

Zafra IV. La recepción y preparación de la caña

Jorge T. Lodos Fernández*, Eduardo Casanova Cabeza

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)

Vía Blanca No. 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón. La Habana, Cuba.

* jorgetomaslodos@gmail.com

RESUMEN

Introducción. Se discute la influencia de la preparación de la caña sobre su calidad.

Objetivo. Definir cómo recibir, conducir y preparar la caña para facilitar la extracción de jugo.

Conclusiones. Hay que garantizar un suministro estable y una administración adecuada en la descarga en la fábrica. Preferir el conductor de banda sobre el de tablillas, excepto si el espacio o la elevación lo impiden. Medir densidad a granel, ángulo de reposo e índice de preparación de cada material y ajustar inclinación de conductor para evitar derrames o resbalamientos. Las cuchillas mejoran capacidad, pero la rotación invertida y la desfibradora mejoran también su extracción. Vincular conductores a molinos. Atender limpieza, engrase y reposición de partes. Las cuchillas mejoran molida pero las de rotación invertida y la desfibradora mejoran también extracción.

Palabras clave. Basculador, conductores, cuchillas, desfibradora.

ABSTRACT

Introduction. Influence of sugarcane preparation on its quality is discussed.

Objective. Define how to receive, convey and prepare sugarcane to facilitate juice extraction.

Conclusions. Steady and FIFO sugarcane supply have to be guarantee. Belt conveyor has the priority over apron slat ones, except when space or elevation does not allow it. Bulk density, rest angle and preparation Index of each material have to be measure and conveyor slope has to be adjusted to it to dismiss outflow and slide. Conveyor width and speed have to be related to mill ones. Knives improved mill capacity but reverse rotation knives and shredder improve also juice extraction. Link conveyors to mill. Check cleanest, lubrication and spare replacement. Knives improve milling rate but reverse knives and shredders improve additionally extraction.

Keywords. Tipper, carriers, knives, shredder.

INTRODUCCIÓN

En artículos anteriores se discutió la caña, su cosecha y su entrega a la fábrica de azúcar (1 – 3). Ahora le corresponde analizar su recepción y preparación, ya convertida en materia prima y en lo adelante, solo la actividad industrial podrá influir sobre su calidad y la de su jugo (4, 5). Los viradores de vehículos alimentan un basculador, donde la caña cae a un conductor receptor con un nivelador de altura que da forma a un colchón. Un conductor - elevador lo hace pasar por varios juegos de cuchillas y, eventualmente, por una desfibradora, que separan y pican sus haces, reducen la altura del colchón y facilitan su molida. El último conductor transporta el colchón de caña picada, y/o desfibrada y uniforme al área de extracción, previo a la cual se instala un separador magnético de materiales ferrosos. El objetivo de este trabajo es discutir, fundamentalmente, la experiencia y los

resultados del Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) y del Instituto Cubano de Investigaciones Azucarera, durante los años 1965 y 2020.

El basculador

Los viradores de vehículos alimentan el basculador, donde se inclinan y vacían. El objetivo del área es recibir la caña ya pesada y uniformar su altura. El largo del conductor dependerá de la capacidad de la fábrica de azúcar y del número de basculadores y viradores que tengan acoplados. Su ancho, y el de los conductores que le siguen, se asocian al de los molinos y se mantiene en toda su extensión. Este conductor tiene una importante misión, recibe caña con tierra, piedras, pedazos de metal y algo de jugo ácido (figura 1). En el área no se varía ni la composición, ni la frescura, la caña no se limpia y su tiempo de residencia es inferior a una hora. Realmente, algo pudiera limpiarse pues parte de sus impurezas, pueden atravesar hendiduras que existen y acumularse debajo del basculador, que deben extraerse sistemáticamente, porque la humedad y el calor facilitan la fermentación y generan de calor y olor desagradables. Es posible intentar sellar las hendiduras y dejar que las impurezas lleguen hasta las cuchillas y el tándem. Se recomienda realizar una limpieza intermitente del conductor con aire o vapor de escape, que lo desinfecta y puede remover impurezas atrapadas.



Figura 1. El basculador.

La caña debe descargarse con una secuencia que mantenga una alimentación estable y adecuada. Se ha evaluado bascular caña entera, que reduce la capacidad del transporte y la calidad del jugo, pero facilita el corte y produce más bagazo. También se ha quemado la caña entera en el propio basculador para disminuir su contenido de materia extraña. En ambos casos con resultados desfavorables (6, 7).

En muchas fábricas se muestrea la caña con alzadoras, para medir la cantidad y composición de la materia extraña, pero no la frescura, que puede estar afectada por la espera del vehículo, no es atribuible al cañero (8, 9).

El nivelador (gallego) es un dispositivo con aspas, que rota entre 40 y 50 revoluciones por minuto (rpm) en dirección contraria al flujo de caña. Su función es regular la altura y se sitúa a la salida del basculador, a más de 50 cm sobre el colchón de cañas desordenadas, según el ancho del conductor y la molida lo requieran. Su consumo de energía es bajo, (1.2 a 1.5 kilowatt hora por tonelada de caña). La nivelación se facilita si la caña es de cosecha mecanizada y con poca materia extraña. Posterior al nivelador, en el camino hasta los molinos, la caña se prepara con cuchillas que rompen su estructura fibrosa, favorecen la extracción del jugo que contiene y elevan la capacidad de molida.

Los conductores de caña

El objetivo de los conductores es llevar materiales sólidos de un sitio a otro, con el menor costo, derrame, mantenimiento y consumo energético. Dentro de la fábrica de azúcar existen conductores que reciben y mueven la caña a los equipos de preparación y al tándem, el bagazo a las calderas, la cachaza a los filtros y el azúcar al almacén y que serán tema para próximos artículos.

Como regla, el material que se transporta no modifica sus características, aunque puede variar su cantidad si se derramara. Existen dos tipos básicos de conductores para la caña, los de tablillas, movidos por cadenas; y los de banda, movidos por rodillos. Las dimensiones y la velocidad del conductor tienen que ver con su capacidad de transportación y elevación sin que se derrame o resbale el material. Esto depende del ángulo de reposo o contacto de cada material a granel. Si el ancho del conductor, para una altura dada del material, es inferior al ángulo de reposo, el material se derrama por sus bordes. Si el ángulo de elevación supera al ángulo de reposo, el material resbala y no se transporta (figura 2). Es importante conocer esto para la caña cosechada y preparada. Se considera que un valor inferior a 25° dificulta evitar el derrame y el resbalamiento, y uno superior a 40° los evita; valores que deben tenerse en cuenta para la caña cosechada y preparada.



Figura 2. Los ángulos de reposo y del conductor.

Los conductores se operan como si el material tuviera un ángulo de reposo inferior al real, pues la densidad a granel depende de la altura de la pila, que incrementa la densidad en la base, la forma y distribución de las partículas y el material del conductor (metal, goma, madera, rugosidad, etc.), cuyo coeficiente de fricción varía entre 0.20 para madera y 0.70 para goma y acero (10), y afecta el ángulo de reposo entre 3° y 5° (11). Aunque el ángulo de reposo de la caña es de 40° a 45° (12), en la práctica no supera los 22° . El largo de un conductor que alimente por gravedad a una desfibradora, desmenuzadora o primer molino, situado a 7 metros de altura, debe ser de 20 metros. Si se reduce el ángulo, el conductor se alarga innecesariamente. En el caso de la caña preparada, el ángulo puede llegar a 36° . Si se incorporan barreras laterales que impidan el derrame y segmentos que limiten el resbalamiento, el ángulo puede llegar a ser de 45° , mientras no complique la alimentación de las cuchillas (figura 3).

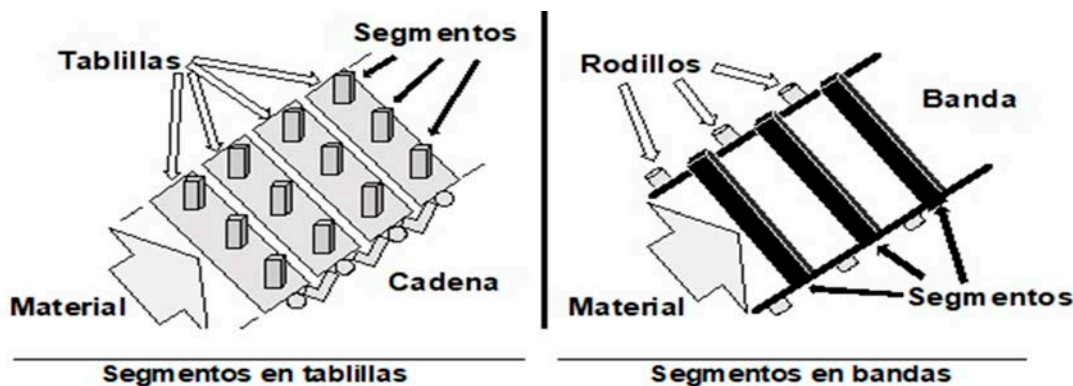


Figura 3. Conductores con segmentos.

El ancho de los conductores de caña está asociado al de los molinos del tándem y se mantiene en toda su extensión. Si fuera mayor, aparecería un embudo para reducirlo, que incrementaría la densidad en el extremo del colchón y dificultaría la uniformidad de la alimentación. Si fuera inferior, se produciría lo contrario, aunque en menor magnitud.

La velocidad tiene un amplio rango de variación, aunque lo usual es asociarla a la velocidad periférica de los molinos; lo más común, es que sea el 50 % o entre 6 y 10 m/min. El volumen y la altura de la caña en el conductor dependerán también de su densidad a granel, vinculada a la cosecha; varía desde 150 kg/m³, si es larga, de corte manual y colocada sin orden en el vehículo, hasta 400 kg/m³, si se cortó mecánicamente, en trozos y con poca materia extraña. Ya preparada, la densidad a granel de la caña puede llegar a 450 kg/m³ (tabla 1).

Tabla 1. Densidad a granel ilustrativa de la caña (estimados propios)

Caña	Densidad a granel, kg/m ³
Caña entera	~ 100
Corte manual con caña alzada desordenada	~ 150
Corte manual con caña alzada ordenada	~ 200
Corte mecanizado (trozos de 25 cm y 5 % de Me)	~ 400
Corte mecanizado (trozos de 30 cm y 5 % de Me)	~ 360
Corte mecanizado (trozos de 30 cm y 10 % de Me)	~ 320
Caña picada	~ 350
Caña desfibrada	~ 450
Caña preparada	350 a 450

Me: materia extraña

La capacidad del conductor puede ser calculada por el volumen transportado en el tiempo y depende de sus dimensiones, ángulo de reposo, densidad a granel del material y, sobre todo, de la capacidad del tándem. Como regla, todos los conductores están interconectados y arrancan o paran simultáneamente. Deben cumplirse algunas reglas generales, como mantenerlos engrasados, limpios y vigilar su velocidad para evitar atoros y derrames cuando alimentan o son alimentados por los equipos.

¿Por qué utilizar conductores de caña de tablillas?

Los conductores de caña de tablillas aunque son costosos de instalar y mantener, se utilizan donde el espacio físico o la elevación impiden el uso de los conductores de bandas (figura 4).



Figura 4. Conductor de tablillas.

Las principales diferencias entre los conductores de tablillas están en la selección del tipo y material de la cadena y tablillas. Las tablillas más comunes son las de acero, atornilladas a las cadenas, que se superponen y, por lo tanto, son ligeramente más anchas que el paso de la cadena. Deben ser de menos de 6 mm de espesor; para que, si se producen atoros, sean los fusibles y eviten que la cadena o sus soportes se rompan. La velocidad de la cadena es de 0.4 a 0.7 m/s y los conductores pueden inclinarse más de 35°, sobre todo si tienen segmentos para retener la caña.

Las cadenas más ampliamente utilizadas son las de 150 mm de paso, con los rodillos necesarios para reducir la fricción, debido a que las cargas son elevadas y los conductores son relativamente largos. Los rodillos pueden ser de acero o de polietileno de alta densidad, que se deslizan fácilmente sobre los rieles y reducen el desgaste y mantenimiento. El retorno del conductor, que cuelga debajo, es apoyado sobre rodillos tensores. Se emplean dos tipos de cadenas, las de rodillo estándar y las de eslabón. Frecuentemente, la cadena accede al jugo de la caña que es corrosivo y sus componentes (pines, bujes y rodillos) están sujetos al desgaste. Es conveniente construirlos de acero resistente a la corrosión, con pretratamiento térmico para incrementar su dureza y reducir el desgaste. La potencia en kW incluye vencer la fricción P_1 , mover el material P_2 y elevarlo P_3 . Para calcularla se necesita conocer peso el Q (kg/m), la longitud L (m) y la velocidad v (m/s) del conductor, el flujo del material ϕ (kg/s), el coeficiente de fricción μ , asumido entre 0.30 y 0.35, y la constante de gravedad g (9.81). Es usual asumir una eficiencia del 85 % y una sobrecarga del 20 % para arranque y posibles atoros P_t .

$$P_1 = (g \times Q \times v \times 2L \times \mu) / 1000, P_2 = (g \times \phi \times L \times \mu) / 1000, P_3 = (g \times \phi \times h) / 1000, P_t = 1.4 (P_1 + P_2 + P_3)$$

Se ha propuesto una formula simplificada: P en kW $\approx (3L + M) / 13$, donde M es la molida en t/h (13).

Lo más importante en la operación de los conductores de tablillas, además de garantizar su engrase, velocidad y limpieza, es la revisión periódica de sus componentes con la sustitución de lo roto o desgastado, impedir derrames y obstrucciones y mantener los ajustes y la tensión adecuados.

¿Por qué utilizar conductores de caña de banda?

Los conductores de caña de banda son menos costosos de instalar y mantener que los de tablillas, y los han sustituido en muchas aplicaciones (figura 5). Solo a veces, por el espacio disponible, la altura a la que hay que elevar la caña o porque la banda se dañe con más facilidad o sea más difícil de prever, se prefieren los de tablillas.



Figura 5. Conductor de banda.

Las ventajas del conductor de banda sobre el de tablillas son:

1. Menor costo inicial y de mantenimiento

2. Menor consumo de potencia
3. Más compactos y con menor peso, por lo que se pueden mover con más facilidad para su mantenimiento, reparación y sustitución

Las desventajas son:

1. Los materiales húmedos resbalan con más facilidad
2. La reparación requiere recursos especializados (p.ej. para el empalme)
3. El mantener bandas de repuesto puede ser costoso
4. El tiempo de vida es de 6 zafras

Las bandas se confeccionan con varias capas de caucho, algodón o fibra sintética, pegadas entre sí. Deben resistir la fricción del material sin crear polvillo que lo contamine. Lo usual es que sus capas, superior e inferior, sean iguales para invertirlas y reusarlas cuando haya ocurrido desgaste.

Los rodillos de los conductores que reciben la caña en el basculador deben estar más cercanos por su peso y, lo usual, es utilizar conductores de tablillas en esta área. En la caña preparada, la velocidad puede llegar a 2.0 m/s y el ángulo de los rodillos a 45°, lo que influye sobre la planaridad de la banda. La inclinación no debe superar los 22°, o 32°, si tiene segmentos. Su ancho es el de los molinos, está entre 500 y 1500 mm, y su velocidad en alrededor de 1 m/s. Un conductor corto puede utilizar tensores de tornillo y, si es más largo, de pesos, para ajustarse a variaciones de las dimensiones por temperatura, estiramiento o empalmes. La banda empalmada dura más que la unida con presillas, pues estas dificultan el uso de accesorios. Los empalmes deben separarse no menos de 2 anchos de banda.

La potencia instalada es de 0.35 a 0.50 kilowatt hora por tonelada de caña (kWh/t). Comprende mover horizontalmente la banda con carga (P_1), operarla con más accesorios (P_2), elevar o descender la caña (P_3), enfrenar picos (x 1.5) y vencer ineficiencias (x 1.2). Aunque el cálculo exacto es complejo, los siguientes valores son adecuados.

$$P_1 = g \times \mu \times v \times (L + 60) \times (Q + \phi/v) / 1000, P_2 = \eta \times ancho \times N \text{ y } P_3 = g \times \phi \times h / 1000$$

donde h = elevación en m, 60 = longitud para una fricción dada en m y η = resistencia adicional por accesorios (0.003)

$$P_{total} = P_t = P_1 + P_2 + P_3 \text{ y } P_{instalada} = P = 1.5 \times 1.2 \times P_t = 1.8 P_t$$

Tabla 2. Relación entre el ancho de un conductor de banda y su peso (13)

Ancho, mm	600	750	900	1200	1500	1800
ϕ, kg/m	32	42	57	90	128	182

Existen también conductores de banda tapados, con cortina de aire incorporada, que sustituyen los rodillos por una corriente de aire que pasa a través de una banda perforada y crea un colchón en el que casi flota el material. Se reduce la fricción con la banda y se ayuda el movimiento. Tienen las siguientes ventajas: reduce el costo de mantenimiento (no tiene rodillos), una operación más fluida y una mayor vida útil de la banda. Las desventajas son: mayor costo de montaje e incremento significativo de la potencia instalada y consumida por la presencia de ventiladores y por el arranque del conductor cargado.

¿Por qué hay que preparar a la caña con cuchillas?

La preparación de la caña con cuchillas garantiza, al área de extracción, un abastecimiento estable de un colchón de altura prefijada con mayor densidad y con la mayor cantidad de las celdas

que contiene el jugo rotas, que constituye el elemento a controlar. En esta área no se varía ni la composición, ni la frescura de la caña, pues no se limpia adicionalmente y su tiempo de residencia es inferior a una hora.

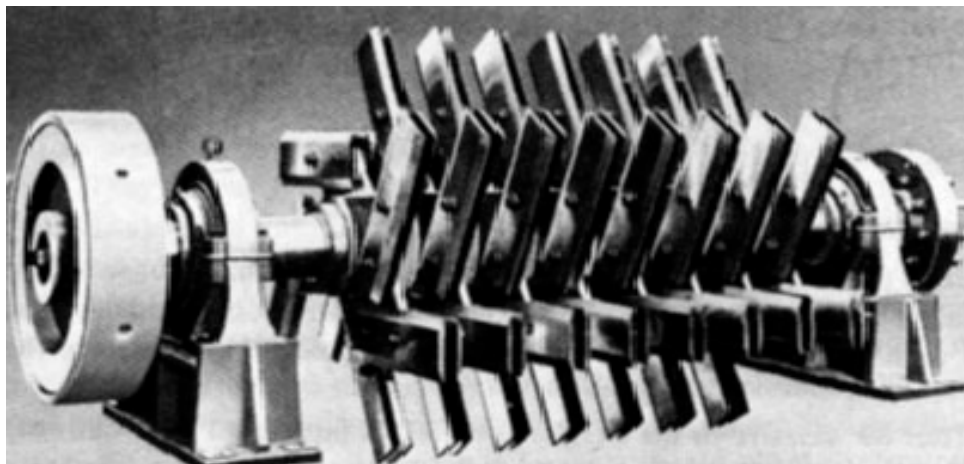


Figura 6. Juego de cuchillas.

El colchón de caña nivelado entre 50 y 100 cm de altura, se prepara con uno o dos juegos de cuchillas situados sobre un eje que rota en la misma dirección que el movimiento de la caña. Su número depende del ancho del conductor. Se alternan cada 5 cm y sus hileras se separan a 60°. Se fabrican de acero endurecido. Se usan por ambos lados y se ranuran en su centro para que se puedan correr cuando se desgasten. Se le colocan insertos de metales duros, según la incidencia de rocas o pedazos de metal.

Durante la preparación, los trozos de caña se convierten en astillas, formadas por haces de fibras, se duplica su densidad a granel al pasar por el primer juego, y crece un 10 % al pasar por el segundo, hasta llegar a 350 kg/m³. Se rompen las paredes de las celdas que contienen el jugo, lo que facilita su extracción y se reduce la altura del colchón de caña. También se facilita la molienda, por lo que, si se desea incrementar la capacidad, esta es un área inicial para el análisis. Se considera que el primer juego eleva la molienda alrededor del 15 %, y el segundo, le añade un 5 %. La preparación lograda se mide por el IP (Índice de preparación de la caña) o porcentaje de Pol extraído por lavado de la caña preparada.

Las cuchillas pican la caña con hojas que adoptan diversas curvaturas y filos como dientes de sierra para facilitar el picado. El primer juego reduce la altura del colchón de 50 cm a 100 cm, a menos de 30 cm, el segundo la reduce a 10 cm o menos. Como las cuchillas no tocan el conductor, siempre habrá alguna caña sin picar. Las cuchillas rotan entre 400 y 700 rpm. Mientras mayor sea la velocidad, mayor será el riesgo de rotura y de desbalance; además, el pedazo partido continúa junto a la caña y puede afectar algunos equipos. La primera cuchilla es la que se enfrenta con las piedras y pedazos de piezas y, de cierta manera, protege al resto de los equipos.

La cuchilla consume casi el doble de la energía del nivelador, sobre todo si la caña es de corte manual (trozos largos), Si solo recibe caña de corte mecanizado (trozos de 25 cm a 30 cm), puede reducir a menos de la mitad la potencia, o hasta eliminar las cuchillas, si tiene una buena desfibradora. El segundo juego de cuchillas consume potencia y rota un 10 % más que el primero. El consumo de potencia depende también del porcentaje de fibra de la caña y del número, tipo y velocidad de las cuchillas y puede llegar entre 2.5 y 3.0 kilowatt hora por tonelada de caña (kWh/t). Puede representar más del 25 % de la demanda total de potencia de la fábrica de azúcar. Con dos juegos de cuchillas de rotación normal se alcanza un Índice de preparación entre el 60 y el 70 %. Instalar un

tercer juego de cuchillas es innecesario, pues solo eleva la molienda en un 2 %, mientras que consume un 40 % de potencia adicional.

En la Unidad Experimental Pablo Noriega se obtuvo un diseño de cuchillas con rotación invertida para la preparación de la caña, que logró resultados similares a los de las desfibradoras pesadas, con un 10 % del costo y de consumo de energía y con Índices de preparación hasta de 92 % (14).

Lo importante en su operación es que estén lubricadas y protegidas eléctricamente para sobrecargas por atoros, mantenerlas con el filo apropiado y balanceadas, sin vibrar y sin derrames de caña y, si se atorán frecuentemente, reducir la altura del nivelador en el basculador que controla la caña. En todos los casos, la presencia de tierra es muy perjudicial e incrementa el mantenimiento.

En algunas fábricas se muestrea el colchón de caña después de la preparación con cuchillas, que le confiere más uniformidad a la muestra, pero que ya no distingue la presencia de materias ni de canutos y nudos. Esta medición puede ser importante para evaluar el trabajo de extracción de los molinos.

¿Por qué hay que preparar la caña con desfibradoras?

La caña se debe preparar con desfibradoras porque el objetivo no es picarla más, sino desfibrarla (deshilacharla, rasgarla) en tiras finas, sin extraerle el jugo, para incrementar su preparación y facilitar aún más la molienda y el trabajo de extracción del jugo. Esto se logra con martillos basculantes pesados, situados en los extremos de un disco, que rota a gran velocidad y golpean la caña sobre unas barras soportadas por yunques, con una holgura inferior a 10 mm. Si aparece una piedra o una pieza de hierro, el martillo puede bascular para evitarla dentro de ciertos límites. La desfibradora puede sustituir a un juego de cuchillas, o a los dos, si solo recibe caña de corte mecanizado, por su dificultad para procesar caña manual de trozos largos.

La desfibradora liviana, ya en desuso, operaba a menos de 1 000 rpm. Su diámetro de ~ 1.5 m equivalía a 80 m/s de velocidad periférica. Tenía martillos basculantes livianos, de menos de 10 kg.

La desfibradora actual, llamada pesada, es costosa y alta consumidora de energía, pero eleva el Índice de preparación hasta 90 % - 95 % e incrementa la molienda como dos juegos de cuchillas (15, 16). Utiliza entre 8 y 12 discos con filas de martillos basculantes que pesan hasta 20 kg y rotan de 1 000 rpm a 1 200 rpm, con diámetro de 1.4 m a más de 2.0 m y una velocidad periférica de 70 m/s a 110 m/s. La superficie de las barras está recubierta por carburo de tungsteno de alta dureza o composites de cromo en una matriz cerámica (17), donde impactan los martillos, también recubiertos con esos materiales (figura 7).



Figura 7. Desfibradora.

Se ha difundido el uso de insertos de metales duros, que se atornillan a la cara de trabajo del martillo, pues su reemplazo requiere menos tiempo que reemplazar el martillo. También pueden ser

utilizados en las barras para reducir su desgaste. El desgaste de los martillos afecta más la alimentación que la preparación, pues desvía a la caña de la dirección apropiada y reduce la capacidad de la desfibradora.

Las desfibradoras pesadas de dos etapas han sido superadas por las de una sola etapa. Estas son extrapesadas, con diámetros entre 1.5 y 1.8 m. Un tipo utiliza martillos de 15 kg y otro de 20 kg, que rotan a 1 200 rpm con una velocidad periférica de 90 a 110 m/s y un consumo de 75 kWh a 80 kWh por tonelada de fibra (9 kWh a 12 kWh por tonelada de caña). El tipo de martillo menos pesado tiene discos circulares y espaciadores, mientras que el tipo muy extendido de martillo más pesado tiene un rotor con placas separadoras perfiladas que se alternan escalonadamente con los martillos. En todos los casos, es importante utilizar holguras estrechas entre el martillo y las superficies donde contactará la caña, para lograr una buena preparación con fibras largas.

Los soportes de las bandas son removibles y ajustable en dos direcciones, de manera que se facilite su mantenimiento o reemplazo, y pueda regularse, con facilidad, la apertura con los martillos. Es usual incorporar algún mecanismo de seguridad, como pasadores, muelles o cilindros hidráulicos que permitan el paso de pedazos de hierro entre las bandas y los martillos, prevengan su daño y fractura. Es mejor utilizar soportes con troneras amplias entre bandas, que superen una determinada profundidad mínima, ya que su fondo se rellena con caña y los protege. La holgura entre los martillos y las barras se regula cuando se opera el equipo vacío, se detecta el momento (sonido) en que se produce la fricción entre la barra y el martillo, se desplaza su soporte en la dirección apropiada y se ajusta a la separación deseada. Esto asegura el máximo desempeño de la desfibradora. Los materiales muy duros, como el carburo de tungsteno, son frágiles y su ajuste es por medición y no por fricción.

Si el colchón de caña es muy alto puede atorarse y si es muy bajo, no agarra a la caña como se requiere, para alimentar la desfibradora y se pierde efectividad. Si se mantienen las cuchillas, se facilita la alimentación. Si se eliminan, porque la caña es troceada, es conveniente instalar una tolva con un ángulo de hasta 60° y rodillos de alimentación, que fuercen la caña hacia la boca de la desfibradora.

La idea de preparar la caña para mejorar la alimentación, se desarrolló en las desfibradoras híbridas, que integran al desfibrado las características de las cuchillas y pueden procesar cañas cortas y largas. En estos equipos, un juego de cuchillas se sitúa antes de la desfibradora, por debajo del colchón de caña, por lo que la cortan hacia arriba y la dirigen a su entrada. Los parámetros de operación de las desfibradoras híbridas son iguales que los de las pesadas. Utilizan menos espacio y largo de conductor, y cuesta menos la preparación. La potencia total es mayor porque enfrentan cañas menos preparadas.

Los factores que más influyen en la efectividad de las desfibradoras son la velocidad de rotación de los martillos (vinculada a su velocidad periférica), la holgura martillo/barra, que es muy crítica, y el ángulo de las barras, que facilita propulsar los trozos de caña hacia los martillos y su impacto.

Aunque no es evidente, la práctica demuestra que ni el número de martillos ni su masa, ni el flujo de caña ni el grado de picado previo alcanzado tienen un efecto significativo sobre la efectividad de las desfibradoras. Esto sugiere que el papel de las cuchillas anteriores a la desfibradora, es más para facilitar su alimentación que para incrementar la eficiencia de preparación (tabla 3).

Tabla 3. Eficiencia de preparación

Equipo	Características	IP, %	Molida
Un juego de cuchillas	Rotación normal	50	Ayuda
Dos juegos de cuchillas	Rotación normal	60 a 70	Ayuda más
Dos juegos de cuchillas	Rotación invertida	90	Ayuda aún más
Desfibradora ligera	< 1 000 rpm y martillos más livianos	85	Ayuda
Desfibradora pesada	1 200 rpm y martillos más pesados	>90	Ayuda mucho
Desfibradora pesada	Con un juego de cuchillas anterior	92 a 94	Ayuda mucho más

La capacidad de la desfibradora depende mucho de la preparación de la caña, de su contenido de materias extrañas y, sobre todo, de la calidad de su alimentación. Rara vez excede 250 toneladas de caña por hora por metro de ancho (t/hm) a 350 t/hm. Lo importante en su operación es que esté lubricada y protegida eléctricamente para sobrecargas en caso de atoros. Es conveniente que tenga un separador magnético para atajar a tiempo los pedazos de hierro que puedan afectarla. Tiene que estar bien balaceada, lo que debe comprobarse periódicamente, en particular con cada martillo, pues su vibración indica desbalance por instalación, peso o rotura. Las superficies en contacto martillo/barra no pueden desgastarse más de lo permitido, o no se desfibrará adecuadamente, no debe haber derrames de caña a la entrada ni de caña desfibrada, sobre todo de sus partículas finas a la salida. Si se atoran frecuentemente, mejorar la preparación o suministrarle la caña desde la tolva descrita. La presencia de tierra en la caña es muy perjudicial e incrementa el mantenimiento. Es conveniente controlar su eficiencia con mediciones del Índice de preparación de la caña desfibrada.

¿Por qué debe medirse el índice de preparación de la caña?

Se debe medir el Índice de preparación de la caña (IP) para conocer la eficiencia del trabajo de los equipos que la preparan y de los que extraen su jugo, poder actuar sobre ellos y obtener el mayor recobrado y rendimiento en la fábrica de azúcar. El Índice de preparación mide la acción de cada equipo sobre la futura extracción de azúcar por los molinos. En las secciones anteriores se ha establecido que el IP obtenido con dos juegos de cuchillas está entre 60 y 70 %, que puede incrementarse hasta 85 y 90 %, si se invierte su rotación o se instala una desfibradora convencional, y hasta 95 % con una desfibradora pesada de alto rendimiento.

No es fácil obtener una muestra representativa de la caña preparada porque el muestreo puede haber sido realizado en la capa superficial sobre el conductor, donde puede haber habido una clasificación por el tamaño de las partículas o por la presencia de impurezas, por ejemplo. Esto es más notable al inicio, a la salida del primer juego de cuchillas, que al final. Ya tomada la muestra, hay varias formas de calcular el IP de la caña procesada, que se discutirán a continuación (tabla 4).

Tabla 4. Métodos de medir el Índice de preparación IP

Método de medición	Características
Directo: por rompimiento de celdas	Extracción de la sacarosa lábil (o del Brix) con agua ambiente, referida a la extracción total con agua caliente
Indirecto: por densidad aparente	Supuesto vínculo dudoso entre la densidad de la caña sometida a presión predefinida, y el IP
Indirecto: por tamaño de partículas	Supuesto vínculo dudoso entre el valor medio de la distribución del tamaño de las partículas, y el IP

- *El IP por medición directa del rompimiento de celdas (18)*
Es la relación entre la Pol_o accesible y la Pol_t total de la caña, adoptada por ICUMSA: se mezclan 500 g de caña preparada con 3 000 g de agua a temperatura ambiente, se agita 30 minutos y se mide la Pol_o del sobrenadante. Este valor se compara con la Pol_t obtenida de forma similar con la caña desintegrada totalmente: $IP = 100 (Pol_o/Pol_t)$ (19). Actualmente, es posible medir rápida y directamente la Pol en la caña con técnicas que utilizan infrarrojo cercano (NIR), aunque con una calibración compleja y un 5 % de error en la medición (9).
- *El IP indirecto por medición de la densidad aparente*
El método presupone que existe una relación entre la preparación y la densidad aparente d de una muestra representativa de caña, comprimida 5 minutos a 103 kilo Pascal (un bar), por ejemplo. Se considera que la fineza F se relaciona con d por la ecuación $F = 0.25d - 175$, obtenida experimentalmente con un error del 10 % (20). El método es poco confiable porque las muestras pequeñas compresibles pueden no representar al conjunto y afectar considerablemente el resultado. Como la densidad aparente se afecta también por el contenido de fibra, se le han incorporado correcciones que la consideran. Realmente, la densidad aparente no tiene por qué reflejar con exactitud el grado de ruptura de las celdas con jugo de la caña.
- *El IP indirecto por medición del tamaño medio de partículas*
El método presupone que existe una relación entre la preparación y el tamaño de las partículas. Se propone medirlo con tamices de forma confiable y reproducible, lo que es muy improbable, porque las partículas o haces tienden a pegarse y puedan atravesar el tamiz en forma vertical. Además, no solo el valor medio es importante sino, también, su dispersión. Aunque es de suponer que el tamaño de las partículas se correlacione con su picado o desfibrado, no tiene por qué correlacionarse con la ruptura de celdas debido a la preparación.

CONCLUSIONES

1. Hay que garantizar un abastecimiento estable de la caña, acorde con la capacidad de la fábrica de azúcar y administrar su entrega para que el que llegó primero descargue primero.
2. Dar preferencia a los conductores de banda sobre los de tablillas, excepto el que recibe la caña en el basculador o cuando el espacio o la elevación lo impiden.
3. Medir la densidad a granel y el ángulo de reposo de cada material transportado y ajustar la inclinación de los conductores para evitar derrames, resbalamientos o largo excesivo.
4. El ancho de los conductores debe corresponderse con el de las mazas de los molinos y la velocidad debe ser del orden de la mitad de la de ellos.
5. Dedicar especial atención al engrase de las partes móviles, su limpieza y reposición.
6. Utilizar acero inoxidable donde pueda haber contacto con el jugo.
7. Medir sistemáticamente el Índice de preparación de la caña preparada.
8. Tomar en consideración que las cuchillas y la desfibradora mejoran la capacidad de los molinos, pero, las cuchillas de rotación invertida y la desfibradora mejoran también su extracción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Lodos, J.; Casanova, E. Zafra I. La caña que la cosecha necesita. *ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar*. 2024. Vol. 58, No. 2. Pp. 3-10. ISSN: 0138-6204.

2. Lodos, J.; Casanova, E. Zafra II. La cosecha de la caña. . ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar. 2025. Vol. 59, No. 1. Pp. 16-25. ISSN: 0138-6204.
3. Lodos, J.; Casanova, E. Zafra III. La transportación, pesaje y entrega de la caña. . ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar. 2025. Vol. 59, No. 2. Pp. 29-35. ISSN: 0138-6204.
4. Betancourt, A. La mecanización de la cosecha y sus efectos en la calidad de la caña. *Cuba Azúcar*. 1970. No. 3, página 2. ISSN: 0590-2916.
5. Casanova, E.; Delgado, J.; Martínez, R. Eficiencia agroindustrial. 1ª edición. La Habana, Cuba. Editorial Científico – Técnica. 1982. 33 páginas.
6. Casanova, E. y Alonso, J. Procesamiento de caña con alto contenido de impurezas (caña integral): ventajas y desventajas. Informe interno ICINAZ, 1996.
7. González, E. Procesamiento de caña integral, con/sin quema en el basculador. Informe interno ICINAZ, 1971.
8. Gálvez, L. *et al.* Capítulo 2. Sección 2.4. La caña de azúcar como materia prima. En: *Resultados de los institutos cubanos de investigación, desarrollo e innovación sobre las tecnologías de azúcar y derivados*. 1ª edición. La Habana, Cuba. Editorial AZCUBA. 2020. 615 páginas. ISBN: 978-959-7165-63-7.
9. Madsen L.; White B. and Rein P. Evaluation of a near infrared spectrometer for the direct analysis of sugar cane. *J. Amer. Soc. Sugar Cane Technol.* 2003. 23, page 80.
10. Bestard, J.; Hurtado, P.; Nieto, J. Determinación experimental de coeficientes de fricción de residuos de cosecha cañera. *Revista ATAC*. 1988. No. 4, página 8. ISSN: 0138-7553.
11. Solaque, D. Comparación del ángulo de fricción crítico con el ángulo de reposo. Disertación para Maestría en Ingeniería civil. Universidad de los Andes. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Perú. 2008. 125 páginas.
12. Free Requirement. Catalogue Ángulos de reposo de materiales. 2022. 1library.co/document/q708gjny-angulos-de-reposo.html. Consultado en agosto del 2023.
13. Hugot, E. Chapter 2. The Cane Carrier. Power. Pages 24 to 26 in *Handbook of Cane Sugar Engineering*, 3a. Edition. Amsterdam - Oxford - New York – Tokyo. Elsevier. 1986. ISBN: 0-444-42438-5. 1186 pages.
14. Quirch, H. La preparación de la caña y su influencia en la extracción. *Revista ATAC*. 1978. No. 6, página 16. ISSN: 0138-7553.
15. Rein, P. Sección 3.5 y Sección 7.2. En: *Ingeniería de la caña de azúcar*. 1ª edición en español. Berlin, 768P. Verlag Dr. Albert Bartens. 2012. ISBN: 978-3-87040-142-9. 879 páginas.
16. Cuéllar, M.; Valdés, J. y Martínez, E. Desfibradora alimentada a presión por una unidad de molienda . En: *Memorias de la XLIV ATAC*. División Fábrica. Sección técnica Ingeniería de Fábrica. Revista ATAC. 1985. No. 3, página 50. ISSN: 0138-7553.
17. Duttagupta, J. A composite metal-matrix ceramic embedded in shredder hammer tips. Poster paper. In: *Proceedings XXXI Congress International Society of Sugar Cane Technologists (ISSCT)*. 2023. Hyderabad, India. Page 1409.
18. Pérez Sanfield, F.; Fernández, F. Sección C 3. Determinación del Índice de células rotas en caña. En: *Métodos analíticos para azúcar crudo*. 1ª edición. La Habana, Cuba. Publicaciones Azucareras. 2006. ISBN: 959-7140-18-7. 231 páginas.
19. Pérez Sanfield, F.; Fernández, F. Sección C 1. Determinación del Índice de preparación de la desfibradora. En: *Métodos analíticos para azúcar crudo*. 1ª edición. La Habana, Cuba. Publicaciones Azucareras. 2006. ISBN: 959-7140-18-7. 231 páginas.
20. Crawford, W. Cane extraction by milling - the modern approach. Part I. *International Sugar Journal (ISJ)*. 1970. Vol. 72, page 291.