transportadores de rastrillos por bandas en esta empresa.

## **Capítulo 2: Análisis de los transportadores de rastrillos en el central Uruguay. Metodología de cálculo en transportadores de banda.**

### **Introducción**

En este capítulo se comienza el análisis de la posible sustitución del sistema de rastrillos por bandas.

Para ello se expone brevemente el método empleado para la sustitución.

A continuación, se analiza el sistema actualmente utilizado para la transportación de bagazo en el central Uruguay. Para ello se utiliza en parte el trabajo desarrollado por (4) donde se calculó el sistema completo de rastrillos de la fábrica, incluyendo las características de los equipos montados, las funciones de cada uno y los resultados obtenidos en la capacidad potencial y la potencia demandada, en comparación con las capacidades necesarias y los motores instalados en cada equipo.

Al final del capítulo y teniendo en cuenta la propuesta del trabajo actual se analiza la metodología de cálculo de los transportadores de banda con vistas a la posible sustitución de algunos de los transportadores actuales por sistemas de bandas.

### **2.1. Método empleado para proponer la sustitución.**

Para el análisis de la sustitución de transportador de rastrillo por uno de banda deben tenerse en cuenta los elementos comparativos siguientes:

- a) El transportador de rastrillo es capaz de transportar con inclinaciones ascendentes hasta de  $45^{\circ}$  en el caso del bagazo, mientras el transportador de banda no es recomendable instalarlo por encima de los  $25$  a  $28^{\circ}$  (15).
- b) El transportador de rastrillo puede transportar por ambas ramas a la vez (la superior y la inferior). En el caso del transportador de banda se dificulta mucho la transportación por la rama inferior.
- c) El transportador de rastrillo puede distribuir la carga fraccionadamente a lo largo de la traza (solamente colocando aberturas en forma de compuertas en los puntos de descarga). El transportador de banda requiere de aditamentos especiales en forma de carritos repartidores para descargar una parte del material en cualquier punto intermedio.

Estos elementos hacen que sea algo difícil la sustitución y esta sea posible solamente en los siguientes casos:

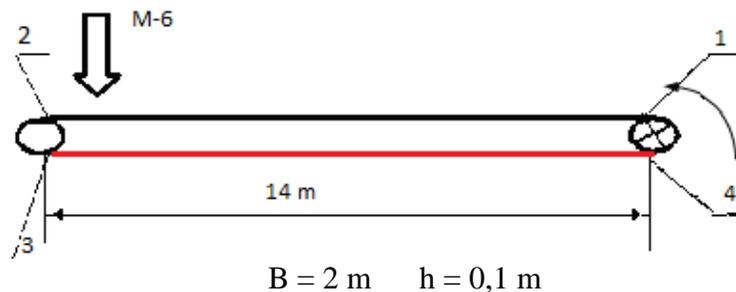
1. Transportadores con inclinaciones inferiores a  $28^{\circ}$ .
2. Transportadores de un solo punto de descarga al final de la traza.

3. Transportadores en que solo sea necesario transportar por la rama superior del equipo.

## 2.2. Análisis de cada transportador individual para la posible sustitución por banda:

### 2.1.1 Transportador de bagazo # 1 (rastrillos).

Como se expresó en el capítulo I este es un transportador corto, de solamente 14 metros de longitud, recibe el bagazo desde el primer molino, conduce el bagazo por su rama inferior y lo entrega al TB-2 como se muestra en la (figura 2.1.)



**Figura 2.1. Transportador de bagazo # 1**

Nota: M-6 significa que este transportador recibe bagazo del molino # 6.

Este transportador como se puede apreciar no presenta inclinación alguna por lo que por este aspecto no presenta ningún inconveniente para la posible sustitución del mismo por uno de banda. Además, este transportador conduce por la rama inferior, pero esto no representa ningún problema ya que si se cambia por uno de banda perfectamente lo puede hacer por la rama superior pues para este transportador es una ventaja que lo pudiera hacer por cualquiera de las dos ramas.

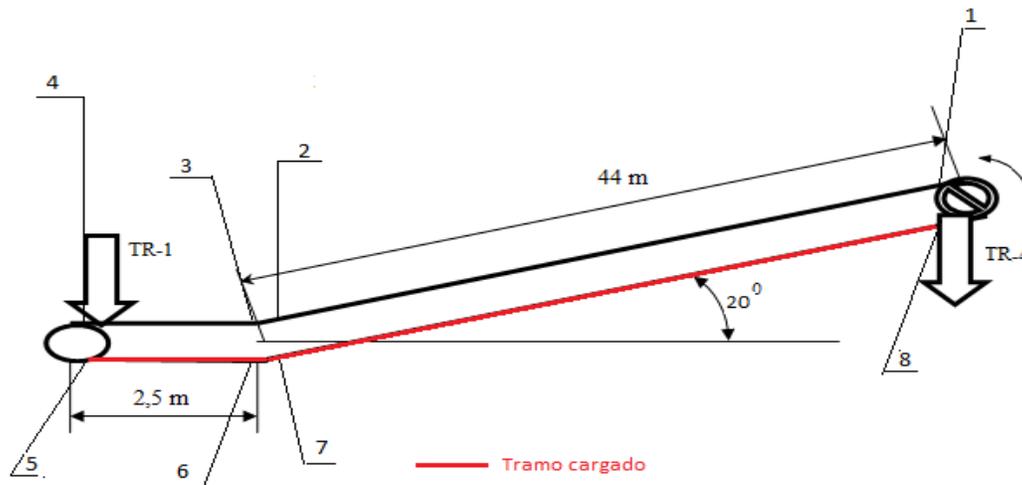
En (4) se plantea después de hacer un diagnóstico del funcionamiento de este equipo, que en la situación actual la velocidad lineal del transportador es de 0,67 m/s, valor que está por encima del recomendado, aunque muy cercano. La capacidad potencial es de 116 t/h para una capacidad máxima a transportar de 107 t/h, por lo que el coeficiente de utilización técnica (CUT) es de 91.92, bastante elevado. La potencia que debe consumir el equipo en estas condiciones es de 9 kW (un poco menor a la instalada) y el índice de consumo es de 0,08 kW-h/t.

Por lo que de aquí se puede notar que este transportador requiere un análisis ya que el índice de consumo es alto.

### 2.2.2. Transportador de bagazo # 2 (rastrillos).

Este transportador posee dos trazas. Sus funciones son muy diversas:

En el proceso de molida plena recibe el bagazo del # 1, lo conduce por su rama superior a lo largo de toda la estación de generación de vapor. Allí el bagazo cae en la rama inferior, alimenta a las dos calderas y el sobrante se descarga en una tolva como se muestra en la (figura2.2.)



**Figura2.2. Transportador de bagazo #2.**

Cuando se desea levantar presión o se desea que las calderas funcionen y no se está moliendo este transportador recibe el bagazo proveniente de la casa de bagazo a través del # 3, que lo descarga en su rama superior, antes de la estación de generación de vapor y desde allí el proceso se produce de manera exactamente igual a cuando se muele normalmente.

Los aspectos más importantes a resaltar en este transportador se refieren al funcionamiento de este equipo. Tiene una capacidad de 107 t/h y una inclinación de 20°.

Por otra parte, debe señalarse que cuando el transportador está trabajando en su funcionamiento normal consume unos 37,4 kW, valor que es excesivamente bajo en comparación con la potencia instalada (110 kW), trabaja con una velocidad de 0,61 m/s, normal para un transportador de rastrillo. El índice de consumo en estas condiciones es de 0,35 kW-h/t.

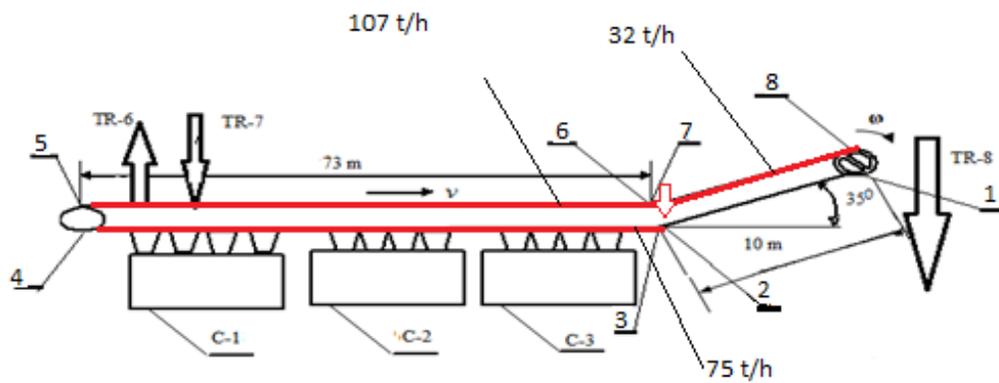
Aquí en este transportador como se puede observar la manipulación del bagazo es complicada para utilizar la banda ya que este conductor tiene la característica de distribuir fraccionadamente la carga a lo largo de la traza y por otra parte el fondo de la canal por donde se mueve el rastrillo se utiliza como colador para obtener bagacillo que se emplea posteriormente en el filtrado del jugo de la cachaza en los filtros a pesar de tener una inclinación favorable. Por eso es muy difícil sugerir su sustitución.

### 2.2.3. Transportador de bagazo # 4 (rastrillos).

En la (figura 2.3) se presenta el esquema del transportador # 4, es el que posee la traza más compleja en el sistema y también es el más largo de todos. Sus funciones son muy diversas.

En la situación de plena molida trabaja con una capacidad real máxima de 100 t/h. En las condiciones actuales su capacidad potencial es de 139 t/h y por tanto el CUT es de 71,75 %.

La solución para su sustitución pasa por el análisis de cómo distribuir fraccionadamente el bagazo, lo cual en un transportador de banda puede hacerse únicamente mediante un carro distribuidor móvil, a lo largo de la traza.



$$B = 2 \text{ m} \quad h = 0,2 \text{ m}$$

**Figura 2.3: Transportador de bagazo #4.**

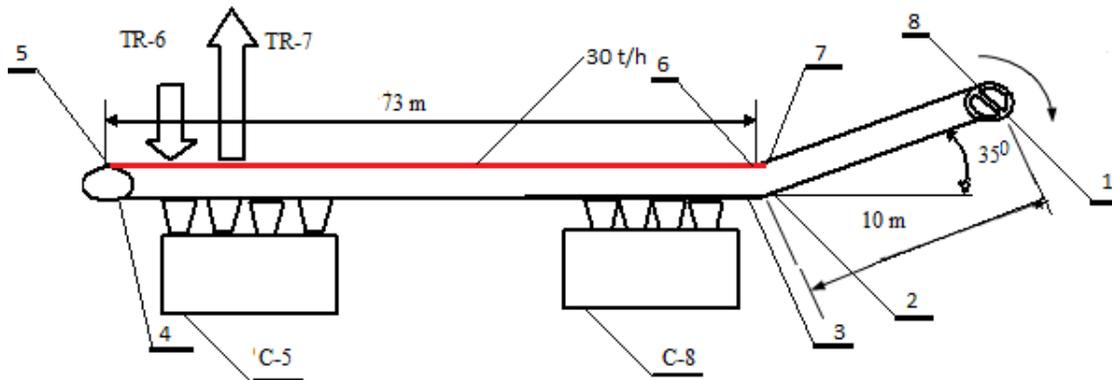
Se consume una potencia de 67,7 kW de 110 que existen instalados y el índice de consumo es muy elevado 0,68 kW-h/t, en un primer escenario, que sería en plena molida, mientras que, para un segundo escenario, ya en arrancada el coeficiente de utilización técnica sería de 34,44, un valor relativamente bajo. Se consume una potencia de 23,4 kW, muy baja en comparación con la instalada, y el índice de consumo baja a un 0,49 kW-h/t.

La colocación de una banda requiere de decisiones económicas y técnicas complejas.

### 2.2.4. Transportador de bagazo # 5 (rastrillos).

El mismo se puede observar en la (figura 2.4.), la capacidad del equipo es de 32,56 t/h. Su velocidad es de 0,63 m/s (aceptable), la capacidad real es de 32 t/h, el coeficiente de utilización técnica es de 32,56, para una potencia a consumir de 18,9 kW, muy baja ya

que es menos de la quinta parte de la instalada (de 110 kW) y en estas condiciones el índice de consumo es de 0,59 kW-h/t.

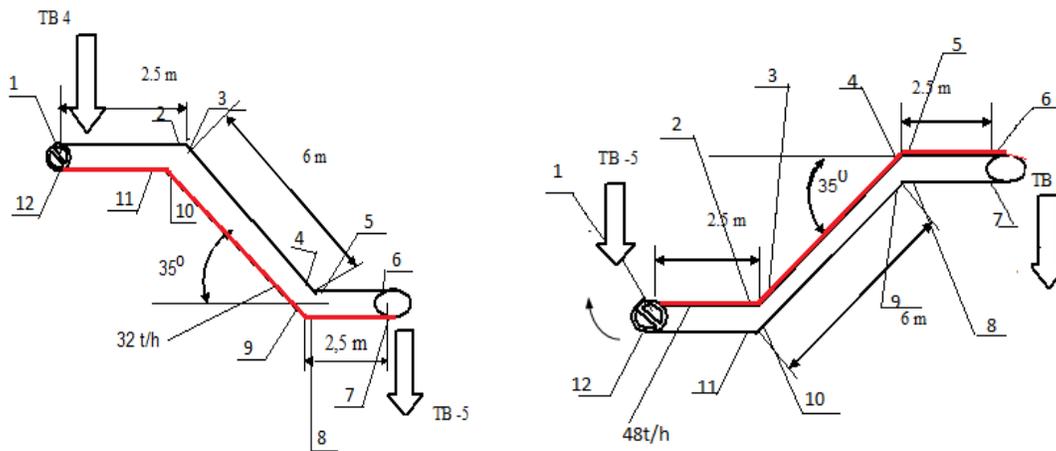


**Figura 2.4. Transportador de bagazo # 5.**

Este trasportador, como el TB-4 se encargan de alimentar las calderas, este en particular la C-5 y la C-8, por lo que como el anterior es casi imposible la sustitución por la banda.

### 2.2.5. Transportadores # 6 y # 7

Mostrados a continuación en la **Figura 2.5.** Uno de los aspectos más importantes a resaltar en estos transportadores se refiere en primer lugar a la complejidad de la traza y del funcionamiento de estos equipos.



B = 2 m    h = 0,076 m

**Transportador de bagazo # 6**

B = 2 m    h = 0,076 m

**Transportador de bagazo # 7**

**Figura 2.5. Transportador de bagazo # 6 y # 7.**

Presentan inclinaciones superiores a  $28^{\circ}$  en este caso  $35^{\circ}$  por lo que no es factible su cambio, además de que la disposición geográfica de otros equipos complica aún más el cambio.

### **2.2.6. Transportador de bagazo # 8 (rastrillos).**

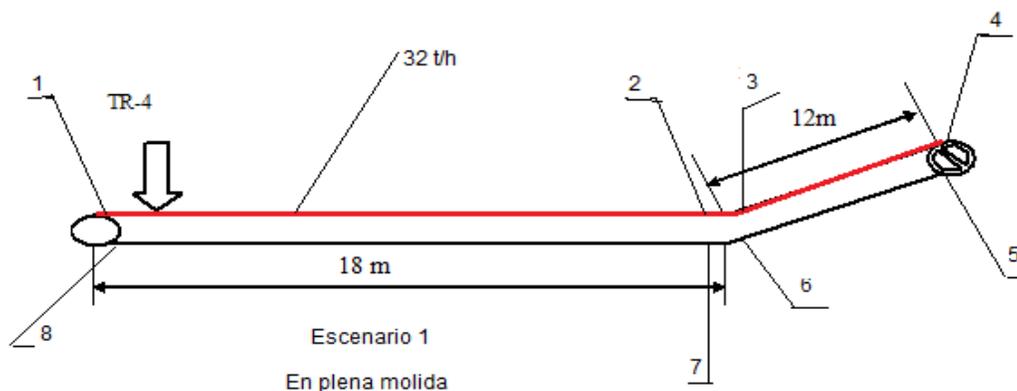
Tanto el conductor # 4 como el # 5 pueden transportar más bagazo que el necesario para las calderas, para ello las aberturas en los conductores mencionados dejan seguir al bagazo hasta este, el conductor # 8 en su parte superior, este a su vez lo descarga en el conductor # 9 que lo lleva a la casa de bagazo. Esta operación se lleva a cabo mediante la utilización de compuertas de cremallera ubicadas en el fondo de la canal de los transportadores. Cuando el ingenio no está moliendo, un cargador alimenta por su rama inferior al conductor de bagazo # 9, ubicado en la casa de bagazo, este lo traslada al conductor # 8 por su rama interior, que a su vez lo descarga en el conductor # 5.

La capacidad real del equipo es de 32 t/h en el escenario # 1. La capacidad potencial es de 82 t/h, el coeficiente de utilización técnica es de 40%, la potencia a consumir es de 9,7kW, muy por debajo de la instalada, que es de 30 kW. El índice de consumo es de 0,30 kW-h/t.

En el segundo escenario la capacidad real necesaria es de 48 t/h y la potencial sigue siendo 82 t/h, por lo que el CUT será de 58,82%. La potencia que se consume 20,3 kW, más cercana a la real instalada pero aún por debajo de esta. El índice de consumo es de 0,42 kW-h/t. (4)

Los dos escenarios se refieren a la posibilidad de que este conductor pueda llevar bagazo sobrante desde o hasta la casa de bagazo

Como se puede apreciar en la (figura 2.6.) solo se ha representado el escenario #1 presentado por (4) en el que traslada bagazo hacia la casa de bagazo. Este transportador tiene una longitud horizontal considerable y un ángulo de inclinación en el que se podría poner un transportador de banda más largo y con un ángulo menor como es lógico.



$$B = 2 \text{ m} \quad h = 0,076 \text{ m}$$

**Figura 2.6. Transportador de bagazo # 8**

### 2.3. Metodología de cálculo para transportadores de banda.

La metodología de cálculo para transportadores de banda requiere de una serie de datos iniciales que se van procesando a través de los pasos que se enumerarán a continuación.

#### 1. Datos iniciales.

- Capacidad en t/hora.
- Tipo y características del material.
- Geometría del conductor.
- Condiciones ambientales.

#### 2. Desarrollo del cálculo.

##### 2.3.1.-Pasos previos en el cálculo

###### 2.3.1.1. Selección del tipo de atesador y ubicación del mismo.

Esta selección se hará de acuerdo con la longitud del transportador. Pudiera tomarse como recomendación la siguiente tabla:

**Tabla 2.3.1. Selección del tipo de atesador.**

| Longitud del transportador | Tipo de atesador |
|----------------------------|------------------|
| Hasta 50 m                 | de tornillo      |
| Entre 50 y 100 m           | de contrapeso    |

|              |                         |
|--------------|-------------------------|
| más de 100 m | de contrapeso y carrito |
|--------------|-------------------------|

Los atesadores de tornillos se colocarán siempre conectados a la tambora de retorno. Los de contrapeso se colocan casi siempre a la salida de la tambora motriz, aunque pueden colocarse en otros puntos de la rama descargada o de retorno.

Los atesadores de contrapeso y carrito (que se emplean para transportadores largos) se montan en cualquier punto de la rama descargada.

### 2.3.1.2 Colocación de los bancos de rodillos de apoyo.

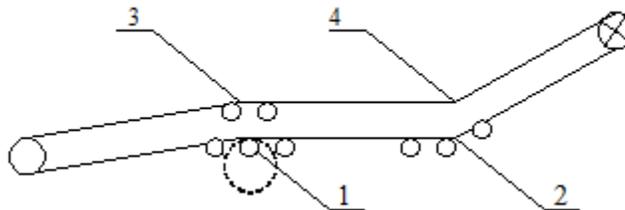
Esto puede verse en el esquema de la (figura 2.7.)

1-Bancos de rodillos.

2-Bancos de rodillos o tambora de desvío.

3. Bancos de rodillos.

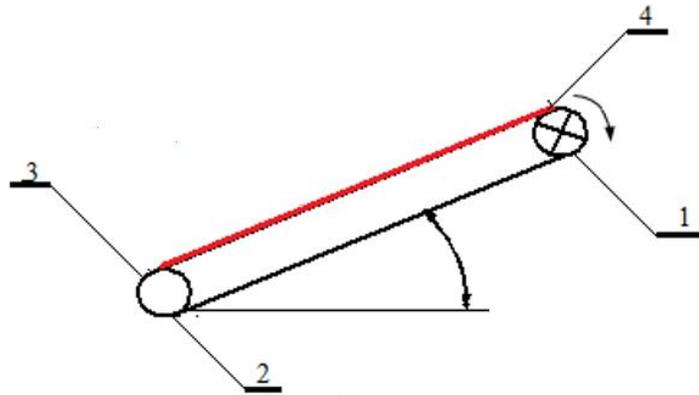
4.- Ningún elemento.



**Figura 2.7. Ubicación de los bancos de rodillos de apoyo.**

### 2.3.1.3 Definición del número de puntos en la traza.

Como se muestra en la (figura 2.8.) se comenzará con el punto número 1 a la salida de la tambora motriz. Se tendrá un nuevo punto cada vez que se termine un tramo recto o que la banda pase por un cambio de dirección o cualquier resistencia concentrada en general.



**Figura 2.8. Ejemplo de números de puntos en la traza en un transportador.**

### 2.3.2. Pasos en el cálculo.

#### 2.3.2.1. Propiedades del material.

Es muy posible que con la tarea técnica se reflejen las propiedades del material. En caso contrario debe procurarse obtenerlas a pie de obra. Si tampoco esto fuera posible pueden tomarse como referencia la Tabla 1 de (21).

- a) Grado de abrasividad.
- b) Densidad  $\rho$  en  $t/m^3$ .
- c) Angulo de reposo estático ( $\varphi$ ).
- d) Coeficiente de fricción estático ( $\mu_g$ ) entre el material y la goma.

#### 2.3.2.2. Comprobación de la posibilidad de transportación.

Debe cumplirse que  $\beta_{max.} > \beta_{mayor}$ , donde:

$$\beta_{max} = \left[ \text{arc tg } \mu_g \right] - (7 a 10^0)$$

Donde:

$\mu_g$  - coeficiente de fricción del material con la goma.

$\beta_{mayor}$  - mayor ángulo de inclinación a lo largo de la traza.

#### 2.3.2.3 Selección del tipo de rodillos superiores.

Si la capacidad volumétrica en  $m^3/hora$  es menor que 25 se tomarán rodillos planos para la rama superior; si sobrepasa este valor se recomienda emplear rodillos acanalados en dicha rama. En la rama inferior se emplearán siempre rodillos planos.

La capacidad volumétrica puede ser calculada como la capacidad en toneladas métricas por hora dividida por la densidad del material.

$$Q_v = \frac{Q}{\rho}$$

#### 2.3.2.4. Determinación del ancho de banda necesario.

$$B \geq \sqrt{\frac{Q}{576.C_1.\rho.V.tg(0,35\varphi)}} \text{ (para rodillos planos.)}$$

$$B \geq \sqrt{\frac{Q}{160.V.\rho [3,6.C_1.tg(0,35\varphi) + 1]}} \text{ (para rodillos acanalados o en artesa).}$$

Para las expresiones anteriores:

Q - Capacidad en t/hora.

V- Velocidad de transportación en m/s.

En la Tabla 12 de (21), se dan recomendaciones de la velocidad para distintos materiales, para lo que hay que asumir un ancho de banda. Siempre que sea posible se debe escoger el ancho de banda más estrecho para la máxima velocidad recomendada., que será a su vez, la velocidad más económica de funcionamiento.

$C_1$  - Puede tomarse el valor de 1 con una inclinación de la traza de hasta  $10^\circ$  y una disminución de 0,01 por cada grado que se incremente la inclinación de ahí en adelante.

$\varphi$  - Ángulo de talud estático que depende del material y fue determinado anteriormente (en grados).

#### 2.3.2.5. Normalizar el valor del ancho de banda.

En lugar de tomar las recomendaciones de los textos para normalizar el ancho de banda se puede solicitar una que sea igual o menor que el ancho del rastrillo actual con vistas a utilizar en lo posible la instalación de este equipo.

#### 2.3.2.6. Recalcular la velocidad por las expresiones siguientes:

$$V = \frac{Q}{576.B^2.C_1.\rho.tg(0,35\varphi)} \text{ (para rodillos planos.)}$$

$$V = \frac{Q}{160.B^2.\rho [3,6.C_1.tg(0,35\varphi + 1)]} \text{ (para rodillos acanalados.)}$$

Si se posee una banda en la empresa donde se desarrolla el proyecto se puede comenzar calculando la capacidad potencial ( $Q_p$ ) con su ancho y una determinada velocidad, asumida según las recomendaciones anteriores.

En este caso denominará capacidad real ( $Q_r$ ) a la que fijó el usuario en la tarea técnica.

La relación entre la capacidad real y la potencial se denomina coeficiente de utilización técnica (CUT), o sea

$$CUT = \frac{Q_r}{Q_p}$$

Para que el transportador desarrolle un trabajo adecuado en virtud de su capacidad este coeficiente debe rondar valores entre 0,85 (85 %) y 95 %.

Con valores del CUT por debajo del 85 % el transportador estaría subutilizado desde el punto de vista de su capacidad y con valores por encima del 95 % el transportador corre el riesgo de que el material se derramen en su funcionamiento.

#### **2.3.2.7 Selección de la banda.**

La banda puede ser seleccionada por un catálogo o bien aprovechar alguna que esté en almacén, aunque haya que realizar algunas adaptaciones en los cálculos, debido al alto costo de una banda.

En la banda son importantes su ancho (que ya se ha analizado), su peso lineal y su resistencia a la tracción.

Cuando se utilizan bandas que ya han sido empleadas deben tenerse en cuenta posibles disminuciones de su resistencia por envejecimiento de sus hilos interiores.

#### **2.3.2.8. Determinación de los pesos lineales.**

a) De la carga.

$$q = \frac{Q_r \cdot g}{3,6V}$$

donde:

q - peso lineal de la carga en N/m.

$Q_r$  - capacidad en tm/hora.

V- velocidad real en m/s.

b) De la banda.

$q_b$  - peso lineal de la banda en N/m. Este valor puede ser determinado pesando un metro de una banda real que se posee o consultando este valor en el catálogo. Debe tenerse en cuenta que el valor se exprese en N/m

c) De los rodillos superiores.

$$q_{rs} = \frac{G_{rs}}{L_{rs}} \quad \text{en N/m}$$

donde:

$G_{rs}$  - peso de una estación de rodillos en N, la referencia se puede tomar de la (24). En realidad, se tomarán valores mucho más bajos que los que aparecen en dicha tabla, siempre en la perspectiva de utilizar la instalación del transportador actual y teniendo en cuenta que este equipo posee un bastidor de un ancho muy elevado.

$L_{rs}$  - distancia entre dos estaciones de rodillos contiguas en metros, que puede buscarse por la Tabla9 de (21).

d) De los rodillos inferiores.

$$q_{ri} = \frac{G_{ri}}{L_{ri}} \quad \text{en N/m}$$

donde:

$L_{ri}$  - distancia entre dos estaciones de rodillos de apoyo en la rama inferior en metros. Puede tomarse el doble de  $L_{rs}$ .

$G_{ri}$  - peso de una estación de rodillos en la rama inferior cuya referencia puede localizarse por Tabla14 (21) selección del peso de estos rodillos conlleva un comentario similar al de los rodillos superiores.

### 2.3.2.9 Determinación de las resistencias.

a) Distribuidas

$$\Delta S_{i a i+1} = (\sum q_{des.} + q_f) L.W'.\cos \beta \pm q_{des}.L.\sen \beta$$

donde:

$\Delta S$  diferencia de tensiones entre los puntos inicial y final de un tramo recto.

$\Sigma q_{des}$  – sumatoria de los pesos por unidad de longitud de los elementos que se desplazan a lo largo del tramo. En la rama inferior será la banda y en la rama superior serán la banda más la carga.

$q_f$  – peso de las partes fijas (que no se desplazan) en el transportador y que influyen en el aumento de las tensiones. Este será el peso por unidad de longitud de los rodillos en cada rama.

$L$  - Longitud del tramo en metros.

$\beta$  - ángulo de inclinación del tramo en grados.

$W'$  - Factor de resistencia al movimiento, el cual aparece en (26).

Este factor de resistencia al movimiento se tomó con valores más elevados, teniendo en cuenta que las condiciones de trabajo son muy difíciles, con mucho polvo abrasivo y condiciones de lubricación inadecuadas.

b) Concentradas en las tamboras de retorno y de desvío.

$$S_{(i+1)} = S_i \cdot k$$

donde:

$S_{(i+1)}$  - Tensión a la salida de la tambora en Newton.

$S_i$  - tensión a la entrada de la tambora.

$k$  - Factor que depende del ángulo de contacto entre la tambora y la banda. Puede tomarse entre 1,05 y 1,10.

c) Concentradas en los bancos de rodillos.

$$S_{(i+1)} = e^{W' \cdot \Delta\beta} \cdot S_i$$

donde:

$W'$  - Factor de resistencia al movimiento en la rama de que se trate.

$\beta$  - Diferencia modular entre el ángulo de inclinación de las ramas de entrada y de salida al banco de rodillos en radianes.

### **2.3.2.10 Distribución de tensiones.**

Para realizar esta distribución se desarrollan los siguientes pasos:

- a) Se numeran los puntos desde 1 hasta n (1 a la salida, y n a la entrada de la tambora motriz).
- b) Se expresa  $S_1$  como un valor desconocido.
- c) Se establece un sistema de ecuaciones que relaciona a  $S_2$  con  $S_1$  a través de las resistencias distribuidas o concentradas que existan entre ellos y así para todos los puntos hasta llegar a  $S_n$ . Este paso arrojará un total de  $n-1$  ecuaciones.
- d) Se obtiene la enésima ecuación aplicando la relación de Euler a las tensiones a la entrada y a la salida de la tambora motriz:

$$S_n = S_1 \cdot e^{\mu \cdot \alpha}$$

donde:

$S_n$ : Tensión a la entrada de la tambora motriz en Newton.

$S_1$ : Tensión a la salida de la tambora motriz en Newton.

$\mu$  : Coeficiente de fricción entre la tambora y la banda.

$\alpha$  : Angulo de contacto entre la banda y la tambora en radianes.

El valor de  $e^{\mu \cdot \alpha}$  puede ser encontrado en Tabla 11 de (21) y se denomina coeficiente de tracción y se ha tomado para una tambora de acero con ambiente seco y polvoriento y un ángulo de contacto de  $180^\circ$ .

- e) Se comparan todos los valores de tensiones en la traza con el valor de 500 N, y si varios de ellos son menores, se tomará el menor de todos y se le asignará el valor de 500 N. A partir de allí se despejarán todos los demás valores recalculándolos en el sistema de ecuaciones establecido en el paso c).
- f) Determinación de la capacidad de tiraje.

Debe cumplirse que:  $S_n/S_i \leq e^{\mu \cdot \alpha}$

Todos los valores de esta ecuación y sus unidades respectivas han sido definidos anteriormente.

Si esta ecuación no se cumple, significa que el contacto entre la banda y la tambora no es capaz de transmitir el torque necesario. En este caso se recomienda aumentar el coeficiente de fricción lo cual puede lograrse recubriendo la tambora con goma, o bien aumentando el ángulo de contacto mediante la colocación de tensores a la salida de la tambora motriz. En caso de transportadores muy largos a veces es necesario colocar dos tamboras motrices y dos motores.

### 2.3.2.11. Determinación del tiraje efectivo y la potencia.

a) Tiraje efectivo. Se aplica la expresión

$$W_0 = S_n - S_1$$

donde:

$W_0$  es el tiraje efectivo en Newton, y  $S_n$  y  $S_1$  son las tensiones respectivas a la entrada y a la salida de la tambora motriz.

b) Potencia. Se determina por la siguiente expresión:

$$N = \frac{W_0 \cdot V \cdot k_s}{1000 \eta_t}$$

donde

N - Potencia mínima a seleccionar en el motor en kW.

$W_0$  - Tiraje efectivo en Newton.

V - Velocidad de transportación en m/s.

$k_s$  - Factor de sobrecarga del motor. Este factor se recomienda tomar entre 1,2 y 2.

$\eta_t$  - Eficiencia general de la transmisión.

### 2.3.2.12. Seleccionar el motor.

El motor puede ser elegido entre los que se posee en el almacén o solicitarse por catálogo, pero siempre debe cumplir que su potencia sea igual o algo mayor que la calculada en el paso anterior. En cualquier caso, se obtendrán los valores de  $N_s$ ,  $n_m$  y  $k_a$ , que significan respectivamente el valor de la potencia de chapa del motor, su velocidad angular en rev/min y el factor de arranque, que es la relación entre el torque de arranque y el torque nominal.

Es recomendable seleccionar dos o tres motores que cumplan la condición de potencia necesaria, pero que tengan velocidades angulares distintas.

### 2.3.2.13. Selección de la transmisión.

La selección de la transmisión consiste en determinar la relación total de transmisión con vistas a su distribución en los distintos pasos de la misma para los futuros cálculos de diseño. Esta selección se divide en los siguientes pasos:

a) Determinación de la velocidad angular de la tambora motriz. Se determina por la expresión:

$$n_{tm} = \frac{60000.V}{\pi.dtm}$$

donde:

$n_{tm}$ : Velocidad angular de la tambora motriz en rev/min.

V: Velocidad de transportación en m/s.

$dtm$ : Diámetro de la tambora motriz en mm.

b) Determinación de la relación total de transmisión ( $i_t$ ).

La relación total de transmisión, como ya se ha expresado, sirve como elemento primario en el cálculo de proyección de la transmisión. Puede ser calculada por la expresión:

$$i_t = \frac{n_m}{n_{tm}}$$

donde;

$n_m$  es la velocidad del motor, en rev/min.

$n_{tm}$  - es la velocidad angular de la tambora motriz, en rev/min

#### **2.3.2.14. Comprobación de la resistencia de la banda.**

a) Comprobación en funcionamiento.

Esta comprobación se desarrolla a través de la expresión:

$$S_{rot} \geq \frac{k.S_{max}}{B.k_u}$$

donde:

k - Factor de seguridad que depende del número de capas y que aparece en la tabla referido en el Excel, a partir de catálogos de bandas.

B - Ancho de la banda en cm.

$S_{rot}$  - Resistencia de la banda a la tracción en N/cm este valor aparece en los catálogos de las bandas. En algunos catálogos aparece la resistencia a la rotura en N/(cm\*capa).

ku: Factor de resistencia de la unión que se recomienda en el Excel a partir del catálogo de fabricantes de bandas.

Comprobación en el momento de arranque.

Esta comprobación se hace para evitar que la banda falle por el tironazo que le produce el motor en el momento de la arrancada. Consta de los siguientes pasos:

1) Determinación de la fuerza dinámica. Esta fuerza se determina por la expresión:

$$S_{din} = S_{imp} - W_o$$

donde:

S<sub>din</sub> - Fuerza dinámica sobre la banda en Newton.

S<sub>imp</sub> - Fuerza de impulso que le imprime el motor en la arrancada en Newton.

W<sub>o</sub> - Tiraje efectivo en Newton.

La fuerza de impulso puede ser calculada por la expresión:

$$S_{din} = \frac{1000 k_a \cdot N_s \cdot \eta_t}{V}$$

donde:

S<sub>imp</sub> y V se conocen, mientras k<sub>a</sub> es el factor de arranque del motor eléctrico que aparece en los catálogos de motores.

η<sub>t</sub>: Eficiencia total de la transmisión.

N<sub>s</sub>: Potencia de selección del motor en kW.

k<sub>m</sub>: Factor que depende del tipo de acoplamiento a emplear y que aparece en la (tabla 2.3.1.) que aparece a continuación:

**Tabla 2.3.1. Valores del factor de arranque**

| Tipo de acoplamiento | Valor de k <sub>m</sub> |
|----------------------|-------------------------|
| Flexible             | 1,3                     |
| Rígido               | 1,8 a 2                 |

2) Comprobación definitiva al arranque.

Debe cumplirse que:

$$\frac{B \cdot S_{rot} \cdot k_u}{S_{max} + S_{din}} \geq 1,5$$

donde los valores de  $i$ ,  $B$ ,  $S_{rot}$ ,  $k_u$  y  $S_{din}$  fueron tratados en la comprobación en funcionamiento

$S_{m\acute{a}x}$ : Tensión máxima sobre la banda en Newton.

## **Conclusiones parciales:**

- El sistema de transportación de bagazo en el central Uruguay puede considerarse complejo por sus características y tareas y solo se valorarán la posibilidad de sustitución de los transportadores rastrillos por banda en los que cumplan con las condiciones mínimas requeridas.
- Solo el transportador #1 puede ser sometido a una sustitución por uno de banda ya que es el único que cumple con las características para el cambio. No presenta dificultades en la traza, además que éste descarga al final del recorrido y no fracciona la carga además de que no presenta inclinación alguna.
- En la metodología de cálculo para transportadores de banda se establecen los pasos necesarios para toda la proyección de la sustitución que se propone el trabajo.

## **Capítulo 3. Análisis de la a sustitución del TR #1 por un transportador de banda.**

### **Introducción**

Después de un análisis de todos los transportadores de rastrillos y teniendo en cuenta la metodología de cálculo para transportadores de banda se procedió a montar dicha metodología en una hoja de cálculo Excel y utilizar este montaje para la sustitución del transportador de rastrillos # 1 por uno de banda.

### **3.1. Explicación de las características de la hoja de cálculo Excel.**

El sistema de cálculo se divide para su organización en bloques y estos a su vez en operaciones.

Los principales bloques son:

Entrada de datos.

1. Cálculo de la posibilidad de transportación.
2. Cálculo de velocidad del transportador.
3. Cálculo de la capacidad de transportación.
4. Cálculo de tensiones.
5. Cálculo de la potencia a instalar en el motor.

Antes del grupo de celdas para la entrada de datos aparecen las que le dan nombre a un bloque o una operación de cálculo. Se colocan en un fondo de color azul.

La entrada de datos puede hacerse toda de una vez al principio de la corrida o bien se pueden volcar progresivamente los datos en la hoja de cálculo a medida que se vayan necesitando. Los datos se colocan en celdas que se colorean en amarillo y cuando una de estas celdas se consulta aparece un valor numérico.

En muchas de las celdas de los datos de entrada aparecen comentarios que permiten al usuario tomar decisiones sobre los valores de determinadas variables de entrada. Entre estas decisiones puede estar la selección de determinados valores numéricos desde una tabla, un texto un gráfico o un catálogo, o bien asumidos en base a la experiencia del que proyecta.

Los cálculos primarios se colorean en verde, en ellos aparecen operaciones matemáticas en lugar de números y estas operaciones dan lugar a resultados primarios o intermedios, o sea, que no es un resultado definitivo que se le deba informar necesariamente al usuario.

Los cálculos definitivos o finales se pueden colocar en celdas de un color rojo. En esas celdas aparece también una operación matemática y el resultado numérico que aparece en ellos por lo general es de utilidad en su información para el usuario.

En las últimas celdas de un proceso de cálculo pueden aparecer condicionales que, de cumplirse, dar lugar a una u otra respuesta o condición.

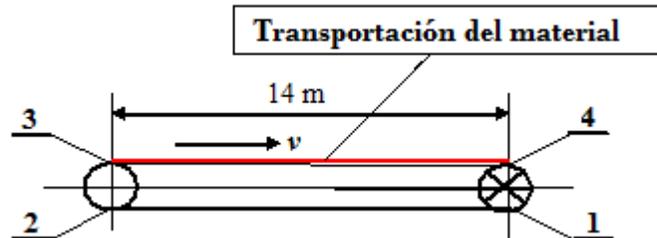
En los cálculos de proyección de un transportador se trabaja en columnas, cada una de las cuales representa un escenario en el proyecto. Una vez que se desarrolla la primera corrida y está llena la columna # 1 se analiza este escenario y en la 2da columna (2do

escenario) se establecen los cambios que permitan resolver las dificultades surgidas en el primer escenario.

Una vez que son satisfechas las recomendaciones del usuario se procede a hacer un breve informe técnico con los resultados.

### 3.2. Ejemplo de cálculo

A continuación, se muestra el ejemplo de la hoja de cálculo en Excel en la (figura 3.2.) y además del esquema del transportador de banda calculado en la (figura 3.1.)



**Figura 3.1. Esquema del transportador**

| Fila # | Clasificación de las columnas                           |        |        |        |
|--------|---|--------|--------|--------|
| 1      | A   | B      | C      | D      |
| 2      | Transportador de banda # 1 (horizontal)                 | Esc. 1 | Esc. 2 | Esc. 3 |
| 3      | Capacidad real deseada t/h                              | 107.00 | 107.00 | 0.00   |
| 4      | Bloque de comprob. de la posibilidad de transport.      |        |        |        |
| 5      | Material # 6. Nombre: Bagazo.                           |        |        |        |
| 6      | Densidad del material (t/m <sup>3</sup> )               | 0.16   | 0.16   | 0.16   |
| 7      | Capacidad volumétrica, en m <sup>3</sup> /h             | 669    | 669    | 0      |
| 8      | <u>Coeficiente de fricción del material con la goma</u> | 0.60   | 0.60   | 0.60   |
| 9      | Ángulo de inclinación máximo posible, en grados         | 20.96  | 20.96  | 20.96  |
| 10     | Angulo de inclin. real máximo en el trans. (grados)     | 0      | 0      | 0      |
| 11     | <u>Selección del motor</u>                              |        |        |        |
| 12     | Potencia del motor (seleccionado) en kW                 | 12.5   | 2.2    | 2.2    |
| 13     | Velocidad angular del motor en rev/min (n) a 50 Hz.     | -      | 940    | 940    |
| 14     | Velocidad angular del motor en rev/min (n) a 60 Hz.     | 1745   | 1128   | 1128   |
| 15     | Factor de arranque del motor (ka)                       | 2      | 2.1    | 2.1    |
| 16     | Bloque de cálculo de la velocidad lineal                |        |        |        |
| 17     | <u>Relación de transmisión del reductor</u>             | 31.5   | 25     | 25     |
| 18     | Diám. de la polea conductora (mm) (Escenarios 2 y 3)    | 18     | 300    | 300    |
| 19     | Diám. de la polea conducida (mm) (Escenarios 2 y 3)     | 60     | 400    | 400    |
| 20     | Relación de transmisión total                           | 105.00 | 33.33  | 33.33  |
| 21     | Velocidad angular de la tambora motriz (rev/min)        | 16.62  | 33.84  | 33.84  |
| 22     | Diámetro de la tambora motriz (mm)                      | 400    | 400    | 400    |
| 23     | Velocidad lineal de la banda (m/s)                      | 0.35   | 0.71   | 0.69   |
| 24     | Bloque de capacidad                                     |        |        |        |

|    |   |             |        |        |
|----|---|-------------|--------|--------|
| 25 | Tipo de banda   |             |        |        |
| 26 | Marca de la banda <u>ESBELT</u> , tipo de banda             | B07CF       |        |        |
| 27 | Propiedades de la banda                                     | S. M RA     |        |        |
| 28 | Tensión de rotura en la banda, en N/mm (=kN/m)              | 60          | 60     | 60     |
| 29 | Peso de la banda (kg/m) <sup>2</sup>                        | 1.1         | 1.1    | 1.1    |
| 30 | Ancho de la banda (m)                                       | 1.80        | 1.80   | 1.80   |
| 31 | Número de capas   | 1           | 1      | 1      |
| 32 | Tipo de atesador  | De tornillo |        |        |
| 33 | Longitud del transportador                                  | 14.00       | 14.00  | 14.00  |
| 34 | Densidad del material (t/m <sup>3</sup> )                   | 0.16        | 0.16   | 0.16   |
| 35 | Coefficiente de disminución por inclinación, C <sub>1</sub> | 1           | 1      | 1      |
| 36 | Angulo de talud estatico del material en grados             | 45          | 45     | 45     |
| 37 | Capacidad potencial del transportador (t/h)                 | 58.18       | 118.47 | 115.34 |
| 38 | Coefficiente de utilización técnica (CUT), en %.            | 183.91      | 90.32  | 0.00   |
| 39 | Tensiones   |             |        |        |
| 40 | Peso lineal de la banda en N/m                              | 19.42       | 19.42  | 19.42  |
| 41 | Peso de una estación de rodillos superiores (en kg)         | 6.6         | 6.6    | 6.6    |
| 42 | Peso de una estación de rodillos superiores en N            | 64.75       | 64.75  | 64.75  |
| 43 | Separación entre rodillos superiores en m                   | 1.1         | 1.1    | 1.1    |
| 44 | Peso lineal de rodillos superiores en N/m                   | 58.86       | 58.86  | 58.86  |
| 45 | Peso de un rodillo inferior (en kg)                         | 5           | 5      | 5      |
| 46 | Peso de un rodillo inferior en (N)                          | 49.05       | 49.05  | 49.05  |
| 47 | Separación entre rodillos inferiores en (m)                 | 3.3         | 3.3    | 3.3    |
| 48 | Peso lineal de rodillos inferiores en N/m                   | 15          | 15     | 15     |
| 49 | Peso lineal de la carga en N/m                              | 838         | 411    | 0      |
| 50 | Distancia entre los puntos 1 y 2 en m                       | 14          | 14     | 14     |
| 51 | Angulo de inclinación entre los puntos 1 y 2 (grados)       | 0           | 0      | 0      |
| 52 | Distancia entre los puntos 3 y 4 en m                       | 14          | 14     | 14     |
| 53 | Angulo de inclinación entre los puntos 3 y 4 (grados)       | 0           | 0      | 0      |
| 54 | Fact. de resist. al mov. rama inf.                          | 0.08        | 0.08   | 0.08   |
| 55 | Fact. de resist. al mov. rama sup.                          | 0.10        | 0.10   | 0.10   |
| 56 | Incremento de la resistencia entre puntos 1 y 2 (N)         | 38          | 38     | 38     |
| 57 | Incremento de la resistencia entre puntos 3 y 4 (N)         | 1282        | 686    | 110    |
| 58 | Factor de aumento de la tens. entre los puntos 2 y 3        | 1.10        | 1.10   | 1.10   |
| 59 | Coefficiente de tracción de tambora motriz                  | 2.56        | 2.56   | 2.56   |
| 60 | Fuerza sobre la banda en el punto 1 en N.                   | 907         | 499    | 104    |
| 61 | Fuerza sobre la banda en el punto 2 en N                    | 946         | 537    | 142    |
| 62 | Fuerza sobre la banda en el punto 3 en N                    | 1040        | 591    | 157    |
| 62 | Fuerza sobre la banda en el punto 4 en N                    | 2323        | 1276   | 266    |
| 64 | Fuerza máxima sobre la banda                                | 2323        | 1276   | 266    |
| 65 | Fuerza mínima   | 946         | 537    | 142    |

|    |   |         |        |         |
|----|---|---------|--------|---------|
| 66 | Tiraje efectivo (Wo) en N   | 1415    | 778    | 162     |
| 67 | Factor de sobrecarga  | 2       | 2      | 2       |
| 68 | Eficiencia total del sistema de transmisión                         | 0.85    | 0.85   | 0.85    |
| 69 | Potencia necesaria en kW  | 1.16    | 1.30   | 0.26    |
| 70 | Relación entre la pot.instalada y la calculada, en %.               | 1078.39 | 169.65 | 835.23  |
| 71 | Índice de consumo (kW-h/tonelada de material)                       | 0.01    | 0.01   | #DIV/0! |
| 72 |   |         |        |         |
| 73 | Comprobación de la banda  |         |        |         |
| 74 | a) En funcionamiento. Debe cumplirse que $S_{rot.ku.B} > k.S_{max}$ |         |        |         |
| 75 | Ku Factor que tiene en cuenta el tipo de empate.                    | 0.8     | 0.8    | 0.8     |
| 76 | K es el factor de seguridad de acuerdo al Nro de capas              | 6       | 6      | 6       |
| 77 | Carga de rotura de la banda kN/m metro de ancho.                    | 60      | 60     | 60      |
| 78 | Ancho de banda (m)  | 1.80    | 1.80   | 1.80    |
| 79 | Elemento que calcula la tracción q resiste la banda.                | 86400   | 86400  | 86400   |
| 80 | Fuerza máxima sobre la banda por factor de seguridad                | 13936   | 7657   | 1597    |
| 81 | Cumple la condición de resistencia SI o NO                          | SI      | SI     | SI      |
| 82 | b) En el arranque.  |         |        |         |
| 83 | Por ser acoplamiento flexible (km)                                  | 1.3     | 1.3    | 1.3     |
| 84 | Fuerza de impulso (Simp)  | 79369   | 7203   | 7399    |
| 85 | Fuerza dinámica (Sdin=Simp-Wo)                                      | 77954   | 6426   | 7236    |
| 86 | Fuerza máxima + fuerza dinámica                                     | 80276   | 7702   | 7503    |
| 87 | Ancho de banda por carga de rotura por factor de unión              | 86400   | 86400  | 86400   |
| 88 | Relación entre los términos anteriores (87/86)                      | 1.08    | 11.22  | 11.52   |
| 89 | Cumple la condición de resistencia SI o NO                          | NO      | SI     | SI      |

**Figura 3.2 Versión de la hoja de cálculo donde se realizó el trabajo.**

Notas:

- En esta versión no aparecen numerosas aclaraciones que se hicieron en la hoja Excel real, por lo que esta se ubicará como un anexo.
- Antes de la versión de la hoja de cálculo se ha colocado el esquema donde aparecen la tambora motriz y la de retorno, la rama inferior y la superior. En esta se ha colocado en rojo la presencia del bagazo en el transportador. Se han, además, la dirección de la velocidad de la banda y los puntos notables de tensión.

### 3.3. Explicación del enfoque en el proceso de cálculo, los resultados obtenidos en la primera corrida y las decisiones tomadas a partir de la misma.

Existe un grupo de datos de entrada (celdas amarillas) que no pueden ser variados. Tal es el caso de la capacidad necesaria de transportación, la traza (longitud e inclinación) y las propiedades del material. A este grupo de elementos se les denomina “invariantes”

del proyecto. En el caso de la traza, esta se puede variar cuando se sustituye un rastrillo por una banda, puede que se tome una longitud mayor buscando una posibilidad de trabajo con un menor ángulo, pero esto es solamente si el entorno del área lo permite.

En la columna A se señalan los nombres de todos los elementos utilizados en el cálculo. En la columna B se ubica el 1er escenario empleado, que se identifica porque se utilizan en los elementos básicos de la unidad motriz del transportador de rastrillo, con la finalidad de aprovecharlos si es posible. Ellos son el motor de 12,5 kW y 1745 rpm y la transmisión por cadenas con sprockets de 18 y 60 dientes respectivamente.

Se propone, además, utilizar un ancho de banda igual al del transportador de rastrillo (1,8 m), con lo cual puede aprovecharse la estructura del quipo actual.

En la celda B6 se ha calculado una capacidad volumétrica de 660 m<sup>3</sup>/h, mucho mayor que 25 m<sup>3</sup>/h, valor a partir del cual se recomienda la utilización de 3 rodillos de apoyo en la rama superior del transportador, por lo que se propone esa solución de montaje del equipo.

En la celda A22 se destaca una modificación importante y es que se monta una tambora de diámetro 400 mm, que sustituye a los dos sprockets motrices que impulsaban la cadena en el transportador de rastrillo.

Para este fin se seleccionó una banda del catálogo de la Esbelt, tipo B07CF, con ancho de 1,8 m, una tensión de rotura por ancho de banda de 60 kN/m, una capa interior y un peso de 1,1 kg/m<sup>2</sup>.

Es de señalar que en todos los casos en que seleccionó algún componente esto se llevó a cabo por los catálogos disponibles en la asignatura de transportadores de la UCLV. Si en el lugar donde se fuera a llevar a cabo el trabajo en un futuro no existieran estos sería necesario localizar los datos de los posibles proveedores.

En la celda B23 se muestra la velocidad lineal alcanzada con esta solución, que es de 0,35 m/s (muy baja para este tipo de transportadores).

El próximo elemento destacable en este escenario es que la capacidad potencial del transportador en estas condiciones (B35) es solo de 58,18 t/h, muy inferior a la capacidad necesaria y entonces el coeficiente de utilización técnica (CUT), que aparece en la celda B36, es de 183,91%, lo que indica que con esta propuesta el material se derrama del transportador.

En las celdas B69 y B70 se destaca que la potencia que es necesario instalar es solamente de 1,16 kW, o sea, que la potencia instalada es más de 10 veces mayor que la necesaria (1078,4 %).

En la celda B80 se demuestra que la banda resiste en funcionamiento.

La celda B87 informa un valor de 1,08, inferior al de 1,5 necesario y en la celda B88 se informa que la banda no resiste en el arranque y terminará fallando en un tiempo más o menos breve. Esto se debe a que se propuso dejar instalado un motor de mucha más potencia que el necesario y también se produciría una subutilización del motor instalado.

Por estos resultados se decide proponer un segundo escenario en la columna C, en el cual se sustituye el motor anterior por uno de 2,2 kW, con una velocidad a 50 Hz de 940 rpm (1128 rpm a 60 Hz) y también se propone sustituir el reductor anterior por uno más pequeño y con menos relación de transmisión (25), así como sustituir la transmisión por cadena por dos poleas de 300 y 400 mm de diámetro respectivamente.

Con estas modificaciones la velocidad lineal de la banda alcanza un valor de 0,71 m/s, aunque baja para este tipo de transportadores, más adecuada que la del escenario 1.

Mediante esta solución se calcula una capacidad potencial de 118,47 t/h, algo mayor que la deseada y con ello se alcanza un coeficiente de utilización técnica de 90,32%, valor óptimo si se tiene en cuenta que los valores recomendados en la literatura deben estar entre 85 y 95 % para lograr un buen aprovechamiento del ancho de banda y sin que se derrame el bagazo.

El valor de la potencia que es necesario instalar se elevó hasta 1,3 kW, un poco mayor que el del primer escenario, lo cual se debe a que se manipula igual cantidad de material, pero con una velocidad algo más elevada. Lo importante de este valor es que se acerca bastante al de la potencia instalada, con lo que se consigue un aprovechamiento mayor de las características del motor.

El índice de consumo en kW h/t de bagazo es de 0,01, en el trabajo de (4) este valor se calculó y fue de 0,1 kWh/t de bagazo, o sea, 10 veces mayor.

Esto indica que, en una zafra de 100 000 t de azúcar, con los rendimientos actuales de azúcar en caña se requerirán 1 000 000 t de caña y si el bagazo es el 30 % de la caña se manipulará en este transportador 300 000 t de bagazo.

Con los rastrillos actuales deben consumirse en este transportador, para una zafra de este tipo 30 000 kW-h, sin embargo, con la instalación de una banda se consumirían solamente 3000 kW-h, o sea, que el ahorro neto de consumo de energía en una zafra, solamente por concepto de este transportador será de 27 000 kW-h.

La banda resiste ampliamente en funcionamiento, como se demuestra en las celdas C78 y C79.

Un resultado importante es que con la disminución sustancial de la potencia instalada la banda resiste ampliamente en el arranque (Celdas C87 y C88).

Una vez cumplidos en el escenario 2 todos los requerimientos planteados por el usuario se montan en la columna D, un escenario en que la capacidad de transportación es cero. Esto se hace para simular el trabajo del transportador en vacío. Es lógico que todos los valores de capacidad muestren un grado de subutilización elevado pero lo más importante es que de esta forma se demuestra que el transportador en vacío requiere de un determinado valor de energía para moverse, pero mucho menor que el consumo en régimen de trabajo (0,26 contra 1,30 kW), o sea, aproximadamente un 20 %. En el trabajo

de (4) se demostró que, para este transportador, trabajando con rastrillos era de más de un 30 %.

## **Conclusiones parciales:**

- El montaje de la metodología de bandas en hojas de cálculo Excel agiliza el trabajo y permite tener en cuenta todas variantes necesarias de una forma precisa y rápida.
- En el primer escenario se pretendió aprovechar varios elementos de la instalación actual, pero en algunos casos esto no fue posible, debido a que el comportamiento tecnológico y energético de los rastrillos y la banda es muy diferente.
- Mediante el Excel se demuestra que existen resultados muy ventajosos con la instalación de la banda.

## Conclusiones generales.

- El sistema actual de transportación de bagazo en el central Uruguay es bastante complejo, tanto por el número de equipos que lo componen como por la complejidad de las trazas, pero, sobre todo, por el elevado valor de la potencia instalada en el mismo que es muy cercana a los 350 kW. Téngase en cuenta que la longitud total del sistema es de cientos de metros, lo cual conlleva el cuádruplo de longitud de cadena y un elevado número de eslabones, cada uno de los cuales es un punto de fricción y desgaste.
- En la metodología de cálculo de transportadores de banda que se emplea en este trabajo se tiene en cuenta la capacidad de transportación deseada y las características de la traza, del material a transportar y del perfil geométrico de los rodillos superiores, en este caso con 3 rodillos, así como de la potencia necesaria a instalar. La utilidad del montaje del cálculo en hojas Excel se demuestra mediante la posible articulación de diversos escenarios que se plantean solamente cambiando algunos de los datos de entrada en las celdas de fondo amarillo e inmediatamente cambian los resultados que se obtienen y se pueden llevar a cabo nuevas valoraciones.
- En el caso de la sustitución de transportadores de rastrillos por bandas se requiere de un análisis muy complejo en cada caso, ya que existen ángulos de transportación muy elevados. En principio es totalmente factible de sustituir el transportador # 1 y, a pesar de ser un equipo de consumo relativamente bajo, el índice de consumo por tonelada de bagazo transportado disminuye en 10 veces con la sustitución.

## **Recomendaciones**

- Ampliar este análisis al resto de los equipos del ingenio, teniendo en cuenta que pueden existir soluciones algo complejas en algún caso pero que esta es la tendencia actual en el mundo por el bajo índice de consumo que presenta la banda en comparación con el rastrillo.
- Extender este análisis a todos los centrales donde sea posible pues el mismo ya está fundamentado y con ayuda de las hojas de cálculo Excel el mismo se hace totalmente factible.

## Bibliografía

1. **Periódico Vanguardia.** *Vanguardia.* 29 de mayo de 2017.
2. **Cuba, Banco Central de.** *Informacion Economica.* La Habana,Cuba : s.n., 2019.
3. **Fleites, Irma Teoslia Mesa.** *Análisis del consumo de energía en el proceso de molida de la caña de azúcar.* Santa Clara,Cuba : s.n., 2017.
4. **Borroto, Ioris Leidy.** *Análisis del sistema de transportación de bagazo en el central Uruguay”.* Santa Clara : s.n., 2016.
5. *Estudio de parámetros de diseño y operación en transportadores de bagazo.* **René Mateo Reyes-Pérez Eusebio Pérez-Castellanos, Enrique Rodríguez-Gallardo.** No.1, Holguín : s.n., enero-marzo de 2019, Ciencias Holguín, Vol. 25.
6. **Hanserth, Abreu Elizundia, Meilyn González Cortés, Odlanier Rico Ramírez, Marlén Morales Zamoray RubénEspino.** *EVALUACIÓN DE ESQUEMAS DE COGENERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.* s.l. : Centroazucar, 2016.
7. **Oro, José R.** ¿“Falta de recursos” naturales en Cuba? (II). *Cubadebate.* 2019.
8. **Martínez, Bárbara Hernández.** *Bioeléctricas proyecto líder de la eficiencia energética con biomasa.* La Habana,Cuba : Azcuba, 2018.
9. **Juan José Sánchez Jiménez, Alexis Martínez del Sol,Jose Salvador Beltrán LeónMariano David Zequera Izquierdo.** *Costo de la energía eléctrica obtenida por cogeneración en centrales azucareros.Parte I.* 2016.
10. **Gerente, Federico Ramirez.** *Cogeneracion en la Industria Azucarera.* Honduras : s.n., 2016.
11. **León, Ana Lorena.** *Cogeneración eléctrica en la azucarera el Viejo S.A.* 2017.
12. **Abreu, Jose E Sánchez.** *La industria azucarera importante fuente para la generación de electricidad en Cuba.* Ciudad de La Habana, Cuba : s.n., 2018.
13. **Delgado, Deuel.** *Diseño de las cadenas de tracción del transportador de rastrillos para el acarreo de mineral laterítico reducido.* s.l. : Ciencia & Futuro, 2014.
14. **Oriol Guerra, José M.** *Conferencia de Máquinas Transportadoras.* La Habana : Pueblo y educación, 1988.
15. **Oriol Guerra, Jose Miguel.** *Máquinas de transporte continuo Tomo I.* La Habana : Pueblo y Educación, 1988.

16. **Martínez, J.** *Apuntes sobre la teoría y cálculo de los transportadores de rastrillos.* Bogotá : s.n., 1995.
17. **González, Enrique Suárez.** *Propuesta de sustitución de los rastrillos de los transportadores de bagazo de la Industria Azucarera.* Santa Clara : s.n., 2014. Tesis.
18. **Duménigo, Michel Machado.** *Diagnóstico de los sistemas de transportación de sólidos en los CAI Heriberto Duquesne, Carlos Baliño, José María Pérez y Héctor Rodríguez de la provincia de Villa Clara.* Santa Clara : s.n., 2009. Tesis.
19. **Camacho Brausendorff, F. J.** *Diseño de un sistema de transportacion de bagzo de caña de azucar mediante transportadores de banda para una planta de cogeneracion de energía.* Guayaquil, Ecuador : Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral., 2007.
20. **Valdes, Alfredo Curbelo Alonso- Bárbara Garea Moreda- Antonio.** *Generacion de electricidad a partir del bagazo en Cuba.* División de Industria y Energía Agencia de Ciencia y Tecnología. 2017.
21. **Oriol Guerra, Jose M.** *Conferencias de Maquinas Trasnportadoras.* La Habana : Félix Varela, 1993.
22. **CEMA, Conveyors Equipment Manufacturing, Association.** USA : s.n., 2000.