

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Identificación de las variables que afectan el descenso del valor del índice de preparación de caña de la zafra (2013-2014) respecto de la zafra (2012-2013) en el Tándem C de *Ingenio Magdalena S.A.*

Trabajo de graduación presentado por:

Juan Guillermo Rodríguez Rey

para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en Tecnología Industrial

Guatemala,

2015

IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES QUE AFECTAN EL DESCENSO
DEL ÍNDICE DE PREPARACIÓN DE CAÑA DE LA ZAFRA (2013-2014)
RESPECTO DE LA ZAFRA (2012-2013) EN EL TÁNDEM C DE *INGENIO*
MAGDALENA S.A.

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Identificación de las variables que afectan el descenso del valor del índice de preparación de caña de la zafra (2013-2014) respecto de la zafra (2012-2013) en el Tándem C de *Ingenio Magdalena S.A.*

Trabajo de graduación presentado por:

Juan Guillermo Rodríguez Rey

para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en Tecnología Industrial


Guatemala,


2015

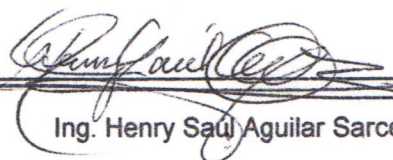
Vo. Bo.:

(f) 
Ing. Mynor Neftalí Carranza Soto

Tribunal Examinador:

(f) 
Ing. Mynor Neftalí Carranza Soto

(f) 
Inga. Alejandra Francisca Bonilla Barreda

(f) 
Ing. Henry Saúl Aguilar Sarceño

Fecha de aprobación: Guatemala 30 de enero del 2015

ÍNDICE

LISTA DE CUADROS	V
LISTA DE FIGURAS	VI
RESUMEN	VII
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS:	2
III. JUSTIFICACIÓN	3
IV. MARCO TEÓRICO	4
A. INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA	4
1. <i>Antecedentes</i>	4
a. <i>Reseña histórica</i>	4
1) 1983-1984.....	4
2) 1990-1991.....	4
3) 1994-1996.....	4
4) 2001.....	4
5) 2004.....	4
6) 2005.....	5
7) 2006.....	5
8) 2007.....	5
9) 2008.....	6
10) 2010.....	6
11) 2012.....	6
12) 2013.....	6
2. <i>Visión</i>	6
3. <i>Misión</i>	6
4. <i>Producción y servicios prestados</i>	6
a. <i>Caña</i>	6
b. <i>Azúcar</i>	7
c. <i>Alcohol</i>	7
d. <i>Energía</i>	7
5. <i>Proceso de producción del azúcar</i>	7
a. <i>Entrada</i>	7
b. <i>Molienda</i>	8
c. <i>Clarificación</i>	8
d. <i>Evaporación</i>	8
e. <i>Cristalización</i>	9
f. <i>Separación</i>	9
g. <i>Refinación</i>	9

h. Secado.....	9
B. ANTECEDENTES.....	10
C. PROCESO DE PREPARACIÓN DE CAÑA.....	11
1. <i>Preparación de caña</i>	11
2. <i>Objetivos y medición de la preparación de caña</i>	11
a. Objetivos. Los objetivos de la preparación de caña son los siguientes:	11
3. <i>Efecto de la preparación de caña en la extracción</i>	12
a. Capacidad de molienda versus capacidad de extracción.....	12
b. Uso de desfibradoras.....	12
4. <i>Medición de la preparación de caña</i>	13
a. Obtención de la muestra.....	13
b. Método de densidad aparente.....	14
c. Tamaño medio de partículas.....	15
d. Medición de grado de rompimiento de Celdas.....	15
1) Índice de preparación (PI).....	16
2) Pol en celdas abiertas (POC).....	16
3) Índice de capacidad de desplazamiento.....	16
4) Diferencias entre el PI y el POC.....	17
5. <i>Picadoras de caña</i>	17
a. Niveladores.....	17
b. Picadoras.....	17
1) Velocidad de cuchillas y potencia requerida en máquinas picadoras.....	19
2) Detalles sobre las cuchillas y rotores de picadoras.....	21
c. Desfibradoras.....	22
1) Estructura.....	22
2) Funcionamiento.....	22
3) Tipos de desfibradoras.....	23
a) Desfibradoras de trabajo liviano.....	23
b) Desfibradoras de trabajo pesado.....	23
c) Desfibradoras híbridas.....	25
4) Alimentación de desfibradoras.....	28
5) Factores que afectan la preparación de caña.....	31
6) Tamaño y capacidad de desfibradoras.....	32
7) Detalles técnicos del diseño de desfibradoras de trabajo pesado.....	32
8) Requerimientos de potencia para la preparación de caña.....	35
9) Requerimientos en accionamientos mecánicos.....	39
d. Operación y mantenimiento.....	40
6. <i>Conductores de caña</i>	43
a. Mesas de caña.....	43
b. Conductores de tablillas.....	45
c. Conductores de banda.....	48
1) Conductores de banda convencionales.....	48
2) Conductores de banda con cortinas de aire.....	49
d. Carga del conductor de caña principal.....	51

e.	Control de velocidad en conductores.....	51
7.	<i>Limpieza de caña</i>	52
a.	Limpieza en seco.....	52
1)	Remoción de hojas y cogollos.....	52
2)	Remoción de rocas y suelo.....	54
b.	Lavado de caña.....	55
8.	<i>Separador magnético</i>	56
D.	SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA.....	57
1.	<i>Proceso de preparación de caña</i>	57
a.	Diagrama del proceso.....	57
2.	<i>Patio de caña</i>	58
a.	Mesas.....	58
1)	Malacate.....	58
2)	Mesa de descarga.....	58
3)	Niveladores de las mesas.....	59
4)	Pateador.....	59
5)	Rodillos de limpieza.....	60
6)	Mesa 2.....	60
b.	Preparación.....	61
1)	Conductor de tablilla.....	61
2)	Troceadora.....	62
3)	Nivelador del conductor de tablillas.....	62
4)	Picadora.....	62
5)	Rodo alimentador.....	63
6)	Desfibradora.....	63
c.	Herramientas de corte.....	64
1)	Martillos.....	64
2)	Cuchillas.....	65
3.	<i>Variables a estudiar</i>	65
a.	Velocidades.....	65
1)	Velocidad de troceadora.....	65
2)	Velocidad de la picadora.....	65
3)	Velocidad de la desfibradora.....	65
b.	Yunque.....	66
1)	Ángulo de arropamiento.....	66
c.	Cuchillas.....	66
1)	Cambio de cuchillas.....	66
2)	Calibración de las cuchillas.....	66
d.	Martillos.....	67
1)	Cambio de martillos.....	67
2)	Calibración de los martillos.....	68
e.	Forma de cortar la caña en campo.....	68
1)	Caña cortada manualmente.....	68
2)	Caña cortada con máquina.....	68
3)	Limpieza de la caña.....	68

f. Índice de preparación	69
1) Medición de PI	69
V. RESULTADOS	70
VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS	73
VII. CONCLUSIONES.....	75
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	77
IX. GLOSARIO	79

LISTA DE CUADROS

TABLA 1: REQUERIMIENTOS DE POTENCIA INSTALADA EN MÁQUINAS PICADORAS Y DESFIBRADORAS (EN (kWh)/T ₀).	19
TABLA 2: VALORES PROMEDIO DE LA POTENCIA INSTALADA EN FÁBRICAS SURAFRICANAS, MOSTRANDO EL RANGO DE VALORES ENTRE PARÉNTESIS.....	20
TABLA 3: POTENCIA INSTALADA, VELOCIDAD PERIFÉRICA Y HOLGURA RECOMENDADAS PARA MÁQUINAS PICADORAS DE CAÑA.	21
TABLA 4: DETALLES MECÁNICOS EN INSTALACIONES RECIENTES DE DESFIBRADORAS.	33
TABLA 5: DENSIDAD DE CAÑA EN CONDUCTORES (ADAPTADA DE HUGOT 1986).....	47
TABLA 6: DETALLES TÉCNICOS DE DOS CONDUCTORES DE BANDA CON CORTINA DE AIRE	50
TABLA 7: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MESA DE DESCARGA.....	58
TABLA 8: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS NIVELADORES DE LAS MESAS	59
TABLA 9: CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PATEADOR.....	59
TABLA 10: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS RODILLOS DE LIMPIEZA	60
TABLA 11: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS MESA 1 Y MESA 2	61
TABLA 12: CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL CONDUCTOR DE TABLILLAS.....	61
TABLA 13: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA TROCEADORA	62
TABLA 14: CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL NIVELADOR DEL CONDUCTOR DE TABLILLAS.....	62
TABLA 15: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA PICADORA.....	63
TABLA 16: CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL RODO ALIMENTADOR	63
TABLA 17: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA DESFIBRADORA	64
TABLA 18: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS MARTILLOS.....	64
TABLA 19: VELOCIDAD DE LA TROCEADORA.....	65
TABLA 20: VELOCIDAD DE LA DESFIBRADORA	66
TABLA 21: ÍNDICE DE PREPARACIÓN DE LA ZAFRA (2012-2013) EN EL TÁNDEM C DE IMSA	70
TABLA 22: ÍNDICE DE PREPARACIÓN DE LA ZAFRA (2013-2014) EN EL TÁNDEM C DE IMSA	70
TABLA 23: COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE PREPARACIÓN DE LA ZAFRA (2012-2013) RESPECTO DE LA ZAFRA (2013-2014)	71
TABLA 24: RESULTADOS DE LAS VARIABLES QUE AFECTAN EL ÍNDICE DE PREPARACIÓN DE LA ZAFRA (2013-2014) EN EL TÁNDEM C DE IMSA.....	72

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: RELACIÓN ENTRE LA FINEZA DE PREPARACIÓN Y LA DENSIDAD APARENTE DE LA CAÑA PREPARADA	14
FIGURA 2: DOS PICADORAS SOBRE CONDUCTOR DE TABLILLAS DE ACERO	18
FIGURA 3: PICADORA CON CONDUCTOR DE BANDA.....	18
FIGURA 4: PICADORA DE ROTACIÓN INVERSA CON TAMBOR ALIMENTADOR Y YUNQUE.....	19
FIGURA 5: EJEMPLOS DE DISEÑO DE CUCHILLAS DE PICADORAS.	22
FIGURA 6: VISTA DE CORTE DE DESFIBRADORA TONGAAT	24
FIGURA 7: VISTA EN CORTE ISOMÉTRICO DE DESFIBRADORA TONGAAT	25
FIGURA 8: DESFIBRADORA COPERSUCAR.....	26
FIGURA 9: CONFIGURACIÓN GENERAL DE INSTALACIÓN DE DESFIBRADORA PARA TALLOS ENTEROS DE CAÑA (CORTESÍA DE FORGES TARDIEU).	27
FIGURA 10: CONFIGURACIÓN DE LA ESTACIÓN DE LA PREPARACIÓN EN FELIXTON.	29
FIGURA 11: CONFIGURACIÓN DE LA ESTACIÓN DE PREPARACIÓN DE ACUERDO CON RENTON (1992).....	29
FIGURA 12: CONFIGURACIÓN DE UNA DESFIBRADORA DE TRABAJO PESADO ALIMENTADA CON UNA PICADORA	30
FIGURA 13: GEOMETRÍA OPTIMIZADA DE UN BLOQUE DE CARBURO DE TUNGSTENO PARA MARTILLOS.....	35
FIGURA 14: MARTILLOS REMOVIDOS DE UNA DESFIBRADORA BUNDABERG (WALKER)	35
FIGURA 15: POTENCIA CONSUMIDA POR UNA DESFIBRADORA DE TRABAJO PESADO TONGAAT-HULETT...	37
FIGURA 16: REPRESENTACIÓN DE LA DEPENDENCIA DE LA PREPARACIÓN CON LA POTENCIA ABSORBIDA DE ACUERDO CON MARSON (1980), RENTON (1974) Y CULLEN (1986).	39
FIGURA 17: REPARACIÓN DE MARTILLOS DE DESFIBRADORAS.....	42
FIGURA 18: MESA DE DESCARGA DE CAÑA CONVENCIONAL	43
FIGURA 19: MESA DE DESCARGA DE CAÑA CON PENDIENTE 45°, ADECUADA PARA LAVADO DE CAÑA.....	44
FIGURA 20: DISEÑOS DE TABLILLAS PARA CONDUCTORES DE CAÑA	45
FIGURA 21: DOS OPCIONES DE SELLADO PARA CONDUCTORES DE BANDA.....	49
FIGURA 22: DISPOSICIÓN DE TAMBOR YUNQUE PARA PROTEGER LA BANDA INSTALADO EN LA CABECERA DEL CONDUCTOR DE BANDA.	49
FIGURA 23: CORTE SECCIONAL DE UN CONDUCTOR DE BANDA CON CORTINA DE AIRE	50
FIGURA 24: VISTA LATERAL DEL SISTEMA DE REMOCIÓN DE ROCAS PARA TALLOS DE CAÑA ENTERA EN KOMATI.	55
FIGURA 25: DIAGRAMA DE PROCESO DE LA PREPARACIÓN DE CAÑA	57
FIGURA 26: GRÁFICA COMPARATIVA DEL ÍNDICE DE PREPARACIÓN DE LA ZAFRA (2012-2013) RESPECTO DE LA ZAFRA (2013-2014).	71

RESUMEN

La eficiencia y la capacidad de los Ingenios azucareros dependen considerablemente de la preparación de la caña. El proceso de reducir la caña alimentada al molino hasta partículas de menor tamaño, adecuadas para el proceso de extracción, se denomina preparación de la caña.

La sacarosa se encuentra contenida en la caña como parte del jugo dentro de células de pared delgada que están protegidas por la estructura fibrosa del tallo. La extracción de sacarosa por molienda consiste casi por completo en la ruptura de las células y posterior remoción del jugo, primero exprimiendo mediante física compresión y luego mediante dilución del jugo remanente y su posterior exprimido.

El proceso ruptura de células puede ser efectuada reventando a las células mediante compresión con molinos, pero es extremadamente ineficiente efectuando esta tarea. La manera más eficiente para preparar caña para la extracción por molienda es primero cortando en trozos pequeños (idealmente con picadoras) y posteriormente desfibrando finamente de manera que prácticamente todas las células sean abiertas.

Esta preparación permite a los molinos desempeñar la función de extraer jugo fácilmente y eficientemente. Esto se logra debido a que:

- Se hace al jugo disponible para la fácil extracción;
- La densidad de la caña se incrementa y es más homogénea, favoreciendo la alimentación y la capacidad de molienda.

I. INTRODUCCIÓN

Ingenio Magdalena S.A. es una empresa dedicada a la producción de caña de azúcar que es transformada y comercializada en productos de mayor valor como azúcares en diferentes tipos, alcohol, energía eléctrica y alimentos proteínicos para uso animal.

El proceso industrial para la fabricación de azúcar implica la aplicación de varios procesos para convertir el jugo de caña en cristales y depurarlos de manera natural de impurezas que pudieran resultar dañinas para el organismo. El proceso de fabricación consta de los siguientes subprocesos: Entrada, molienda, clarificación, evaporación, cristalización, refinado, secado y envasado.

Dentro del proceso de entrada se da la preparación de la caña que se define como el proceso de reducir la caña alimentada al molino hasta partículas de menor tamaño, adecuadas para el proceso de extracción de jugo. La reducción de tamaño es conseguida con el uso de troceadoras, picadoras o cuchillas rotativas y desfibradora con matillos basculantes.

El jugo que se extrae de la caña contiene sacarosa que se encuentra dentro de células de pared delgada que están protegidas por la estructura fibrosa del tallo. Por tal motivo la manera más eficiente que se utiliza para preparar caña para la extracción por molienda es primero cortando en trozos pequeños (troceadoras y picadoras) y posteriormente desfibrando finamente de manera que prácticamente todas las células sean abiertas.

La preparación de caña tiene una estrecha relación con el desempeño de los molinos que es parte del proceso de molienda. Esta preparación permite a los molinos desempeñar la función de extraer jugo fácilmente y eficientemente.

II. OBJETIVOS:

A. General:

- Mejorar el proceso de preparación de caña en el Tándem C de *Ingenio Magdalena S.A* por medio de la identificación de las variables que lo afectan.

B. Específicos:

1. Identificar los efectos de la mala preparación de caña
2. Identificar las partes más relevantes del proceso de preparación de caña que generalmente afectan el índice de preparación de caña y las que específicamente afectan el Tándem C.
3. Evaluar y diagnosticar la condición del proceso de preparación de caña en el Tándem C.
4. Evaluar los datos de preparación de caña obtenidos en la zafra (2012-2013) y la zafra (2013-2014) en el Tándem C de *Ingenio Magdalena S.A.*

III. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto de investigación, surgió debido a la necesidad de mantener estable y eficaz el índice de la preparación de caña en el tándem C de la empresa como tal, debido a que en la zafra 2012-2013 respecto de la zafra 2013-2014 se ha mostrado un cambio considerable de forma descendente en el índice de preparación en el mencionado tándem.

La preparación de caña que es cuantificable por medio del índice de preparación es un factor muy importante para la extracción de jugo debido que reduce la caña de entrada en partículas de menor tamaño para mejorar la extracción de jugo. Por tal motivo la presente investigación pretende dar a conocer una metodología para mantener mejor estabilidad y eficacia en la preparación de caña en el tándem C basándose en los resultados del índice de preparación de la zafra anterior (2012-2013).

Aquí se dará a conocer el funcionamiento de la preparación de caña hacia los molinos, la estructura física de cada parte del proceso de preparación de caña y su razón de ser, la manera en que se trabaja la preparación de caña, los métodos de transformación de la caña a fibra, los aspectos que se toman en cuenta para realizar el porcentaje de medida de la preparación de caña, las diferentes condiciones de caña que se desfibra y la manera en que afecta a la preparación, el principio de funcionamiento de las herramientas de corte (troceadora, picadora y desfibradora), y los componentes de las herramientas que son más vitales ó más propicias al desgaste o deterioro.

Este proyecto ayudará a las investigaciones ya presentes y las investigaciones futuras, dado que en aspectos generales aportará métodos convincentes para mantener estable los procedimientos de la preparación de caña, tomando en cuenta la manera en que se trabaja en el *Ingenio Magdalena S.A.*

IV. MARCO TEÓRICO

A. Información general de la empresa.

La información de este capítulo fue adquirida de la página web de IMSA, la cual es "imsa.com.gt".

1. Antecedentes

a. *Reseña histórica*

1) 1983-1984. A comienzos de los años 80, *Ingenio Magdalena* es reubicado en la *Finca Buganvilla* (localización actual). Anteriormente, el Ingenio estaba instalado en la *Finca Magdalena*, de la cual se deriva su nombre, ubicada en el Rodeo, Escuintla. Inicialmente, dedicaba su operación a producción de mieles como materia prima, para fabricación de licor.

Con el cambio de administración, se inicia una etapa de crecimiento continuo. Se le compró un tándem de molinos a Central Guánica, Puerto Rico sustituyendo los molinos iniciales, alcanzado las 18,200 TM de azúcar durante este período.

2) 1990-1991. Durante esta zafra se alcanza una producción de 53,792 TM de azúcar, con una plantación de 5,550 hectáreas.

En los años siguientes se innovan los sistemas de corte, alojamiento de cortadores, sistemas de transporte, se completa la instalación de los molinos 5 y 6 del tándem de Guánica y se adicionan cuartas mazas. Además, se comenzó incipientemente inversiones para un programa de cogeneración.

3) 1994-1996. Se duplica la producción de la zafra de 1990-1991, alcanzando una producción de 105,855 TM de azúcar. En la fábrica se inicia una nueva ampliación con la adquisición de un nuevo tándem de molinos adicionales, con capacidad de 9,200 TM elevando la molienda a 16,000 TM de caña molida por día. En el campo inicia el laboratorio de Meristemas para la producción de semilla de caña y selección de variedades, con una producción de 400,000 plantas iniciales.

4) 2001. Inician los trabajos de destilería con la instalación de una planta de alcohol con capacidad de 120,000 litros diarios. Un año más tarde se inicia la exportación.

5) 2004. Se amplía la generación de energía eléctrica, con más inversión en un turbo generador condensing de 16.5 MW con capacidad de 53.5 MW y en una nueva línea de transmisión eléctrica para incrementar la entrega al sistema eléctrico nacional.

6) 2005. Se logró una expansión en el área agrícola de 1,570 nuevas hectáreas sumando una cobertura total de 36,000 hectáreas de plantación de caña, además se incrementó en riego cubriéndose 56% del área del cultivo.

En talleres y transporte se adquieren 100 camiones destinados al transporte de la caña, nueve cosechadoras mecánicas y maquinaria agrícola para asistir técnicamente las operaciones móviles.

La fábrica amplía sus instalaciones con un tándem adicional de molinos con una capacidad de 9,200 TM diarias de molienda. Con esta instalación Magdalena es el primer ingenio de la región que cuenta con tres tándem de molinos. Y en energía se instala una planta adicional de cogeneración con capacidad de 30MW.

7) 2006. El área de campo coordina y programa una operación para garantizar 4,780,000 TM de caña de azúcar de acuerdo a las 45,887 hectáreas de tierra cultivables. Nuevamente, se realizan inversiones para ampliar las instalaciones y consolidar la operación de la fábrica.

Se invierte en tecnología para eficientar la operación de molienda contando con una capacidad instalada de 34,040 TM de caña molida por día. Esto incluye evaporación y clarificación de meladura.

8) 2007. Para la fabricación de azúcar refino, se ampliaron las áreas de centrifugado, evaporación, tachos y envasado, contando con una capacidad instalada de producción de 2,760 TM de azúcar refino por día.

En el área de cogeneración se aumentó la capacidad instalada a través de nuevas inversiones:

- a) Elevación de 69 kV. A 230 kV. en la subestación de energía dentro de las instalaciones de *Ingenio Magdalena*.
- b) Instalación de líneas de transmisión 230 kV.
- c) Construcción e instalación de subestación de interconexión de 230 kV. en el municipio de Siquinalá, Escuintla.
- d) Instalación de un turbo de 45 MW y planta termoeléctrica de 45 MW (zafra 2008-2009).

9) 2008. El laboratorio de Meristemas aumenta su capacidad de producción convirtiéndose en una biofábrica con una capacidad instalada de producción artificial de plantas, a través de la técnica de multiplicación de tejidos vegetativos o micro propagación de 2, 500,000 plántulas. Se dedica el 80% a la caña de azúcar y el 20% a otros vegetales.

Se inicia el programa de producción de entomopatógenos utilizados para el control biológico de plagas específicas que afectan la caña de azúcar con una capacidad de 45,000 dosis por temporada (marzo a octubre).

Se consolidan las operaciones de una segunda planta de alcohol, con una capacidad instalada de 300,000 litros diarios.

10) 2010. Se inicia la construcción de una nueva Planta de Generación Eléctrica a través de la utilización de combustibles renovables.

11) 2012. Se inaugura con la presencia del Sr. Presidente la nueva planta de generación de energía eléctrica adicionando 60MW a la capacidad instalada del ingenio y se inicia la instalación de un domo para almacenar azúcar refino con una capacidad de 76mil TM.

12) 2013. Inicia la instalación de una nueva caldera con un turbogenerador para aumentar la capacidad instalada en la planta de energía. Se finaliza la construcción del domo de azúcar y se construyen tres nuevos complejos habitacionales.

2. Visión. Al 2015 desarrollaremos y atenderemos con presencia directa en al menos cinco mercados seleccionados en sus distintas líneas de negocio, con productos y servicios diferenciados con un negocio energético equivalente al 50% del resultado de Magdalena.

3. Misión. Desarrollamos con innovación y eficiencia productos alimenticios, agrícolas y energéticos para mejorar la calidad de vida de las personas.

4. Producción y servicios prestados

a. Caña. La plantación de *Magdalena* tiene como finalidad garantizar la calidad varietal. Por tal razón, cuenta con tecnología, sistemas y programas especializados en el estudio, análisis, reproducción y cultivo de la caña de azúcar. Estas prácticas eficientes le han caracterizado como líder en la agroindustria nacional.

b. Azúcar. El azúcar, producto líder de *Magdalena Tierra Dulce* ha mostrado una creciente demanda, la cual ha llevado a extender las plantaciones considerablemente. Como efectos positivos se han generado empleos y apertura mercado entre otros.

c. Alcohol. *Ingenio Magdalena*, como productor de caña de azúcar, aprovecha cada uno de los derivados de este cultivo, lo que permite la optimización de los recursos y la diversificación de los mismos. Basados en este sistema, se producen alcoholes y gases (extracción de CO₂ y metano) utilizando la melaza (miel no cristalizable) como materia prima.

d. Energía. La producción de la energía eléctrica se realiza aprovechando la transformación de la energía, resultante de la combustión de bagazo y la producción de vapor de agua. Luego esta energía eléctrica producida es utilizada para consumo interno y la energía restante se distribuye para el consumo en la red eléctrica.

5. Proceso de producción del azúcar. El proceso industrial para la fabricación de azúcar implica la aplicación de varios procesos para convertir el jugo de caña en cristales y depurarlos de manera natural de impurezas que pudieran resultar dañinas para el organismo. El proceso de fabricación consta de los siguientes subprocesos:

- Entrada
- Molienda
- Clarificación
- Evaporación
- Cristalización
- Separación
- Refinado
- Secado
- Envasado

a. Entrada. Inicia con el peso en básculas de las unidades que transportan la caña de azúcar en el ingenio y que se encuentran al ingreso del área industrial. Además, en esta parte se determina la calidad de la materia prima, tomando muestras que se analizan continuamente en el laboratorio de control de calidad. La caña que llega a la fábrica se descarga sobre las mesas de alimentación por medio de malacates de caña con capacidad de 50 TM. Luego la caña se somete a un proceso de preparación que consiste en romper y desfibrar las celdas de los tallos por medio de troceadoras, picadoras oscilantes y desfibradoras, para poder pasar al proceso de extracción del jugo.

b. Molienda. Este es un proceso continuo que actualmente se realiza en tres tándem de molinos con capacidad de molienda diaria total de 32.200 TM, distribuido en tándem "A" (9,000 TM); tándem "B" (11,040 TM) y tándem "C" (11,960 TM). Hacia estos tándem se alimenta con caña preparada, la cual es sometida a una serie de extracciones utilizando molinos de rodillo o mazas y todos los molinos son de cuatro masas rayados en forma de "V". Para hacer más eficiente el proceso de molienda, los jugos pobres de los molinos posteriores se aplican nuevamente en el proceso (proceso de maceración) y en el último molino se aplica agua caliente con temperatura entre 155-179 °F para aumentar la extracción. El bagazo es un subproducto industrial que se transporta hacia el sistema de calderas para usarlo en calidad de biomasa como combustible. El sobrante tiene como destino la hidrólisis y reserva para cubrir paros de emergencia.

c. Clarificación. El jugo proveniente de los molinos pasa por calentadores, que llegan a temperaturas entre 140 y 155 °F. Luego pasa por la torre de sulfatación, bajando el PH para producir azúcar blanco únicamente. En esta etapa se utiliza azufre como agente decolorante; luego mediante la edición de la bachada de cal entre 6 y 10 baume se neutraliza el jugo. El calentamiento del jugo se realiza en tres etapas; la primera por vapor vegetal de 5.0 psi alcanzando temperaturas entre 175 y 185 °F; la segunda por vapor de 5.0 psi alcanzando temperaturas entre 205 y 215 °F y la última con vapor de 10 psi para rectificación del jugo en forma automática. Con el proceso anterior se logra que el jugo, al ser liberado a presión atmosférica, sufra una pequeña evaporación en el tanque flash evitando que los flóculos floten o decanten con lentitud por la presencia de burbujas atrapadas en el interior. El siguiente paso es alimentar el jugo a los clarificadores a baja velocidad para permitir la concentración de lodos y que pueden ser extraídos por gravedad en un clarificador SRI y con bombas. En la etapa final de este proceso se utilizan coladores vibratorios con malla 110 mesh para la eliminación de bagacillo y evitar que llegue al producto final. Los filtros de cabeza son parte indispensable del proceso, pues sin ellos, la pérdida de sacarosa en la cachaza sería significativa.

d. Evaporación. La operación del sistema de evaporación en la planta es de quintuple efecto, tanto para la línea de blanco como para la línea de crudo. La operación es relativamente sencilla debido a que se fijan las condiciones de entrada, salida, nivel de cada evaporador y extracción de vapores vegetales hacia el exterior. La evaporación se realiza en evaporadores tipo Roberts en los cuales el vapor y el jugo se encuentran en cámaras separadas que fluyen en el mismo sentido. El jugo pasa de un evaporador a otro con bombas denominadas "de transferencia". El control global de un evaporador se ejecuta a través de la estabilización de cinco factores muy importantes:

- 1) La concentración del producto final
- 2) La presión absoluta en el último cuerpo
- 3) La alimentación de vapor y jugo al primer evaporador
- 4) Remoción de condensados y gases incondensables
- 5) El control de incrustación en cada evaporador

e. **Cristalización.** La cristalización o crecimiento de la sacarosa que contiene el jarabe se lleva a cabo en tachos al vacío. Estos cocimientos, según su pureza producirán azúcar crudo y azúcar blanco. Este es un proceso demorado que industrialmente se acelera introduciendo al tacho unos granos microscópicos de azúcar, denominados semillas. La experiencia del operativo debe juzgar el punto exacto del cocimiento, para la obtención de un buen producto.

f. **Separación.** Los cristales del azúcar se separan de la miel restante en la centrífugas, equipos cilíndricos que giran a gran velocidad. La miel pasa a través de las telas, los cristales quedan atrapados dentro de las centrífugas y luego se lavan con agua. Las mieles vuelven a los tachos o bien se utilizan como materia prima para la producción de alcohol en las destilerías. El azúcar pasa al proceso de secado y enfriado.

g. **Refinación.** En el caso de la producción de azúcar blanca refinada, existe un proceso adicional, que utiliza como materia prima azúcar blanco estándar o azúcar crudo. En este proceso se disuelve el azúcar a 60 grados brix, luego se le adiciona carbón activado y tierra diatomácea. Esta solución se hace pasar por primera y segunda filtración en filtros verticales, hasta obtener un licor claro. El licor es evaporado y empieza la cristalización de los granos.

h. **Secado.** En el proceso de centrifugado se utiliza agua de condensado para lavar el azúcar, lo cual da como resultado humedades entre 0.3 % y 0.6%, por lo que es necesario pasarla por un proceso de secado para alcanzar niveles entre 0.2% para azúcar crudo y 0.03% para azúcares blancos.

i. **Envasado.** El azúcar crudo de exportación sale directamente de la secadora a las bodegas de almacenamiento. En las bodegas se carga a granel en camiones que la transportan al puerto de embarque. El azúcar blanco estándar y refinada se empaca en sacos de 50 y 46 kg y jumbos de 1400 Kg para ser comercializado local e internacionalmente.

B. Antecedentes

La mayoría de las investigaciones sobre la preparación de caña, tanto en el ámbito nacional como internacional se orientan a aspectos técnicos que se relacionan con el impacto de la preparación de caña hacia todos los productos derivados y estudio de desgaste de maquinaria de la preparación de caña. En segundo plano o en su minoría algunas investigaciones evalúan costos de mantenimiento y eficiencia en el proceso de preparación de caña.

En el ámbito nacional existen investigaciones, las cuales son:

Muñoz, (2012) realizó la investigación: *Correlación entre poder calorífico del bagazo y su porcentaje de cenizas e índice de preparación de la caña*. Esta investigación analiza el poder calorífico de bagazo seco de varios ingenios azucareros y la relación que existe con el índice de preparación de caña.

Asturias, (2007) realizó la investigación: *Producción de etanol directamente de caña de azúcar en diferente estado de desarrollo*. En esta investigación se analiza la relación entre el rendimiento de etanol y el grado de desarrollo de la caña en el campo (muestras de caña, preparación de la caña).

En el ámbito internacional existen investigaciones las cuales son:

TECNICAÑA, (2010) en su revista número 26 presenta un análisis de la limpieza en seco y aprovechamiento de la materia extraña vegetal como combustible por medio de un sistema de separación de tierra y picado (preparación de caña).

Morejón y Moracén (2013) han investigado sobre: *Influencia de la preparación de caña de azúcar a moler en la producción de azúcar en el Complejo Agroindustrial Azucarero "Manuel Fajardo"*. Investigaron el proceso tecnológico de preparación de caña de azúcar a moler con el objetivo de evaluar su eficiencia y detectar los principales problemas del proceso.

Grupo de Investigación en Mejoramiento Industrial (2002) a través del proyecto: *Proyecto Corporativo Agroindustrial para reducir el desgaste en equipos de preparación y molienda de caña de azúcar* han desarrollado un análisis para reducir los costos de mantenimiento de los equipos incluidos, cuchillas y martillos de máquinas de reparación, cascos de mazas y ejes de maza superior. Los campos de conocimiento trabajados fueron Tribología, Metalurgia de revestimientos duros y Mecánica de la Fractura.

TECNICAÑA (2006) ha elaborado investigaciones referentes a: *Procesos Industriales Administración y Gerencia*. En esta investigación se evalúa los aspectos metalúrgicos de la recuperación de martillos de desfibradora y el impacto técnico económico del desgaste de martillos de Desfibradoras.

Carvajal, Gómez y Ramírez (2003) presentan un análisis de la investigación sobre: *Avances en la evaluación integral de los procesos de preparación y molienda en ingenios colombianos*. Se analiza a través de las etapas de preparación y molienda índices estables en los procesos, el punto óptimo de las estaciones analizadas así también como los indicadores de eficiencia.

C. Proceso de preparación de caña.

1. Preparación de caña. Se le llama preparación de caña al proceso de transformar el tallo de la caña de alimentación a partes de menor tamaño adecuadas para el proceso de extracción en los molinos (Rein, 2012). La reducción de tamaño se realiza en secuencia lógica por máquinas de corte generalmente picadoras, troceadoras y desfibradoras.

La preparación de caña es utilizada para transformar la materia en una masa más homogénea y con mayor densidad, con el objetivo de favorecer la alimentación continua y uniforme de los molinos, facilitar la extracción del jugo y reducir las pérdidas de sacarosa en el bagazo (Carvajal, 2003; Minaz, 1990).

2. Objetivos y medición de la preparación de caña.

a. Objetivos. Los objetivos de la preparación de caña son los siguientes:

- Reducción de tamaño: Reducir el tallo de la caña a un tamaño tal que permita extraer el jugo con mayor facilidad sin afectar las propiedades del mismo. Estas propiedades son las que generan un colchón no compactado, el cual llega a tener una gran importancia en la utilización de la difusión (Rein 2012).
- Rompimiento de células: Abrir tantas células de caña como sea posible para mejorar la extracción de jugo. El tamaño de la fibra no indica la cantidad de células abiertas, es decir el tamaño es totalmente independiente de la cantidad de células abiertas. Una preparación adecuada es donde una gran cantidad de células están abiertas y el tamaño de la fibra de caña se mantiene en una condición adecuada que permita tener un colchón compactado para que posteriormente sea utilizado para la difusión (Rein, 2012).

- Mayor densidad del colchón: Al aumentar la densidad del colchón de la caña mejora la capacidad de molienda (Arronte, 1996). Esta propiedad requerida permite utilizar fácilmente la difusión para una mejor extracción de jugo en la molienda. La caña preparada con desfibradora tiene mayor densidad comparada con la caña preparada con picadoras y por lo tanto mejora la alimentación de los molinos. Esto sucede porque las fibras largas obtenidas de la desfibradora se enredan agrupándose y adquiriendo cierta resistencia a la tensión y en el momento que entra a un molino la interacción entre las fibras jala el colchón de caña hacia adentro del molino, por lo tanto, la alta densidad del colchón es conveniente para la alimentación de los molinos (Rein, 2012).

3. Efecto de la preparación de caña en la extracción. Morejón y Moracén (2013) indican que la preparación de caña tiene mayor relevancia en los siguientes aspectos:

- Mayor capacidad de molienda
- Mayor extracción en el Tándem
- Mejor aprovechamiento del Rendimiento Potencial de la Caña (RPC)
- Estabilidad de la potencia en el Tándem

Estos aspectos son demostrados con los siguientes estudios:

a. Capacidad de molienda versus capacidad de extracción. Moor (1974) demostró que los partes más grandes de caña continúan como tal luego de la extracción, y estas partes contienen tres veces más azúcar que las partes más pequeñas. Entonces esto da la pauta de que a las partículas de menor tamaño se les extrae más azúcar, mejorando el proceso de extracción. Además, esto quiere decir que los molinos pueden reducir el tamaño de las partículas de caña, pero sin eliminar los pedazos grandes, los cuales persisten hasta el final de la extracción. Por lo tanto, Hugot (1986) afirma que el picado de tallos enteros de caña aumenta la capacidad de molienda más no la capacidad de la extracción.

b. Uso de desfibradoras. Luego de la instalación de la primera desfibradora en un tándem de 5 molinos en Suráfrica, Moor (1974) dio a conocer pruebas que demuestran que el aumento significativo del índice de preparación de 71 a 91 provocó un aumento en la extracción de 95.6% a 96.2% que equivale a 0.045 % de extracción por unidad de índice de preparación. Además, estas pruebas llevaron a un aumento de la capacidad del molino en un 4%.

En Australia el SRI realizó pruebas que demostraron como una desfibradora dio un incremento significativo en la extracción del primer molino en un 2%. Pero de manera global en el Tándem existió un aumento de 0.05% a 0.06% unidades de extracción por unidad de índice de preparación incrementada.

De manera general si se quiere elevar la extracción se debe incrementar el índice de preparación, y para ello es esencial el uso de desfibradora provocando así mayor cantidad de células abiertas (Rein, 2012).

Hugot (1986) concluye: *“Finalmente, la desfibradora es particularmente valiosa desde el punto de vista financiero; proporciona una mejora sustancial de extracción, constituye una protección contra piedras y pedazos de metal que han escapado al separador magnético y cuesta sólo una tercera parte del costo de un molino mientras que retorna a veces mucho más”*.

4. Medición de la preparación de caña. Para conocer la eficiencia de la preparación de caña es necesario medirla de manera rutinaria en momentos definidos. Existen métodos de medición de grado de preparación de caña, de los cuales se pueden mencionar:

- Densidad aparente
- Tamaño de partículas
- Grado de rompimiento de celdas

Desafortunadamente estos métodos no siempre son confiables, debido a la complejidad de la medición del grado de preparación.

a. Obtención de la muestra. Previo a la utilización de estos tres métodos es necesario tomar una muestra representativa de la caña preparada para obtener una medición lo más acertado posible (Rein, 2012). Pero esto no es fácil, debido a varias razones:

La toma de muestra sobre la banda o conductor dan lugar a muestras sesgadas, esto ocurre debido a que normalmente existe cierta clasificación a la salida de la desfibradora.

La no-homogeneidad de caña dentro de un mismo envío requiere la toma de varias muestras, definiendo a cada una de ellas como sub-muestra, debido a que éstas a su vez se mezclarán para obtener la muestra para la medición.

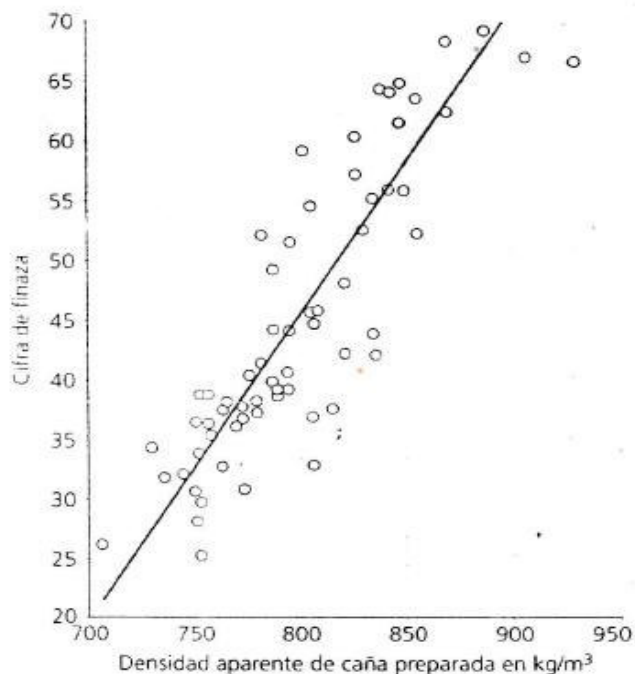
Existe dificultad y poca confiabilidad al tomar y mezclar las muestras.

Existe muestreo sesgado si se omite pedazos grandes de caña debido a que la misma no ha sido finamente preparada. Por lo tanto, como la muestra es relativamente pequeña una inclusión o exclusión de algún pedazo de caña, afectaría enormemente al resultado de la prueba.

Ante todas estas dificultades Marson (1980) dio a conocer un sistema para obtener una muestra representativa de caña picada el cual según Rein (2012) el sistema consistía básicamente en obtener una muestra utilizando una compuerta específicamente para muestreo que abarcara todo lo ancho, para luego tener un sistema de sub-muestreo automático.

b. Método de densidad aparente. Este método consiste en comprimir la muestra de caña preparada a una presión determinada durante un cierto tiempo. Crawford (1970) describe este método por medio de la compresión de una muestra de 6.8 kg durante 5 minutos a una presión de 103 kPa. Demostrando así que la densidad aparente está correlacionada con la fineza de la caña preparada, por lo tanto, con partículas más finas se obtiene una mayor densidad aparente. Además, según Murry y Holt (1967) la densidad aparente está correlacionada con los coeficientes de molienda. Esta correlación se puede apreciar en la Figura 1.

Figura 1: Relación entre la fineza de preparación y la densidad aparente de la caña preparada



Fuente: (Crawford 1970, citado en Rein 2012).

c. Tamaño medio de partículas. Este método se realiza mediante tamizado o zarandeado, pero la utilización de tamices puede ser mucho más confiable y reproducibles (Marson, 1980). En este tipo de método han logrado determinar lo siguiente:

Rein (1980) ha demostrado que la fineza de la caña tiene la mejor correlación con la máxima tasa de percolación a través de un colchón de caña. Es decir, con preparaciones más finas se obtienen menor tasa de percolación.

Se mostró que el tamaño de partículas obtenido mediante tamizado afecta la densidad del colchón de caña y la tasa de percolación.

El análisis del tamaño medio de partículas de caña preparada no es posible proponerlo como un método de rutina (Rein, 2012).

d. Medición de grado de rompimiento de Celdas. Existen tres métodos que son los únicos utilizados rutinariamente. Pero el método más común cuantifica el grado de celdas abiertas, luego de que se revuelve la muestra en agua en un recipiente homogenizador bajo condiciones estándar, y se realiza una comparación de Brix del extracto con el del desintegrador, donde todas las celdas han sido abiertas. Los métodos son los siguientes:

- Índice de preparación (PI).
- Índice de capacidad de desplazamiento
- Medición de pol en celdas abiertas (POC)

El PI es utilizado en Suráfrica, el índice de capacidad de desplazamiento en Hawái (Payne 1962) y el POC en Australia. Todos estos métodos tienen por objeto evaluar el grado de preparación de la caña midiendo la cantidad de azúcar que puede ser removida de una muestra de caña preparada (Rein 2012).

La desventaja de estos métodos es que no es reproducible debido a que la muestra normalmente se ve afectada por la variedad de caña y el contenido de materia extraña. Sin embargo, es posible obtener una buena medida de la preparación de caña al promediar los valores medios durante un día o una semana (Rein 2012).

1) Índice de preparación (PI). Este método consiste en revolver una muestra de 500 gramos de caña preparada con 3000 gramos de agua durante 30 minutos y medir el Brix. Luego es comparado con el Brix del extracto obtenido por medio de un desintegrador, en el cuál se utiliza 333 gramos de caña preparada y 2000 gramos de agua (Rein, 2012). EL PI se calcula de la siguiente manera:

$$PI = 100 \cdot \frac{WDS, T}{WDS, D} \quad (1)$$

Fuente: Rein (2012)

Donde:

WDS,T: Medición de Brix en el homogenizador

WDS,D: Medición de Brix en el desintegrador

2) Pol en celdas abiertas (POC). El método consiste en revolver una muestra de .1000g de caña preparada con 10000 g de agua (Crawford, 1970) en un recipiente homogenizador durante 10 minutos. En el desintegrador se utilizan 2000 g de caña y 6000 g de agua. El POC se calcula de la siguiente manera:

$$POC = \frac{100 \cdot (WST/WSD) \cdot (mWD/mCD)}{\frac{mWD}{mCD} + \left(1 - \frac{WST}{WSD}\right) \cdot (1 - 1.25 \cdot WFC)} \quad (2)$$

Fuente: Rein (2012)

Donde:

WST: Medición de Brix en el homogenizador

WSD: Medición de Brix en el desintegrador

mCD: Masa de caña en el desintegrador

mWD: Masa de agua en el desintegrador

WFC: Se asume un 25% de agua libre de Brix en la fibra de caña

3) Índice de capacidad de desplazamiento. Este método mide la extracción de pol luego de revolver agua durante 15 minutos (Payne 1962).

De manera general los tres métodos generan diferentes resultados. Pero el PI y el POC son los más aceptados (Rein, 2012).

4) Diferencias entre el PI y el POC. El PI usa Brix Refractométrico mientras que el POC utiliza polarización (Rein, 2012). El PI homogeniza la muestra de caña durante un periodo más largo. Rein (1972) demuestra que el Brix del extracto podría ser aproximadamente 1.1 veces el Brix luego de 10 minutos. El método de cálculo utilizado para obtener el POC es riguroso mientras que el cálculo del PI es simple aproximación (Rein, 2012).

5. Picadoras de caña

a. Niveladores. Los niveladores tienen como objetivo mantener una altura estable del colchón de caña que alimenta las picadoras o a la desfibradora. Los niveladores están instalados sobre el conductor principal de caña y la función de estos es regularizar la carga sobre los equipos de preparación y ayudar a mantener un nivel más estable. Los niveladores generalmente operaran a velocidades relativamente bajas y con una altura de 500 a 1500 mm sobre el conductor y el consumo promedio de potencia de estos es pequeño.

b. Picadoras. La función es cortar la caña en trozos pequeños, ocasionalmente preparando la caña para que a una herramienta de corte posterior (desfibradora) se le facilite su operación, por lo tanto, el esfuerzo sea menor. Normalmente las máquinas picadoras utilizan cuchillas rectas y con menor frecuencia cuchillas curvadas al estilo azadón (Rein, 2012).

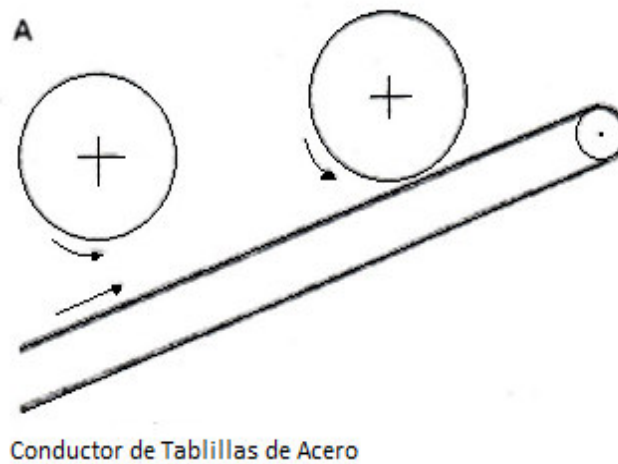
Las picadoras dejan una gran porción de celdas sin romper, por lo que las picadoras por sí mismas no pueden llegar a proporcionar el grado de preparación que es posible con una desfibradora (Rein, 2012). Con el uso de picadora Moor (1924) obtuvo valores de PI de 65 a 70 en Maidstone y Marson (1980) valores entre 62 y 83 en Amatikulu. Con las picadoras se pueden alcanzar valores más elevados de preparación utilizando cuchillas romas sin filo, que la hacen actuar más como una desfibradora. Pero puede ser difícil lograr una buena capacidad de procesamiento con cuchillas romas. El uso de estas cuchillas en picadoras en Cora Texas ha perdido alcanzar PI de 85. Un PI ligeramente por encima de 80 es probablemente el límite para picadoras convencionales (Rein, 2012).

En las fábricas de Suráfrica se reportan que utilizando solo picadoras (generalmente 2) se alcanzan velocidades periféricas o de punta del cuchillo de 60 m/s comparado con el rango de 30 a 80 m/s utilizando usualmente dos juegos de cuchillas rotativas, a veces denominadas como primera y segunda picadoras (Reid, 1994). La primera picadora opera con una holgura de 200 mm o más desde el conductor de tablillas o el rodillo de yunque. Mientras que la segunda picadora opera como una holgura de 50 mm o menos. Generalmente se utilizan cuchillas rígidas, o para minimizar el daño cuchillas basculante si existen numerosas rocas u otra materia extraña.

Rein (2012) da a conocer lo siguiente: “La rotación convencional de cuchillas picadora significa que la picadora gira en dirección tal que las cuchillas se mueven por debajo del eje en igual dirección que la caña sobre el conductor. En algunos casos utiliza rotación inversa, en un intento de alcanzar mejor preparación de caña, que las picadoras”.

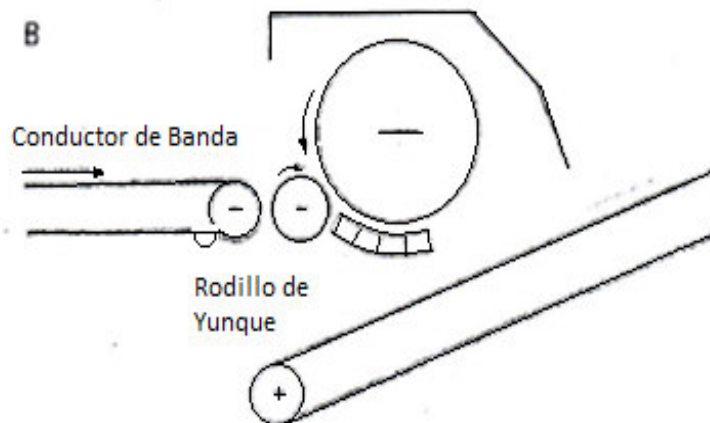
En las figuras 2, 3, 4, se puede apreciar tres tipos de arreglos para picadoras.

Figura 2: Dos picadoras sobre conductor de tablillas de acero



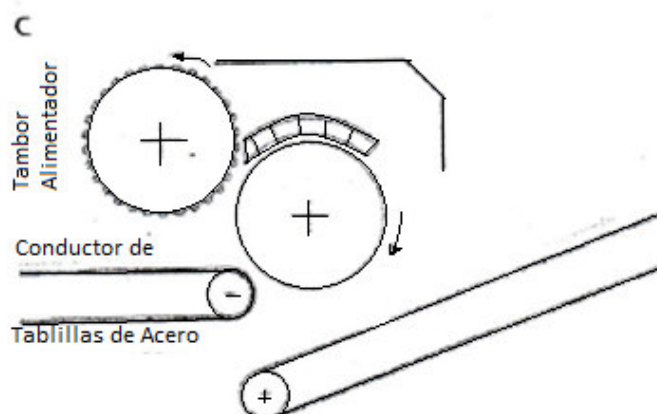
Fuente: Rein (2012)

Figura 3: Picadora con conductor de banda



Fuente: Rein (2012)

Figura 4: Picadora de rotación inversa con tambor alimentador y yunque



Fuente: Rein (2012)

1) Velocidad de cuchillas y potencia requerida en máquinas picadoras. Las picadoras pueden llegar a velocidades en el rango de 400 a 700 min^{-1} con transmisiones de reducción utilizando motores eléctricos o turbinas de vapor (Rein, 2014). La potencia consumida de las picadoras debería estar relacionada con el número de cuchillas, la holgura de trabajo, la profundidad de corte, fricción, etc. Hugot (1986) sugiere que la potencia está relacionada más con el flujo de fibra que con el flujo de caña.

La calidad de la caña es un factor que influye en la potencia, es decir la caña sucia consume mucha más potencia que la caña limpia. Por lo que la potencia instalada en las picadoras debe ser capaz de soportar flujos de caña sucia (Rein, 2012).

Nicklin (1967) realizó pruebas en cuatro fábricas de Australia, estableciendo los requerimientos típicos de potencia instalada que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Requerimientos de potencia instalada en máquinas picadoras y desfibradoras (en kWh) t_c .

Máquina de preparación	Tallos enteros de caña	Caña trozada
Picadora # 1	1.8	0.45
Picadora # 2	1.9	0.67

Fuente: Nicklin (1967)

El consumo de potencia es mayor para tallos enteros de caña que la caña procesada mecánicamente. Por lo que la potencia instalada debe tomar en cuenta estas fluctuaciones (Rein, 2012).

El tamaño del motor es dictado por el máximo valor de los picos de carga. Rein (2012) observó que el acoplamiento de los accionamientos de dos máquinas picadoras redujo los picos de carga aproximadamente un 25%. Esto se dio en picadoras con las siguientes características:

- Las velocidades típicas de 500 a 600 min^{-1} .
- Diámetros de 1500 a 1700 mm.
- Velocidades periféricas en el rango de 40 a 53 m/s.
- Las holguras típicas estaban cerca de 400 mm para la primera picadora y menores a ese valor en la segunda picadora.

Hugot (1986) dio a conocer valores dados por Farrel para la potencia consumida en picadoras operando a 600 min^{-1} de 1.8 (kwh)/ t_c con un paso de cuchillas de 20 mm y una holgura de 25 mm y de 1.5 (kwh)/ t_c para pasos de cuchillas de 38-50 mm con holguras de 150-200 mm. La potencia instalada debe estar 33% por arriba de estas cifras.

La potencia promedio instalada en máquinas picadoras en fábricas de azúcar al sur de África es 50(kwh)/ t_f , con la mayoría de fábricas en un rango de 30 a 70 (kwh)/ t_f . Esto corresponde aproximadamente a 7.5 (kwh)/ t_c . Estas cifras son mayores que los valores reportados por Nicklin (1967), reflejando la tendencia más reciente a dedicar más potencia para lograr un picado más intensivo (Rein, 2012). La potencia específica instalada se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2: Valores promedio de la potencia instalada en fábricas Surafricanas, mostrando el rango de valores entre paréntesis.

Máquina de preparación	(kWh)/ t_f	(kWh)/ t_c
Nivelador	8 (2-25)	12 (0.3-3.8)
Picadora convencional	18 (8-38)	2.7 (1.1-5.6)
Picadora de rotación inversa	24 (15-35)	3.6 (2.1-5.4)

Fuente: Rein (2012)

La potencia requerida depende del diseño de las máquinas picadoras. Para picadoras que busquen operar con un máximo desempeño. La Tabla 3 presenta recomendaciones sobre la potencia específica a instalar y la velocidad periférica en la punta de la cuchilla.

Tabla 3: Potencia instalada, velocidad periférica y holgura recomendadas para máquinas picadoras de caña.

Máquina de preparación	Potencia específica en (kWh)/t _F	Velocidad periférica de punta en m/s	Holgura típica de punta en min
Nivelador	6	50	1000
Picadora # 1	15	60	200
Picadora # 2 (trabajo pesado)	29	60	50
Total	50		

Fuente: Rein (2012).

2) Detalles sobre las cuchillas y rotores de picadoras. Rein, (2012) hace mención de lo siguiente: “El rotor típico de máquinas picadoras consiste en un eje sobre el cual se montan 20 o más brazos soporte de cuchillas. Las cuchillas se fijan en los extremos de brazo, los cuales se montan escalonándose angularmente a lo largo del eje”.

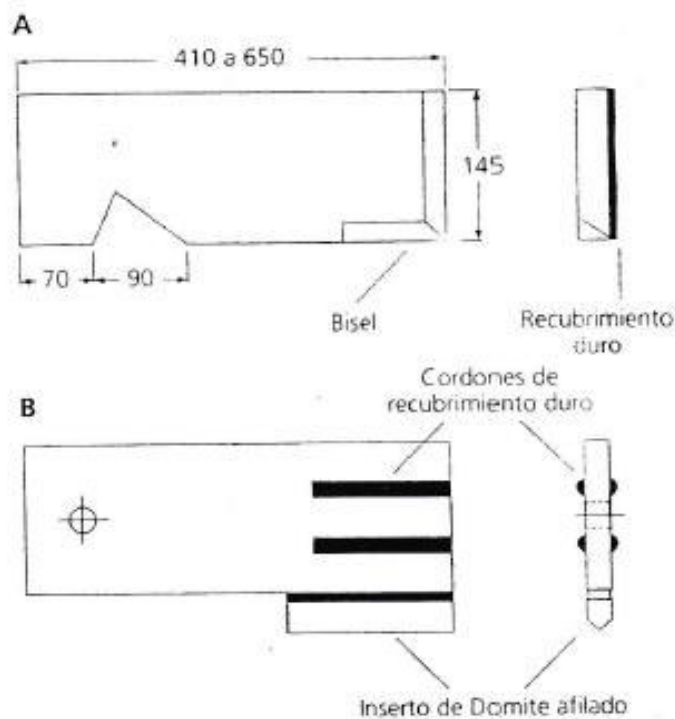
Las cuchillas pueden construirse de manera que sean fácilmente removibles para su reemplazo o reconstrucción. El paso entre cuchillas estáticamente 150-200 mm para primeras picadoras y 50-75 mm en segundas picadoras. Generalmente el diámetro descrito por la punta de las cuchillas se encuentra en el rango de 1.5 a 2.4 m. En casos donde no se cuenta con desfibradoras, las picadoras usualmente tienen que ser más robustas, algunas veces incorporando martillos basculantes para minimizar el daño debido a rocas o pedazos de metal. Sin embargo, si no existe presencia de rocas es preferible utilizar cuchillas rígidas, dado que requieren menos mantenimiento (Rein, 2012).

Las cuchillas pueden sujetarse con tornillos a los brazos soporte o utilizando un sistema de suelte rápido en el cual un solo pin sujeta a la cuchilla al brazo. La fuerza centrífuga y la fuerza de reacción de la caña sobre la cuchilla actúan ambas en la misma dirección, manteniendo a la cuchilla ubicada firmemente en su posición de operación. Las cuchillas generalmente son construidas a partir de platinas de acero templado de aproximadamente 20 mm de espesor. Pueden proveerse de títulos de corte mediante forjado o cortando con gas biseles sobre la cara de ataque que enfrenta a la caña y la cara en la punta. La superficie plana usualmente se protege como una capa de recubrimiento duro que refuerza al borde de corte. A medida que el acero de la cuchilla se desgasta. El recubrimiento duro permanece y mantiene en la arista de corte afilada (Rein, 2012).

Insertos metálicos duros de hierro blanco se han logrado exitosamente en numerosas aplicaciones en industrias donde la materia extraña tal como rocas no está presente. Los insertos duros son frágiles y generalmente insatisfactorios en sitios donde abundan las rocas. Diseños de cuchillas típicos son ilustrados en la Figura 5. En algunos casos se utilizan como insertos barras de Domite sin afilar, las cuales se han encontrado que consumen más potencia y logran un mayor grado de preparación. (Rein, 2012).

Figura 5: Ejemplos de diseño de cuchillas de picadoras.

A: Cuchilla con recubrimiento duro y sistema de suelte rápido; B: Cuchilla con inserto de metal duro (Domite) (dimensiones en mm).



Fuente: Rein (2012).

c. Desfibradoras

1) Estructura. Cuentan con martillos que se posicionan dejando una estrecha holgura entre la punta del martillo y un yunque que cuenta con barras localizadas en posiciones angulares apropiadas respecto a la rotación de los martillos. Es importante utilizar holguras estrechas para lograr una preparación fina del tipo requerido (Rein, 2012).

2) Funcionamiento. El impacto de los martillos revienta a los pedazos de caña a medida que éstos caen libremente en la desfibradora (Cullen y McGinn 1974). Mientras

que el yunque retorna las partículas dentro de la trayectoria de los martillos de manera que puedan ocurrir más impactos (Rein, 2012).

Características generales:

- Velocidades de rotor de 1000 y 1200 min^{-1}
- Diámetros de barrido en el rango de 1.4 hasta por encima de 1.9 m
- Velocidades periféricas de las puntas entre un rango de 65 y 110 m/s

3) Tipos de desfibradoras. Los tipos de desfibradora pueden clasificarse así:

a) Desfibradoras de trabajo liviano. Estos están representados por las desfibradoras Searby y Gruendler, las cuales no son muy diferentes en construcción, pero la Searby tiene martillos relativamente livianos (2 a 3 kg), mientras que la Gruendler tiene martillos más pesados (6 a 7 kg). Ambas máquinas operan típicamente a 960 min^{-1} con un diámetro de 1520 mm, resultando en una velocidad periférica en la punta de 76 m/s.

Existen aún varias de esas máquinas en operación, pero no son efectivas para alcanzar la buena preparación (Rein, 2012).

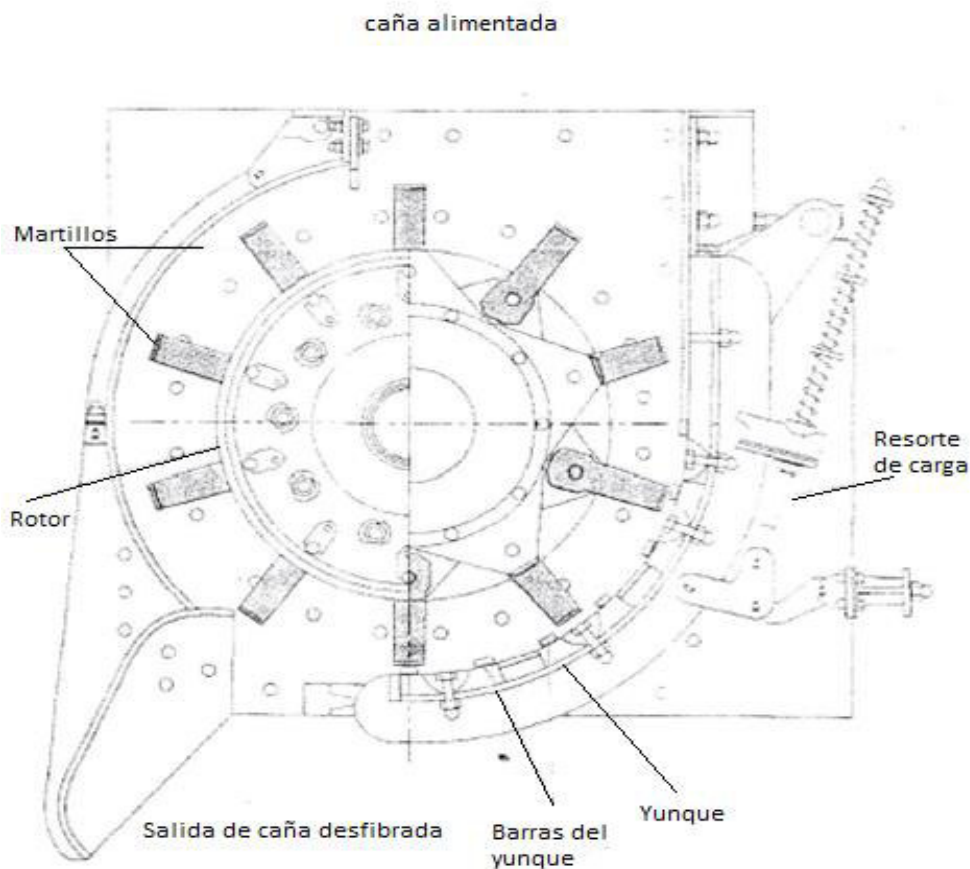
b) Desfibradoras de trabajo pesado. Rein (2012) menciona que los tres tipos principales de desfibradoras del trabajo pesado son:

Desfibradoras Silver-Buster y Fiberizer. Estas desfibradoras de martillos basculantes fueron desarrolladas en Hawai. Ambas máquinas contaban con rodillos alimentadores de velocidad variable instalados por encima del rotor. La Buster tenía un yunque con espacios abiertos entre las barras, mientras que el Fiberizer era más parecido a las desfibradoras convencionales. Ambas llegaban a tener un consumo de potencia de hasta 130 (kwh)/t_F. La configuración de estas máquinas se basó en la creencia de que eran necesarias dos etapas de desfibrado para lograr la preparación requerida. Esto ya no es válido y estas desfibradoras no se encuentran en nuevas instalaciones.

Desfibradora Walkers. Inicialmente fue introducida con un diámetro de 1.53 m usando martillos de 15 kg que rotaban a 1200 min^{-1} y consumían 75 a 80 (kwh)/t_F. Las versiones siguientes han incrementado el diámetro hasta 1.83 m y tiene un amplio ángulo de arropamiento sobre yunque. Una desfibradora similar es también suministrada en Australia por Bundaberg que actualmente ha absorbido a Walkers.

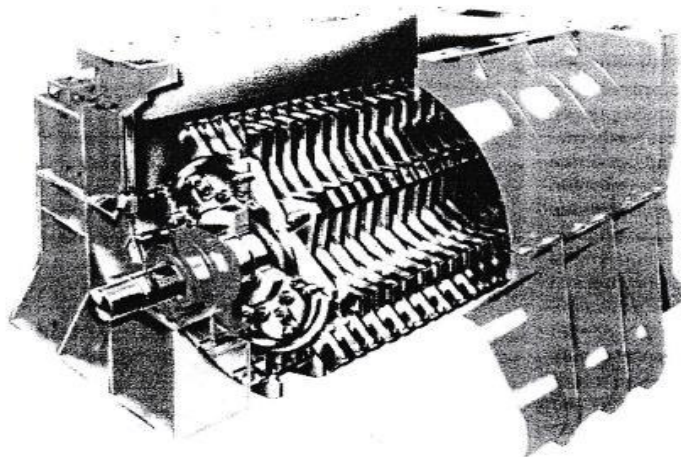
Desfibradora Tongaat. Fue desarrollada en Sudáfrica y tiene semejanza en dimensiones y velocidad a la desfibradora Walkers, pero tiene un rotor con placas separadoras perfiladas que se alternan escalonadamente en lugar de discos circulares y espaciadores. Típicamente se utilice un juego de 168 martillos de 20 kg cada uno distribuidos en 8 a 10 filas. El diámetro descrito de barrido fue inicialmente 1.5 m, pero desfibradoras posteriores han tenido un diámetro descrito de 1.8 m. El ancho de los martillos está determinado por el espesor de las placas. La mayoría de las desfibradoras de este tipo tienen 2.13 m de ancho, aunque también se han suministrado unidades más amplias. Ver figuras 6 y 7.

**Figura 6: Vista de corte de desfibradora Tongaat
(Cortesía de Fletcher Smidh)**



Fuente: Rein (2012).

**Figura 7: Vista en corte isométrico de desfibadora Tongaat
(Cortesía de Fletcher Smidth)**



Fuente: Rein (2012).

c) Desfibadoras híbridas. Rein (2012) clasificó a las desfibadoras híbridas de la siguiente manera:

Unigrator. El unigrator combina características de las picadoras y las desfibadoras (Ducasse 1974). Se ubica a la cabeza del conductor de caña. El rotor gira a velocidades de hasta 1000 min^{-1} , lo cual con un diámetro de barrido de 1.68 m conduce a velocidades periféricas de punta de 88 m/s. La potencia instalada es aproximadamente 15.5 (Kwh) /t_i (aproximadamente 2.3 (Kwh) /t_c).

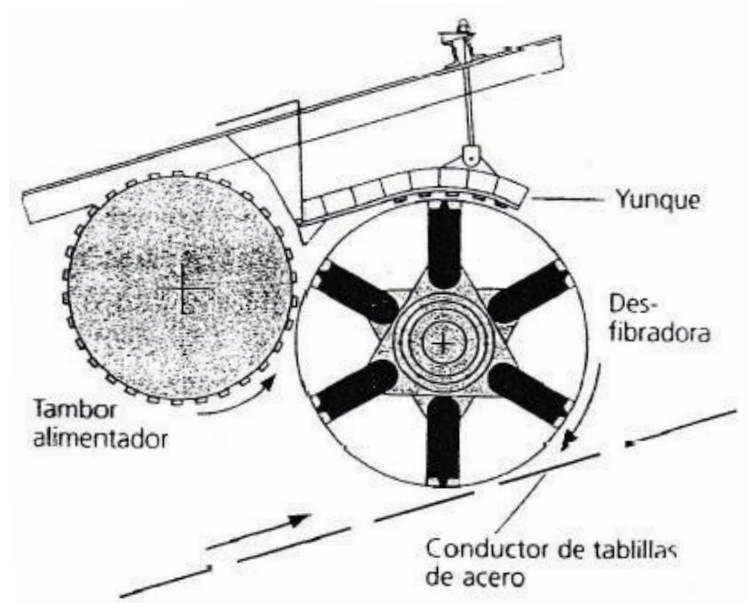
Puede manejar tallos enteros de caña, combinando el cargo y desfibrado en una sola máquina, aseverándose que es posible alcanzar hasta 81 POC. Sin embargo, se requiere un flujo muy uniforme de caña a la máquina.

Las cuchillas cortan hacia arriba a través del colchón de caña en el conductor. Los pedazos cortados son arrojados hacia arriba y caen aún yunque contra del cual son desfibrados por las cuchillas. La apertura típica en el yunque es de 10 a 35 mm. Un mecanismo de resorte conectado a yunque permite el paso de piedras y pedazos de hierro. Una versión cuenta con martillos basculantes para mayor protección.

Desfibadora Copersucar. La primera desfibadora horizontal en Brasil fue instalada por Deon Hulett (Crossman 1994). Esta es similar en el arreglo de picadoras de rotación inversa de Sudáfrica, con una placa yunque por encima de rotor y un tambor alimentador frente al rotor. La

máquina funcionó con una velocidad periférica en la punta de los martillos de 60 m/s, mientras que el tambor alimentador tiene una velocidad de 15 a 20% mayor que la velocidad del conductor. Se utilizó una apertura estrecha entre la punta de los martillos y el conductor. Se puede llegar a alcanzar un índice de preparación de 80 a 85. Un arreglo típico se presenta en la Figura 8.

Figura 8: Desfibradora Copersucar

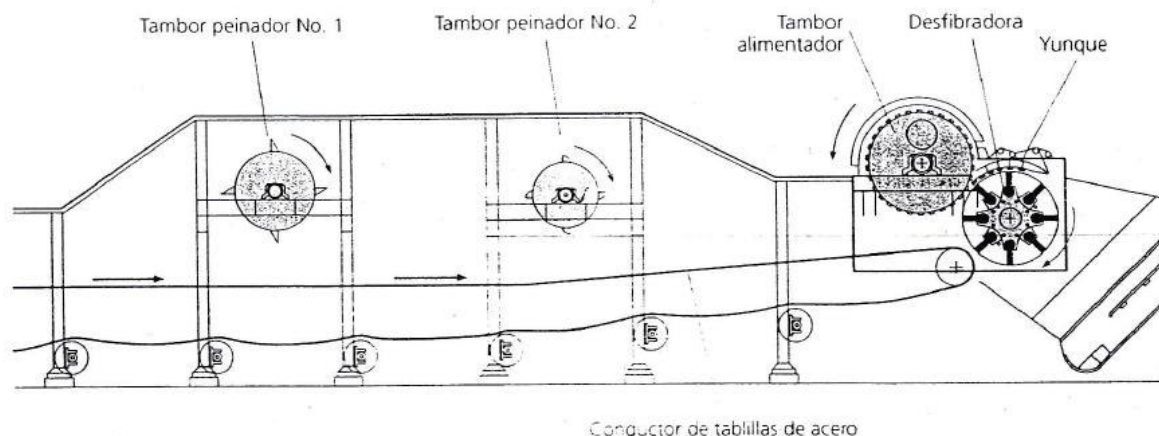


Fuente: Rein (2012)

Desfibradora de tallos enteros: En Hawái, Sullivan modificó un unigrator adicionándole justo antes de la máquina un tambor alimentador motorizado. Posteriormente un unigrator fue modificado y actualizado en Mauricio, el cual evolucionó a una desfibradora para tallos enteros.

El desarrollo de estas máquinas se encontró con numerosos problemas, pero existen varias unidades operando en diferentes países africanos con diferentes grados de éxito. Se puede llegar a alcanzar un índice de preparación de 90. Un arreglo típico general se presenta en la Figura 9.

Figura 9: Configuración general de instalación de desfibradora para tallos enteros de caña (cortesía de Forges Tardieu).



Fuente: Rein (2012)

Las desfibradoras de tallos enteros tienen varias ventajas y desventajas:

Ventajas:

- puede efectuar los trabajos de picado y desfibrado en una sola operación reduciendo por lo tanto el costo de instalar y mantener picadoras.
- En promedio se requieren menos potencia total.
- no sufre daños por rocas; esto ha sido bien establecido en Mauricio, donde se representa una importante ventaja.
- Requieren menos espacio y conductores más cortos, dado que no se tiene necesidad de ganar altura para alimentar a una tolva convencional de la desfibradora.
- El costo global de instalación es menor (Cross-man, 1994).

Desventajas:

- La potencia instalada debe ser mayor que para una desfibradora convencional, debido a los mayores picos de potencia que se experimentan en la práctica.
- Si se emplea un motor eléctrico, el grado de deslizamiento en el circuito rotor necesita escogerse cuidadosamente (Cross-man, 1994).
- Es esencial contar con un buen sistema de control de alimentación de caña. Si el colchón es muy alto pueden originarse atoramiento, mientras si el colchón es muy bajo no se tienen el agarre de la caña requerida para alimentar la desfibradora y se pierde efectividad.

- Problemas con los rodamientos y materiales del eje han sido reportados por Cross-man (1994). Es necesario que eje y soportes de eje sean diseñados adecuadamente con ejes de acero altamente aleado tratados apropiadamente (Rein, 2012).
- Tiene que ser alimentada con conductores de tablillas. No hay opción de emplear conductores de banda.

4) Alimentación de desfibradoras. Es necesario lograr una alimentación estable de las desfibradoras para obtener consistentemente buenos resultados de preparación sin tener picos innecesarios en la demanda de potencia. Varias configuraciones han sido propuestas para alimentación de las desfibradoras.

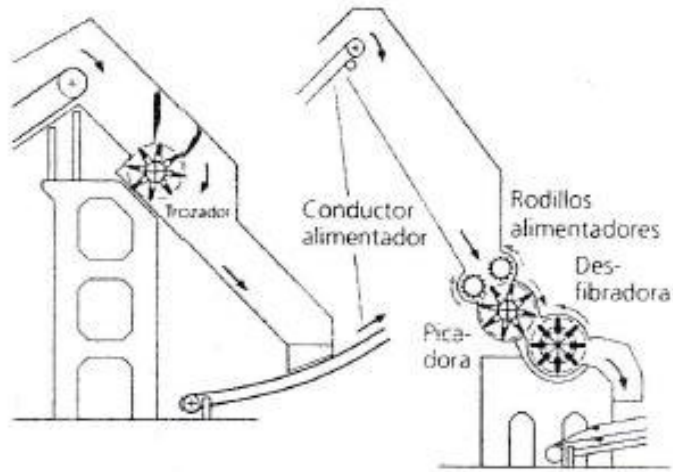
Es importante dirigir el flujo de caña hacia el “nip” o apertura donde los martillos encuentran el área de yunque. La caña choca contra la placa de alimentación y se desliza hacia el nip (Rein, 2012). Es también importante que la placa de alimentación este a ras con la arista de la primera barra de yunque. La proyección de la primera barra causa pulsos en alimentación y puede causar atoramientos (Greenwood, 1971).

En Suráfrica varias instalaciones cuentan con un juego de cuchillas pateadoras que propulsa a la caña hacia la desfibradora. Estas cuchillas tienen velocidades periféricas de punta que son aproximadamente iguales a la mitad de la velocidad periférica de la desfibradora y efectúa un trabajo minúsculo en términos de preparación, lo que se evidencia en un mínimo desgaste de las cuchillas. Dos configuraciones diferentes de alimentación se presentan en las figuras 10 y 11.

La primera configuración representa el diseño original para Felixton en Suráfrica (Renton, 1992), que no ha operado satisfactoriamente debido a que la caña trozada en la fábrica no desciende por la tolva de la desfibradora como si fuesen trozos de caña cosechada mecánicamente; se encontró que la caída intermitente de caña dificulta el control de nivel.

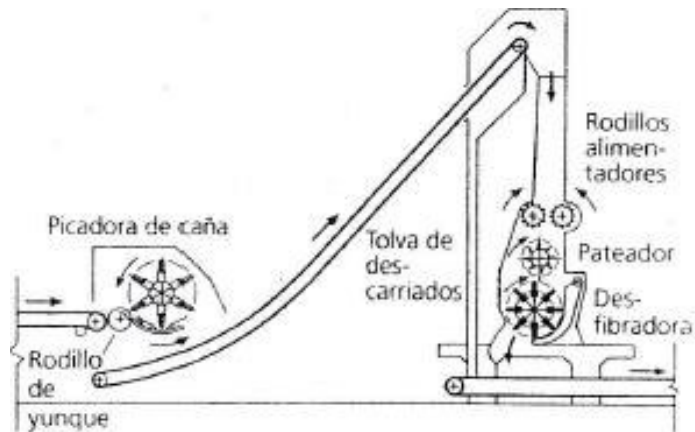
La segunda configuración es la preferida de acuerdo con Renton (1992), que cuenta con una tolva de alimentación vertical e incluye dos rodillos alimentadores y un pateador con cuchillas que empujan la caña hacia el nip de la desfibradora.

Figura 10: Configuración de la estación de la preparación en Felixton.
Configuración preferible para una estación de preparación.



Fuente: Rein (2012)

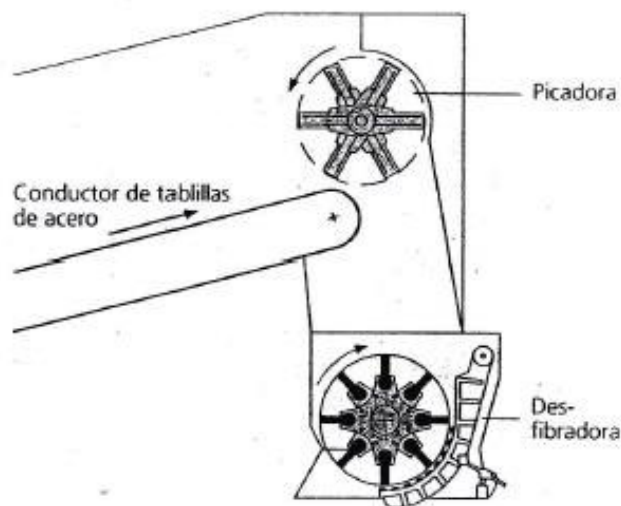
Figura 11: Configuración de la estación de preparación de acuerdo con Renton (1992)



Fuente: Rein (2012)

Un arreglo más simple y desahogado en algunos casos, el cual utiliza un juego de cuchillas que cortan sobre el eje de cabecera del conductor que alimenta a la desfibradora, dirigiendo a la caña hacia la placa alimentadora o hacia el nip de la desfibradora. Esto se muestra en la Figura 12. De igual manera pueden trabajar un juego de cuchillas actuando como pateador a una mayor distancia del eje de cabecera (Rein, 2012).

Figura 12: Configuración de una desfibradora de trabajo pesado alimentada con una picadora



Fuente: Rein (2012).

Otras instalaciones:

Crawford (1970) propuso como configuración óptima una tolva inclinada 60° con respecto a la horizontal provista con un par de rodillos alimentadores. Leticia y McDougall (1989) describen el desarrollo de una máquina desfibradora de trabajo pesado alimentada con una tolva de ángulo de 60° con un par de rodillos alimentadores. El ángulo de contacto en el rodillo inferior fue reducido a 55° para lograr confiabilidad en la alimentación.

Según Rein (2012) el uso de rodillos alimentadores resulta en un mejor desempeño asegurando que la desfibradora no sea sobrecargada y conduciendo a un consumo de potencia más regular. Los rodillos también proporcionan una reducción de ruido significativa y además pueden ser empleados como métodos para controlar la tasa de molienda en la planta de extracción, aunque Marson (1980) muestra que con una misma velocidad de los rodillos alimentadores la tasa de caña sin quemar es aproximadamente 20% inferior que la tasa de caña quemada, es decir que la capacidad volumétrica es afectada por la presencia de materia extraña.

La experiencia en Australia sugiere que una tolva vertical con rodillos alimentadores trabaja satisfactoriamente, sin necesitarse cuchillas pateadoras. Los rodillos alimentadores requieren muy baja potencia típicamente alrededor de 10 kW, aunque la potencia instalada es

mucho mayor. Algunas nuevas instalaciones utilizan motores de velocidad variable montados sobre bridas con transmisión reductora en cada rodillo.

De acuerdo con Cullen (1986), los rodillos alimentadores mejoran el desempeño debido al amplio ángulo de arropamiento que se logra.

5) Factores que afectan la preparación de caña. En Australia se realizaron una gran cantidad de estudios para identificar los factores que afectan al grado alcanzado en la preparación de caña. La velocidad de operación de los martillos ha mostrado tener efecto más significativo. La operación de una desfibradora a 1200 min^{-1} en lugar de 960 min^{-1} mostró incrementar el POC en seis unidades (Cullen 1986). Éstos corresponden a velocidades periféricas en la punta de 91 y 73 m/s respectivamente.

La apertura o ajuste entre los martillos y las barras de yunque tiene poca influencia en el rango de 0 a 10 mm de apertura. Sin embargo, por encima de este rango el PI alcanzado puede caer rápidamente a medida que la apertura se incrementa (Marson 1980; Cullen 1986).

Marson (1980) mostró también que la velocidad de la desfibradora tiene mayor efecto sobre la preparación, mientras que flujo de caña y el grado de picado alcanzado previamente a la desfibradora no tienen efecto sobre el PI alcanzado. Esto soporta la teoría de que usar picadoras antes de la desfibradora es innecesario y no mejora significativamente la preparación.

Se considera que el número de filas de martillos y la masa de los martillos tampoco afectan la preparación alcanzada. Cullen y McGinn (1974) mostraron que martillos de 15 kg no basculan hacia atrás. Por lo tanto, no puede haber justificación para el empleo de martillos más pesados.

Según (Rein, 2012) se espera que el efecto del ángulo de arropamiento de yunque sea significativo. Dado que se asume que la función de las barras de yunque es propulsar a los trozos de caña dentro de la trayectoria de los martillos de madera que puedan ocurrir más impactos, un mayor ángulo de arropamiento debe facilitar un mayor número de impactos. El incremento de la longitud de yunque de 90° a 160° aumenta el POC entre 3 y 7 unidades, dependiendo de la configuración (Cullen, 1986).

Se ha reportado que el grado de preparación alcanzado con una misma potencia varía con diferentes variedades de caña (Cullen, 1986), sugiriendo un efecto de la dureza de la caña.

6) Tamaño y capacidad de desfibradoras. La capacidad de una desfibradora es proporcional a su amplitud y raramente excede 250 tc/h por m de ancho (Cullen y Mckay 1993). Sobre esta base una desfibradora de 2134 mm de ancho deberá tener una capacidad máxima de 534 tc/h (Rein, 2012).

Una extensa experimentación con una desfibradora de trabajo pesado de 2134 mm de ancho en Amatikulu llevó precisamente a tasas de 534 tc/h y 76 ti/h (Marson, 1980). Esto confirma que la cifra de 250 tc/h por m de ancho es posible, aunque Marson no intentó examinar el límite de capacidad (Rein, 2012).

Experiencias en Tailandia han mostrado que tasa significativamente mayores, de hasta 350 tc/h por m de ancho, son posibles siempre que se cuente con un alimentador. Pero esto aún necesita ser confirmado operativamente en la práctica.

La capacidad es afectada por la forma en que la desfibradora se alimenta. Una alimentación estable y dirigida hacia el nip entre los martillos y la entrada de yunque debe brindar máxima capacidad. En el caso de que la potencia de accionamiento sea un factor limitante, elevados niveles de materia extraña limitará la capacidad debido a que la potencia requerida para procesar caña sucia es más elevada. Si se expresa la capacidad en términos de la tasa de fibra, se podrá llegar a tomar parcialmente en consideración este efecto (Rein, 2012).

7) Detalles técnicos del diseño de desfibradoras de trabajo pesado.
Características generales:

- Es removible, para facilitar su mantenimiento o reemplazo con otro repuesto.
- Generalmente el yunque es ajustable en dos direcciones, de manera que la apertura entre martillos y barras de yunque a lo largo de toda su longitud pueda ser ajustada.
- Las barras de yunque son individuales y removible para su reemplazo o reconstrucción.
- Un mecanismo de seguridad en forma de pasadores para cizalladura o resortes o cilindros hidráulicos se conecta a yunque para permitir el paso de pedazos de hierro previniendo que provoquen daño excesivo.

El arreglo tipo tronera brinda mejores resultados que el tipo aserrado y es mejor usar troneras amplias que angosta (Greenwood, 1971). Se sugirió que probablemente existe una profundidad mínima de las troneras, pero no una máxima; el fondo de las troneras se llena de caña y protege a las placas detenedoras que sostienen las barras de yunque. Greenwood (1971) propuso un mecanismo de desfibrado que envuelve un flujo de caña a través de la caña

compacta en las troneras. La caña se desfibra contra el colchón de caña comprimida en estas troneras. Esto protege a las barras de yunque en algún grado de manera que ésta sufre menor desgaste que los martillos.

El ángulo de arropamiento o abrasamiento en la mayoría de yunques es 90°. Un mayor ángulo es deseable para mejorar la preparación y por ello, ángulos de arropamiento de hasta 120° son comunes en nuevas instalaciones. En la Tabla 4 se muestran detalles de algunas instalaciones de desfibradoras de trabajo pesado.

Tabla 4: Detalles mecánicos en instalaciones recientes de desfibradoras.

	Tully, Australia	Mulgrave, Australia	Komati, Suráfrica
Año de instalación	1991	1991	1993
Diseño	Walkers	Walkers	Tongaat-Hullet
Longitud del rotor en mm.	2750	2500	2100
Diámetro de barrido de los martillos en mm	1830	1830	1940
Velocidad de rotación nominal en min ⁻¹	1000	1000	985
Velocidad periférica nominal en m/s	96	96	100
Barras del yunque-arreglo tipo tronera	6 barras	6 barras	8 barras
Ángulo de abrazamiento	105°	120°	120°
Martillos	12 filas escalonadas con 14 por fila	12 filas escalonadas con 13 por fila	8 filas escalonadas con 21 por fila
Masa de los martillos en kg	23	23	23.5
Potencia instalada nominal en kW	5400	4500	2000
Sistema de alimentación	Rodillos alimentadores	Rodillos alimentadores	Pateador / picadora
Accionamiento del alimentador en kW	90	75	75

Fuente: Rein (2012).

Todas las desfibradoras de trabajo pesado operan con martillos basculantes grandes que pesan entre 15 Y 25 kilogramos cada uno. Los martillos se distribuyen entre 8 y 12 filas, montados sobre barras pasadoras que atraviesa el rotor. Algunos diseños incluyen barras fijas y otras son libres de rotar. A pesar de que se considera que la cantidad de basculamiento hacia atrás o recogimiento de los martillos es despreciable, algunos martillos cuentan con bujes en el orificio que está atravesado por la barra pasadora. En caso de que se presente desgaste de los orificios, estos bujes permiten su reemplazo en lugar de descartar todo el martillo. Sin embargo,

si el desgaste es excesivo puede ser que el martillo se ha descartado antes de que desgaste del orificio comience a ser importante (Rein, 2012).

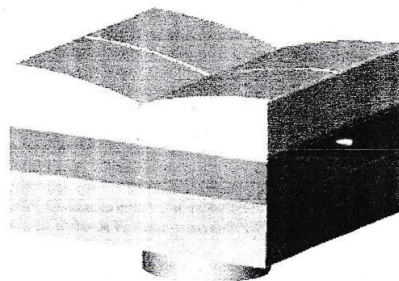
Con el arreglo de discos y separadores utilizados en las desfibradoras Walkers, se requiere que cada una de las filas de martillo cubra totalmente el ancho de la desfibradora. Una ventaja debido a la construcción con placas perfiladas escalonadas del rotor Tongaat es la posibilidad de intercalar martillo entre filas. Esto permite la construcción de los martillos a partir de platina estándar de 50 mm, mientras que se logra un descubrimiento total del ancho de la desfibradora. Sin embargo, el martillo Walkers de mayor amplitud es ventajoso cuando se emplean insertos duros sujetos con pernos (Rein, 2012).

El acero endurecido generalmente no tiene la resistencia a la abrasión que se necesita. Generalmente los martillos deben proveerse con superficies duras que pueden resistir el desgaste, debido en gran parte al suelo y a la suciedad en caña. Para este propósito los martillos son protegidos con recubrimientos duros o provistos con insertos de metales duros. Mason (1997) reportó que los pedazos de hierro son principalmente la causa de la falla por fractura de insertos metálicos duros en los martillos y no las rocas o piedras. Con esta configuración es entonces esencial contar un buen separador magnético. Los insertos de metales duros son frágiles no pueden ser empleados en muchas industrias de caña de azúcar debido a esta razón. En lugares donde la caña es cosechada mecánicamente y entregada en trozos, este problema se minimiza y los insertos se pueden utilizar con éxito.

Las puntas de carbono de tungsteno son las más duras (dureza Vickers 1100) y su resistencia a la fractura se puede mejorar biselando los bordes y adhiriendo una capa de cobre en la junta por debajo del inserto (Mason 1977). Estos insertos tienen una dureza igual a la del cuarzo o sílice en la suciedad que entra con la caña y por consiguiente tiene una vida útil más larga que los insertos de hierro blanco (Domite) o recubrimientos duros (ambos con dureza Vickers de 700 a 800), siempre que los trozos de hierro puedan ser evitados.

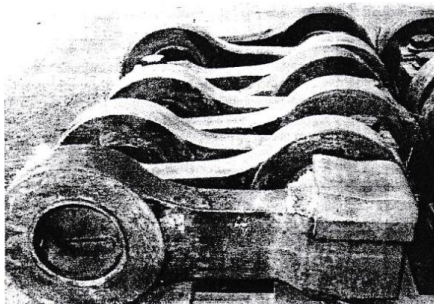
Trabajos posteriores en Australia se han referido al uso de insertos de carbono de tungsteno de incluso mayor dureza (Vickers > 1200) en un intento de fabricar puntas que puedan durar durante toda una zafra. Loughran *et al.* (2005) reportaron que la modificación de la geometría de bloques de carbono de tungsteno puede mejorar sustancialmente su resistencia a fracturas debidas al impacto con pedazos de hierro. La geometría del martillo se muestra en la Figura 13 y una fotografía de martillos utilizados en una desfibradora Bundaberg (Walkers) con insertos de geometría similar es mostrada en la Figura 14.

Figura 13: Geometría optimizada de un bloque de carburo de tungsteno para martillos



Fuente: Loughran *et al.* (2005)

Figura 14: Martillos removidos de una desfibradora Bundaberg (Walker)



Fuente: Rein (2012)

El rotor para desfibradoras de trabajo pesado es de construcción robusta y el momento de inercia del rotor es generalmente lo suficientemente grande como para eliminar la necesidad de un volante.

Los cojinetes de la desfibradora son elementos particularmente críticos en estas instalaciones, debido a las elevadas velocidades y carga. Generalmente se usan rodamientos de rodillos esféricos ubicados con aceite, siendo esencial utilizar disyuntores de flujo y presión en el circuito de aceite para asegurar que nunca lleguen a operar sin adecuada lubricación. Pueden presentarse problemas de diseño asociados con las elevadas velocidades, dado que se acerca a la máxima velocidad periférica de rodillos permisible enrolamiento anti-fricción, por lo cual deben ser seleccionados cuidadosamente (Rein, 2012).

8) Requerimientos de potencia para la preparación de caña. Crawford (1970) reportó que existe una relación significativa entre el grado de preparación y la potencia empleada, luego de estudiar en detalle la mecánica de martillos basculantes de desfibradoras. Este trabajo mostró que la potencia requerida depende de la velocidad, del número y peso de los martillos y del grado de basculamiento hacia atrás de los martillos. Se concluyó que el basculamiento de una desfibradora de trabajo pesado es muy pequeño (< 0.002).

Dos formas diferentes de expresar la potencia han sido utilizadas tradicionalmente, en kWh por tonelada de caña molida (kWh)/tc o por tonelada de fibra (kWh)/t_F. Alternativamente éstas pueden considerarse como kW por tonelada de caña molida/h y kW por tonelada de fibra/h respectivamente. La convención en Suráfrica ha sido relacionar la potencia con la fibra, pero sin embargo Nicklin (1967) y Cullen (1986) reportaron trabajos en Australia que indicaron que el contenido de fibra en caña no tiene un efecto significativo sobre el consumo de potencia y que la potencia utilizada debería relacionarse con las toneladas de caña molida y no con el flujo de fibra. De cualquier manera, en el proceso de desfibrado se involucra martillos que impactan a los pedazos de caña, donde la masa total de las partículas de caña incluyendo al jugo y la fibra debe ser tomada en consideración.

Se ha establecido que las desfibradoras Searby y Gruendler requerirán 10-12 (kWh)/t_F y 12-15 (kWh)/t_F respectivamente (Hugot 1986). En Suráfrica, Renton (1974) dio a conocer pruebas exhaustivas con picadoras y desfibradoras a principios de los años 1970, en el periodo que condujo al desarrollo de la desfibradora Tongaat. Catorce tándem de molinos fueron estudiados y se encontró con un consumo promedio de potencia de 31 (kWh)/t_F se lograba un promedio de PI de 87. Se estableció que la mejor correlación entre PI y la potencia está dada por:

$$PI = 67.3 \cdot (P/m_f)^{0.093}$$

(3)

Fuente: Rein (2012)

Si los datos de Renton se analizan relacionando a la potencia con la caña y no con la fibra, se obtiene la siguiente relación:

$$PI = 75.4 \cdot (P/m_c)^{0.093}$$

(4)

Fuente: Rein (2012)

Sin embargo, en ese entonces la mayoría de desfibradoras no lograba sobrepasar un PI de 90 y desde ese tiempo se han instalado muchas más desfibradoras de trabajo pesado.

Marson (1980) desarrolló una extensa investigación sobre el desempeño de la desfibradora Tongaat Hullett de trabajo pesado. Se encontró que el tamaño de las partículas medido por tamizado es un método más confiable para cuantificar preparación de caña que el PI.

Se mostró también que la potencia se correlaciona mejor con el flujo de caña molida que con el flujo de fibra. Al utilizar todos los datos obtenidos se puede llegar a una correlación entre potencia y PI, la cual es significativa casi en un nivel de 0.02, partiendo de 68 datos. La correlación es:

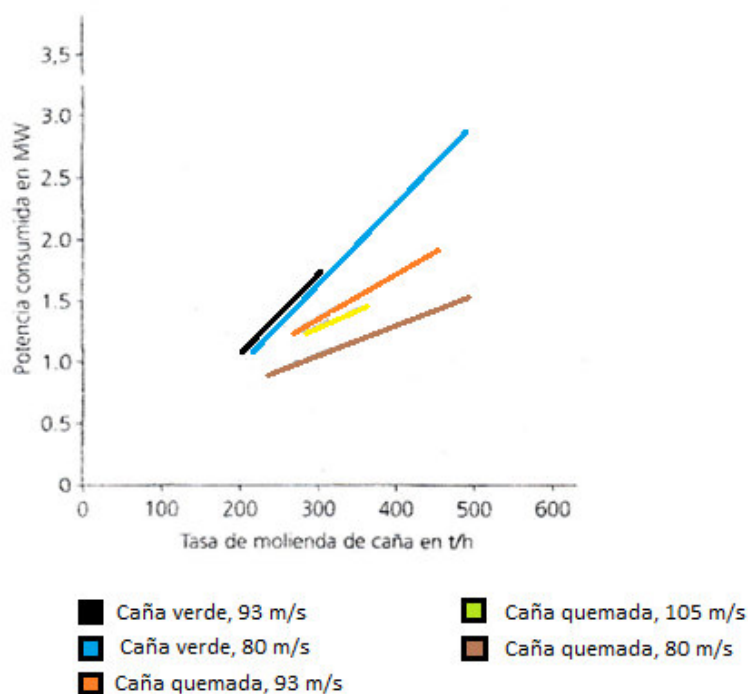
$$PI = 79.7 (P/mc)^{0.074} \quad (5)$$

Fuente: Rein (2012)

Donde: PI es el índice de preparación y P/mc está en (kWh)/tc.

Marson (1980) reportó consumo de potencia en un rango de 2.5 a 7.5 (kWh)/tc y encontró que la velocidad es el factor más importante que afecta la potencia consumida. El grado de preparación a la entrada y el contenido de fibra en la caña no tuvieron un efecto significativo. Sin embargo, caña que fue ensuciada sin quemar mostró un mayor consumo de potencia. Esto se ilustra en la Figura 15, que también ilustra el efecto de la velocidad.

Figura 15: Potencia consumida por una desfibradora de trabajo pesado Tongaat-Hulett. 2.13 m de ancho a diferentes velocidades periféricas de punta de los martillos (Marson, 1980).



Fuente: Rein (2012).

El SRI en Australia desarrolló un extenso programa de pruebas utilizando una planta piloto con diámetro a escala industrial y de 300 mm de ancho para establecer relaciones entre la masa de los martillos y su posición, la velocidad, la configuración de yunque y la variedad de caña con la potencia consumida y el nivel de preparación obtenido. Se identificó la siguiente relación entre POC y potencia.

$$POC = \frac{98.33 \cdot P/m_c}{P/m_c + 0.7943}$$

(6)

Fuente: Rein (2012)

Donde P/m_c está en (kWh)/t_c.

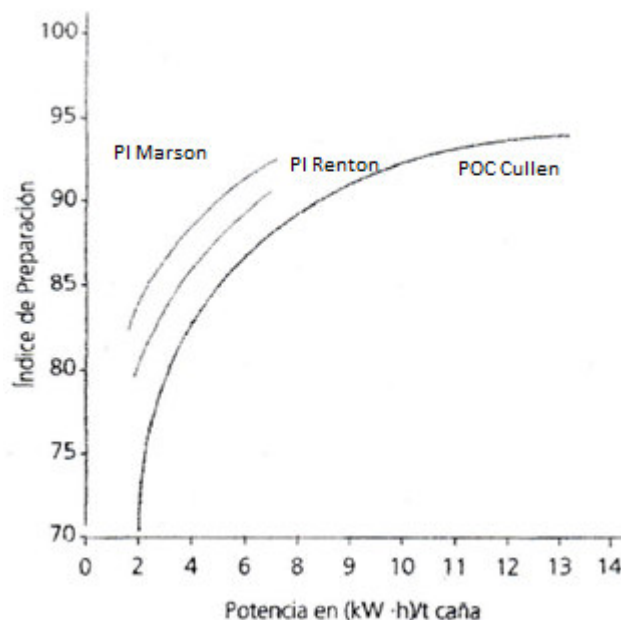
La potencia consumida fue independiente de la tasa de procesamiento, expresada en relación al flujo de caña.

Las relaciones dadas en las ecuaciones (4) a (6) se presentan juntas en la Figura 16, donde se puede observar diferencias significativas entre las correlaciones. Debe tenerse en cuenta que la ecuación (4) representa la potencia de picadoras y desfibradoras cuando la mayoría de fábricas no contaba con desfibradoras de trabajo pesado, mientras que la ecuación de Marson (5) representa la potencia consumida en una sola desfibradora de trabajo pesado y la ecuación de *Cullen* (6) representa la preparación medida en una desfibradora, pero utilizando el método australiano de POC. Comparando las ecuaciones de Marson y Cullen, alrededor de 90 PI con una misma potencia, se encuentra al PI aproximadamente cinco unidades por encima del POC.

La potencia media instalada en desfibradoras de trabajo pesado en Suráfrica es de 50(kWh)/t_F. Con un rango de 35 a 63 (kWh)/t_F. En términos de caña procesada, el promedio es 7.5 (kWh)/t_c, con un rango de 5 a 10 (kWh)/t_c. Moor (1994) recomienda una potencia instalada algo mayor alrededor de 55 (kWh)/t_F, debido a los transitorios, picos de la carga y la pérdida de filo de los martillos. Para las condiciones promedio en Suráfrica, esto corresponde aproximadamente a 8.25 (kWh)/t_c.

Al parecer para lograr últimamente un PI mayor a 90, una potencia instalada de 8 (kWh)/t_c con 50 (kWh)/t_F es lo más adecuado.

Figura 16: Representación de la dependencia de la preparación con la potencia absorbida de acuerdo con Marson (1980), Renton (1974) y Cullen (1986).



Fuente: Rein (2012).

9) Requerimientos en accionamientos mecánicos. Nicklin (1967) observó que los tipos de corriente en accionamiento de picadoras y desfibradoras juega un papel importante, determinando la potencia requerida en los motores. Se consideró el uso de volantes y el acoplamiento de accionamiento de las picadoras para reducir los picos. Las unidades estudiadas tenían receptores instalados en los circuitos de los rotores que podían brindar aproximadamente 7.5% de deslizamiento. Se sugirió como cifra apropiada un 15% de deslizamiento, pero esto es quizá muy elevado (Rein, 2012).

Boshoff (1994) analizó mediciones de potencia consumida para desfibrado y concluyó que, a pesar de las grandes variaciones en los datos reportados, una potencia instalada de 45 (kWh)/t_F es la adecuada para una buena preparación. Sin embargo, se reportaron amplias oscilaciones de carga, que son evidentes con una alimentación relativamente estable de la desfibradora. Se debe permitir cierto grado de fluctuación en la velocidad del eje para reducir picos de carga en el accionamiento. Esto es fácil de lograr con turbinas de vapor, pero no con motores eléctricos a los cuales se debe proveer con alguna resistencia externa en el circuito del rotor para prevenir sobrecargas excesivas. Boshoff (1994) presenta ejemplos de cómo así se pueden reducir efectivamente picos en la corriente del motor y anota que la resistencia externa pueda proporcionar hasta 7% de deslizamiento a plena carga cuando se utiliza accionamientos eléctricos.

Para lograr una velocidad normal en el rango de 1000 a 1200 min^{-1} , las turbinas requieren de una transmisión reductora de engranajes. Esta debe ser capaz de soportar las variaciones de carga experimentada en práctica. Como suministro de 50 Hz, un motor de 960 min^{-1} puede ser utilizado, pero requiere una transmisión para aumentar la velocidad de rotación. Con un suministro de 60 Hz un motor de 1200 min^{-1} es ideal (Rein, 2012).

La decisión entre una turbina o motor eléctrico depende de varios factores, incluyendo la distancia al suministro de vapor el balance de vapor o energía de la fábrica (Rein, 2012).

Ventaja de turbinas de accionamiento

- Buenas características de velocidad/torque.
- Habilidad para soportar transitorios de carga.

Desventajas de turbinas de accionamiento

- Alto costo de capital de turbina/transmisión de engranajes.
- Costo de líneas de vapor vivo y de escape.
- Altos costos de mantenimiento.
- Generalmente menor eficiencia.
- Procedimientos de operación más complejos especialmente durante el arranque.

Ventajas de accionamiento con motores eléctricos

- Menores costos de capital, incluso teniendo en cuenta la capacidad extra requerida en el turbogenerador.
- Facilidad de operación.

Desventaja de accionamiento con motores eléctricos

- Características de velocidad/torque "rígidas" que conducen a corrientes excesivas, a no ser que sean instaladas grandes resistencias externas de deslizamiento.
- Pérdidas en resistencias externas.

d. Operación y mantenimiento. Cuando los martillos de las desfibradoras son reconstruidos, deben ser pesados individualmente y emparejados antes de su reinstalación, de modo que se preserve el balanceo del rotor. El balanceo de estas máquinas se tiene que

examinar regularmente y corregir en caso de ser requerido. Los rotores de picadoras y desfibradoras están sujetos al desgaste abrasivo y corrosivo, así como acumulación de material extraño y deben ser revisados regularmente utilizando un sistema de monitoreo de vibraciones durante su operación normal. Si un martillo o cuchilla se rompe o desprende durante la operación, generalmente se necesita detener la máquina para remover el elemento opuesto y mantener el rotor balanceado (Rein, 2012).

El mantenimiento de cuchillas y martillos se tornan en un costo de producción importante en áreas donde una cantidad significativa de suelo ingresa con la caña. Las cuchillas generalmente requieren atención con menos frecuencia. Si las cuchillas o martillos no se han desgastado excesivamente, pueden ser recuperados mediante soldadura hasta las dimensiones originales para luego reaplicar recubrimientos duros hasta donde sea necesario. En algunos casos el extremo desgastado de la cuchilla se corta y reemplaza soldando un nuevo extremo (Rein, 2012).

Cuando el filo o borde de ataque de los martillos de máquinas desfibradora se desgasta, la preparación no es necesariamente afectada, pero pueden presentarse problemas de alimentación. Con bordes afilados, el impacto del martillo dirigirá la caña hacia la entrada del yunque. A medida que el filo se desgasta y el borde se redondea, el impacto de este puede transferir una componente vertical hacia arriba aparte de la caña, lo que puede retardar la entrada de la caña al yunque de la desfibradora (Rein, 2012).

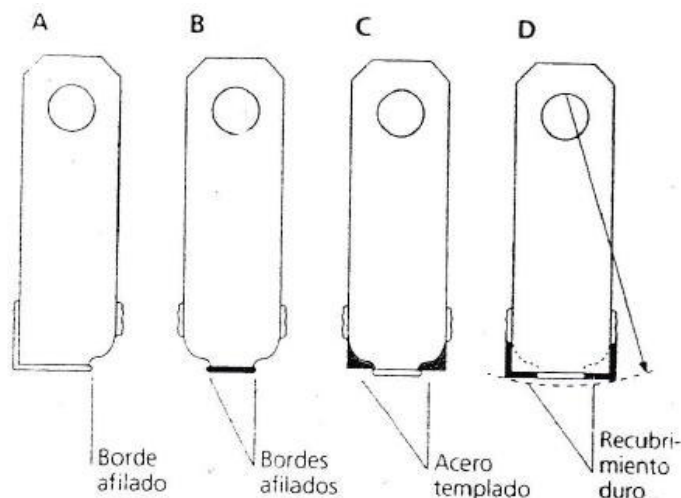
Cuando los martillos de las desfibradoras se protegen aplicando recubrimientos duros, puede hacerse que la punta del martillo mantenga su borde de ataque afilado a medida que el metal base, más suave por debajo, se desgasta a mayor velocidad. Dependiendo del desgaste de los martillos, estos se rotan para utilizar el lado de trabajo opuesto antes de ser removidos para su reconstrucción o remplazo. Los martillos se remueven para reconstrucción cuando ambos lados se han desgastado, reemplazando el acero base y re-aplicando una capa de recubrimiento duro. Es importante asegurar que en el proceso de recuperación se obtengan las dimensiones correctas.

Particularmente cuando se involucran holuras estrechas, también debe tenerse en cuenta el desgaste del ojal del martillo. Si el desgaste del ojal es significativo, el martillo deberá descartarse o en caso de tener martillos con bujes deberá procederse a reemplazar los bujes. La manera ideal para revisar la longitud de los martillos es utilizando una galga de paso/no –paso, con el martillo colgando sobre un pivote (para considerar el desgaste del ojal), debe ser posible su paso por una marca de longitud máxima mientras que no debe pasar por una marca de

longitud mínima (Rein, 2012). El proceso de desgaste y recuperación de un martillo de desfibradora se ilustra en la Figura 17.

Figura 17: Reparación de martillos de desfibradoras.

A: Un lado desgastado; B: Los dos lados desgastados; C: Reconstrucción de la base de acero; D: Aplicación de recubrimiento duro a la medida.



Fuente: Rein (2012).

El uso de insertos de metales duros en picadoras y desfibradoras se ha difundido en áreas donde la incidencia de rocas o pedazos de metal es mínima. Los insertos duros son soldados a las cuchillas de las picadoras, mientras que en los martillos el bloque de metal duro se sujeta con pernos a la cara de trabajo del martillo. Reemplazar las puntas de los martillos requiere mucho menos tiempo que remover y reemplazar a los martillos. Estos materiales duros también pueden ser utilizados en las barras del yunque para reducir el desgaste (Rein, 2012).

A veces es necesario reemplazar o reparar a las barras del yunque para asegurar la obtención de las holguras deseadas. En algunos casos se utiliza un yunque de repuesto para reemplazar el desgastado, permitiendo efectuar la reparación cuando se tenga tiempo disponible. Es muy importante asegurarse de que el yunque no sufra flexión o combadura. Cuando esto ocurre, la apertura estará ajustada solo en un punto, mientras que estará muy abierta en el resto del yunque, de manera que se obtendrán resultados más bajos. Esto es pasado por alto a menudo a pesar de tener mucha importancia (Rein, 2012).

La holgura entre martillos y yunque se ajusta desplazando el yunque hacia adentro mientras que la desfibradora opera en vacío, sin caña. El punto en el cual los martillos apenas comienzan a tocar a las barras puede ser detectado al oído si todos los martillos son de igual longitud el yunque no está combado esto asegura que la holgura estará suficientemente ajustada

para obtener el máximo desempeño de la desfibradora. Eso no se puede hacer cuando se emplea bloques de carburo de tungsteno porque estos se romperán. En estos casos debe prestarse especial atención a la geometría de los martillos y el yunque, particularmente cuando el desgaste es severo (Rein, 2012).

6. Conductores de caña

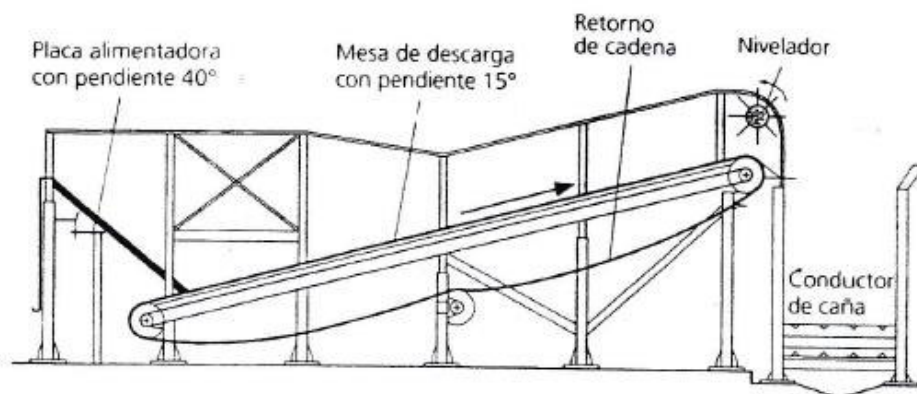
a. Mesas de caña. Se le denominan mesas de cañas a los conductores alimentadores grandes provistas de un sistema de cadenas sobre placas de acero que arrastra la caña. Éstas tienen una amplitud semejante a la longitud del camión o remolque (Rein, 2012).

Características generales:

- Ángulos de inclinación que varían desde horizontal a 35°.
- La velocidad de las cadenas está en el orden de 0.20 a 0.35m/s.
- La potencia de accionamiento instalada varía de acuerdo a la aplicación específica y los requerimientos operativos, usualmente entre 0.4 y 0.6 (kWh)/t.c.
- Las cadenas generalmente están provistas con listones o tablillas para empujar la caña.

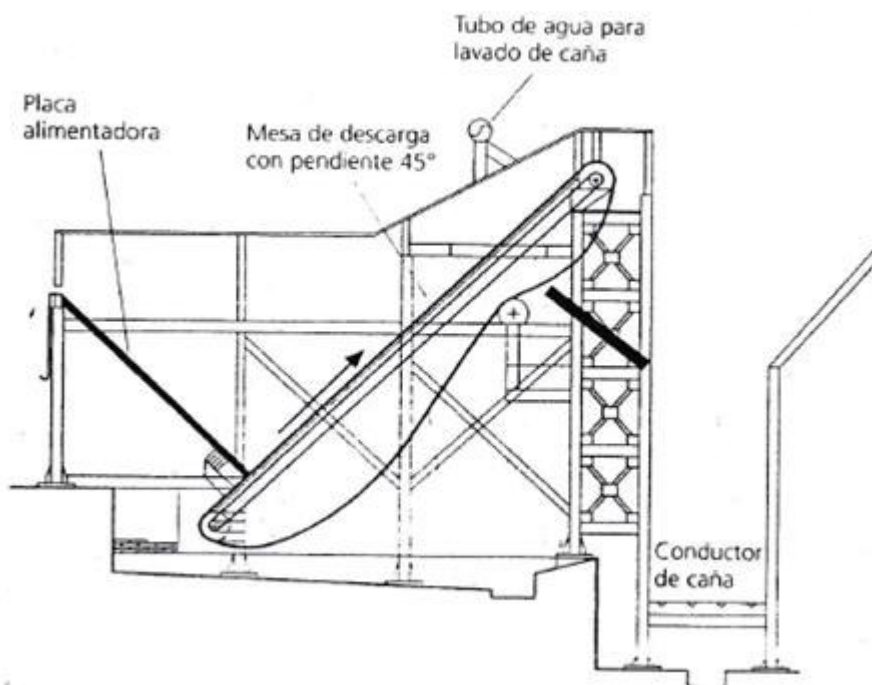
Usualmente justo antes de la caída de caña se instala un nivelador o pateador lento para asegurar que una capa uniforme de caña sea descargada sobre el conductor. En las figuras 18 y 19 se pueden apreciar dos variaciones de mesas de descarga.

Figura 18: Mesa de descarga de caña convencional



Fuente: Rein (2012)

Figura 19: Mesa de descarga de caña con pendiente 45°, adecuada para lavado de caña



Fuente: Rein (2012)

Según Rein (2012) el diseño varía principalmente por el tipo de cadena. Las principales o las más usadas son las siguientes:

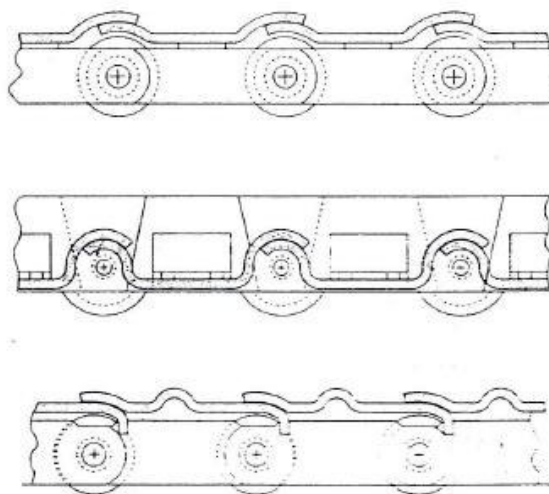
- Cadenas con 'log haul chain': Involucra a las cadenas estándar con rodillos y a las cadenas de eslabones. Estas tienen un menor costo de instalación, pero frecuentemente tienen problemas operacionales, por lo que son pocos utilizables.
- Cadenas de alta dureza: Se utilizan en el caso de manejar elevados contenidos de arena, para reducir el desgaste abrasivo. La desventaja de estas es que las muelas que tienen como función agarrar la caña producen filtración significativa de material, por lo que necesita una limpieza continua.
- Cadenas de eslabón o cadena barloop con tablillas de acero: Permite incorporar placas de cubiertas al fondo que retornan y facilitan la recolección del material infiltrado sobre un conductor adicional, resultando en una operación libre de suciedad. Relativamente poco mantenimiento es requerido en mesas de alimentación de caña.

Cuando las mesas son más inclinadas se requieren tablillas con ruedas para impulsar la caña hacia arriba en la mayor pendiente.

b. Conductores de tablillas. Es a menudo el conductor principal de caña. Están formados con tablillas de acero que tienen la misma anchura del conductor y están atornillados a dos o más cadena. Las tablillas de acero son ligeramente más anchas que el paso de la cadena. Normalmente se usan cadenas con rodillos para reducir la fricción, debido a que las cargas son elevadas y los conductores son relativamente largos. Los rodillos pueden ser substituidos con bloques de polietileno de alta densidad, los cuales pueden deslizar fácilmente sobre los rieles de apoyo reduciendo al desgaste y mantenimiento. El retorno colgante de conductor es apoyado a intervalos sobre rodillos tensores. Los piñones frecuentemente tienen un cubo divisible con antorchas y pueden ser fácilmente reemplazados.

En la Figura 20 se muestran varios diseños de tablillas.

Figura 20: Diseños de tablillas para conductores de caña



Fuente: Rein (2012)

Características generales:

- Capacidad nominal de 36 a 45 t
- Cadenas que normalmente tienen un paso de 150 mm. En algunos casos se utilizan cadenas de 300 mm en paso con mayor resistencia a la tensión.
- Operan normalmente a una velocidad de 0.10 a 0.25 m/s, pero ésta puede llegar a ser tan alta como 0.35 m/s.
- Pueden estar inclinados con un ángulo de hasta 23° respecto a la horizontal.

La tarea de estos conductores es lidiar con la acidez del jugo de caña, con arena, suciedad y ocasionalmente con rocas y pedazos de metal. Debido a su robustez, una o más picadoras de caña pueden trabajar sobre estos conductores. El mantenimiento y la selección de materiales apropiados son por lo tanto de gran importancia (Rein, 2012).

Rein (2012), indica algunas recomendaciones, las cuales son:

- Utilizar pasadores y bujes de acero inoxidable en la cadena.
- Se puede obtener un sellado adecuado entre las paredes laterales del conductor y el borde de las tablillas soldando ángulos de hierro de 80x80 mm al conductor a lo largo de toda su longitud por encima de las tablillas.
- El uso de espaciadores de 12 mm entre los soportes y las tablillas facilita el escape de la suciedad.
- Se recomienda una limpieza intermitente de la cadena utilizando vapor de escape o chorros de aire dirigidos a la cadena.
- Las tablillas no deben ser demasiado gruesas preferiblemente no exceder 6 mm, de modo que, si obstrucciones o atascamientos llegasen a ocurrir la tablilla se doble en lugar de que la cadena o el soporte se rompan.
- En el piñón se requiere tener por lo menos 12 dientes y preferiblemente 15, debido a que un mayor diámetro mejora el desempeño y la vida útil de la cadena.

Rein, (2012) menciona que los conductores necesitan una detallada inspección periódica, preferiblemente semanal buscando lo siguiente:

- Desgaste de cadena (pasadores, rodillos, bujes).
- Desgaste del piñón.
- Adecuada tensión de la cadena.
- Rotura o ausencia de pernos resquebrajados.
- Tuercas desajustadas en los soportes.
- Incipiente obstrucción o atascamiento de tablillas.
- Rotura o agrietamiento de eslabones o soportes.
- Desgaste de los rieles de apoyo.

La capacidad del conductor en tonelada de caña/h puede ser calculada con la siguiente ecuación:

$$m_C = \frac{3600 \cdot b \cdot h \cdot \rho_C \cdot u}{1000}$$

(7)

Fuente: Rein (2012)

Donde:

u : es la velocidad del conductor en m/s

b : la anchura del conductor

h : la altura media del colchón sobre el conductor

ρ_C : la densidad de caña según la Tabla 5

Tabla 5: Densidad de caña en conductores (adaptada de Hugot 1986)

Caña	Densidad en kg/m ³
Tallos de caña entera desordenados	150
Tallos de caña entera alineados en paralelo	175-225
Caña trozada en conductor	350-400
Caña preparada luego de picadoras	300-400

Fuente: Rein (2012).

La potencia requerida depende de la longitud del conductor, la cantidad de caña en el conductor y la altura a la cual se eleva. Esta es afectada por la fricción del conductor y la eficiencia del accionamiento. La fricción durante el remoto colgante puede ser importante, pero es baja cuando se utiliza rodillos tensores. La tensión de la cadena F en KN es calculada a partir del peso de la cadena y del material que se transporta y de la fuerza de fricción, siendo aproximadamente:

$$F = g \cdot (m_C + m_{cadena}) \cdot (l \cdot \mu + h) / 1000$$

(8)

Fuente: Rein (2012)

Donde:

m_C y m_{cadena} : son las masas de la caña y de la cadena (más la masa de las tablillas) en kg por m de longitud de cadena.

l : es la distancia horizontal de la cadena u es el coeficiente de fricción (0.15 para cadena sobre rodillos y 0.3 para cadena deslizante).

h : es la altura de la elevación de la caña (distancia vertical). Un factor de servicio de 1.5 a 2 es el normalmente aplicado, dependiendo de la velocidad, del número de dientes del piñón, del material, del número de cadenas y de las condiciones de operación; el fabricante debe ser consultado para establecer un factor apropiado. La cadena debe seleccionarse de manera que la carga de operación nunca exceda una sexta parte de la resistencia última de la cadena.

La potencia del motor P requerida puede ser calculada partiendo de la velocidad de la cadena u en m/s y de la tensión de la cadena en el eje motriz. Para dimensionar el motor, debe considerarse un torque de arranque del conductor completamente lleno y es apropiado aplicar un factor multiplicativo de 1.5:

$$P = 1.5 \cdot F \cdot u \quad (9)$$

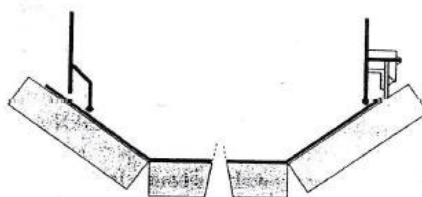
Fuente Rein (2012)

c. Conductores de banda. En toda nueva instalación se da preferencia al sistema de banda siempre que la disposición física permite acomodarlas, esto por razones de mantenimiento. Las bandas pueden utilizarse en toda aplicación de conductores de caña (Rein, 2012).

1) Conductores de banda convencionales. Rein (2012) comenta que las bandas conductoras convencionales son ampliamente usadas para transportar caña entera o caña preparada. Las bandas normalmente son de 3 capas. Algunas características de instalación específica para conducir tallos de caña entera son:

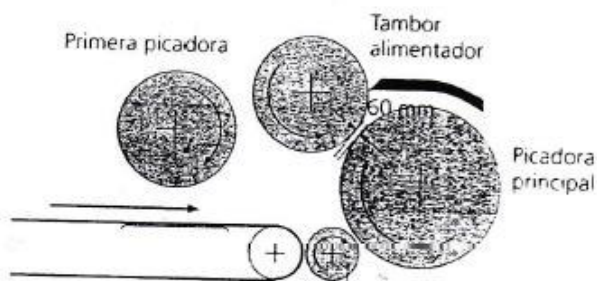
- Accionamientos de frecuencia variable con velocidades máximas de 0.5m/s.
- Distancia cercana (500 mm) entre rodillos tensores en el área de descarga donde la caña cae desde la mesa alimentadora a la banda.
- Placas de acero inoxidable instaladas debajo de la banda en lugares donde se realiza preparación sobre la banda, para reducir el daño causado por cuchillas desprendidas o trozos de metal.
- Diseño de sellos laterales. Dos arreglos típicos se muestra la Figura 21, cada uno a un lado de la banda.
- Picadoras con ajustes muy cerrados no pueden operarse sobre conductores de banda, sino que se usan tambores yunque que permiten a la picadora preparar la caña lejos del conductor de banda. Un ejemplo se presenta en la Figura 22.

Figura 21: Dos opciones de sellado para conductores de banda



Fuente: Rein (2012)

Figura 22: Disposición de tambor yunque para proteger la banda instalado en la cabecera del conductor de banda.



Fuente: Rein (2012)

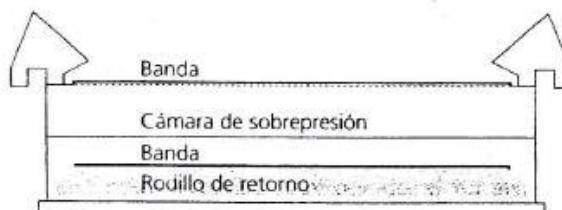
Características específicas de conductores de banda convencionales usados para caña preparados (Rein, 2012).

- Accionamientos de frecuencia variable con velocidades de banda promedio de 1.5 m/s y máxima de 2.0 m/s.
- Generalmente el ángulo de inclinación de rodillos en 20° o 35° , pero 45° también puede ser empleado.
- Placas de acero inoxidable que soporten a la banda donde la caña se descarga desde las picadoras o la desfibradora.
- El ángulo de inclinación de la banda no debe exceder 22° .
- El ancho de la banda es idéntico al ancho del molino, para asegurar una alimentación uniforme en el molino.

2) Conductores de banda con cortinas de aire. Introducido por primera vez en el ingenio Felixton en 1984. En este tipo de conductor se transportan tallos de caña entera desde las mesas de descarga hasta las picadoras de caña. Instalaciones posteriores de este tipo de conductores han incorporado bandas planas, a diferencia de las bandas cóncavas

instaladas en Felixton. En la Figura 23 se muestra una instalación típica de estos conductores y en la Tabla 6 se muestran detalles técnicos de dos aplicaciones con este tipo de conductor según Coates (1994).

Figura 23: Corte seccional de un conductor de banda con cortina de aire



Fuente: Rein (2012).

Tabla 6: Detalles técnicos de dos conductores de banda con cortina de aire

	Felixton	Komati
Longitud (centros de ejes) en m	53	22
Elevación en m	2	7.3
Ancho de la banda en m	2.1	2.1
Capacidad nominal en t/h	300	225
Velocidad de la banda en m/s	1.5	1.5
Potencia de accionamiento instalada en Kw	75	37
Potencia consumida en kW	50	22
Potencia teórica de conductor de banda convencional en kW	32	14

Fuente: Coates (1994)

Rein (2012) hace el siguiente análisis con respecto a la Tabla 6: *“Contrario a lo lógicamente esperado y a las declaraciones del fabricante, la información obtenida pareciera indicar que la potencia requerida con este tipo de conductores (excluyendo los ventiladores) es considerablemente mayor (aproximadamente 50%) que la requerida con conductores de banda convencionales. Una explicación de este fenómeno podría ser que el suministro de aire es inadecuado para soportar la banda, resultando en elevadas pérdidas friccionales. La experiencia obtenida a la fecha sugiere que puede esperar una vida útil de la banda por encima de 10 años”.*

Rein (2012) da a conocer ventajas y desventajas de este tipo de banda:

Ventajas:

- Reducción de los costos de mantenimiento (no rodillos).
- Una operación más fluida con poca perturbación del perfil del producto.

- Mayor vida útil de la banda.

Desventajas:

- Altos costos de instalación (aproximadamente 40% más que un conductor convencional).
- La necesidad de consentir un incremento en la potencia instalada para el elevado torque de arranque que se tiene cuando se reinicia luego de paros de producción.

Rein (2012) da a conocer las siguientes sugerencias: *“Se debe tener cuidado para que no se presente un impulso hacia los lados en el sitio de carga y se debe considerar de manera especial al diseño de los sellos laterales. El fondo de los conductores es usualmente construido con acero 3CR12”*.

d. Carga del conductor de caña principal. Una carga homogénea del conductor de caña principal facilita enormemente el trabajo del sistema de control y minimiza la posibilidad de que ocurran atoramientos de caña.

La caña cosechada mecánicamente facilita la uniformidad en el conductor. En cambio, en tallos de caña enteros sin quemar se dificulta un poco, debido a que la caña tiene la tendencia de permanecer unida y conduce a la formación de aglomeraciones en el conductor (Rein, 2012).

Rein (2012) hace notar que una carga homogénea se puede lograr mejor bajo las siguientes condiciones:

- Con un solo método de entrega de caña, ej. vagones ferroviarios, el flujo másico de caña está determinado por la masa descargada, y la tasa de volteado de vagones se ajusta en conformidad.
- Instalando celdas de carga en los conductores. La velocidad del conductor se controla para obtener una masa constante.

e. Control de velocidad en conductores. Hay algunos conceptos básicos incorporados en todos los sistemas de control de conductores (Rein, 2012).

- Todos los conductores funcionan entrelazados en un sistema encascado, de modo que aceleran y desaceleran juntos.
- La velocidad la desfibradora y todas las picadoras son medidas y si en cualquiera de ellas se deduce la velocidad debido a la sobrecarga, la velocidad del conductor(es) delante de ella

- son reducidas; por debajo de un límite mínimo todos los conductores procedentes se detienen completamente.
- La velocidad de cada conductor es medida con un tacómetro en el eje de la máquina, la velocidad del eje del accionamiento no permite reaccionar a eventos como rotura o deslizamiento de correas.
 - Todos los accionamientos incorporan relés entrelazados, que detienen la operación por motivos tales como los siguientes:
 - Conductores de adelante detenidos,
 - Un molino o difusor detenido,
 - Controles y relés instalados en modo a prueba de fallas; en caso de cortes de energía, el equipo se detiene.

7. Limpieza de caña

a. Limpieza en seco. La limpieza de caña en seco antes del procesamiento ayuda a que las pérdidas de azúcar sean menores con respecto al lavado de caña. Este sistema está diseñado para remover hojas de caña cogollos, raíces y rastrojos, arena o suelo del campo, bolas de arcilla y piedras.

Rein (2012) da a conocer que la limpieza en seco de la caña podría tener las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas

- Reducción de costos en términos de desgaste y mantenimiento.
- Incremento de la capacidad de la fábrica debido a la reducción de la materia extraña.
- Reducción del consumo energético.
- Mayor poder calorífico del bagazo.
- Menores pérdidas en bagazo cachaza y mieles.
- Mejor calidad del azúcar.

Desventajas:

- Instalación de equipo adicional, con costos asociados de capital, mantenimiento y operación.
- Una pequeña cantidad de caña puede perderse durante la limpieza.
- Se requiere hacer provisiones para deshacerse del material residual removido.
- Puede haber implicaciones sobre el sistema de pago particular.

1) Remoción de hojas y cogollos. Para la remoción de hojas y cogollos se implementaron muchos sistemas, de los cuales hubo resultados satisfactorios.

Una planta piloto para limpieza neumática de tallos de caña entera fue instalada en St Aubin, Maurio (*Rivalland, 1999*) y fue operada continuamente durante toda una zafra (Anon, 1999). En este caso el aire se sopló hacia arriba en contracorriente con la caída de los tallos de caña entera, arrastrando así la suciedad hasta un ciclón en donde el material sólido fue removido. El aire del ciclón fue reciclado. La suciedad fue transportada neumáticamente al conductor de bagazo localizado después del último molino. Con la planta operando de 60 a 90 tc/h, se removieron 2 a 3 t/h de suciedad, representando una remoción de 50 a 66%.

Con la instalación y operación de esta planta se demostró lo siguiente:

- La mayor parte de la suciedad en caña trozada puede ser fácil de remover soplando aire a medida que la caña cae de un conductor a otro (*Rein 2005*).
- Aproximadamente 80% de la suciedad se removió soplando aire con una velocidad de aproximadamente 30 m/s a través de una cortina descendente de caña.
- La separación se logró prácticamente sin ninguna pérdida de trozos de caña, aunque el problema del deshacerse de la enorme cantidad de basura que se acumuló rápidamente en la fábrica no fue fácil de manejar.

En el ingenio Providencia de Colombia, la suciedad es conducida por el aire soplado hasta una losa grande de concreto donde se manipula con un cargador frontal. La suciedad se reduce del 6% al 1% con tallos de caña y enteros y del 10% al 3% con caña trozada (*Rigde, 2001*).

Australia también ha demostrado que la remoción de suciedad de caña cosechada con combinadas es posible con un bajo nivel de pérdida de caña (*Schembriet al.2002*). El sistema fue diseñado específicamente para procesar caña sin ninguna limpieza en el campo. La caña se dirige hacia una corriente de aire. La caña limpia cae a un conductor mientras que el 80% de la suciedad (definida en este caso como hojas secas y verdes) cae a otro conductor separado. El restante 20% de suciedad es colectado en el ciclón de aire, asegurando una planta limpia sin emisión de partículas. Este sistema ha mostrado los siguientes resultados:

- Aproximadamente 90% de las hojas fueron removidas a tasas de caña de 100 t/h, que se reducen hasta 60 a 70% en el rango de 200 a 300 t/h.
- Pérdida en trozos de caña de menos del 1%.
- Una mejor remoción es evidente cuando la caña se encuentra húmeda. Esto excluía a los cogollos, los cuales no son removidos debido a que son similares a los trozos de caña.

La elevación de la velocidad del aire no mejora la eficiencia de remoción de partículas, esto fue demostrado por estudios de la CFD. En este estudio se mostró que los incrementos de velocidad del aire podrían conducir a una recirculación del aire en el área de separación que reduciría la eficiencia de remoción (Rein, 2012).

2) Remoción de rocas y suelo. Si la caña está seca, una elevada proporción del suelo en la caña se puede separar fácilmente. El uso de las placas de acero perforadas en el fondo, donde la caña cae y luego de descargarse de conductores, permite que la arena pase a través y sea recolectada abajo del conductor. Otras alternativas para tallos de caña enteros incluyen el uso de sistemas conductores con aperturas o tablillas separadas que permiten a la arena y piedras pequeñas pasar a través de estos espacios a medida que la caña pasa sobre ellos (Rein, 2012).

McElhoe y Lewis (1974) describen una estación de limpieza en seco instalada en Hawái, orientada principalmente a remover rocas, pero también a remover suciedad. A medida que tallos de caña enteros caen del extremo de un conductor, una corriente de aire a 58 m/s dirigida con un ángulo de 45° atraviesa la caña. Las rocas caen casi verticalmente mientras que la caña es empujada hasta un divisor. Las hojas se soplan hacia arriba y llegan a un conductor. La implementación de este sistema mostró los siguientes resultados:

- Las pérdidas de caña son bajas, medidas en 0.55%.
- Todas las rocas por debajo de 600 mm son removidas.
- Aproximadamente 3% de la caña sale con las rocas, pero la mayoría es rescatada usando un pequeño recuperador.
- Se requirieron 26.4 m³/s de aire, lo que produjo un consumo de 82 kW.
- La planta registró una remoción del 96% de las rocas y 38% de la suciedad durante un periodo de dos años.

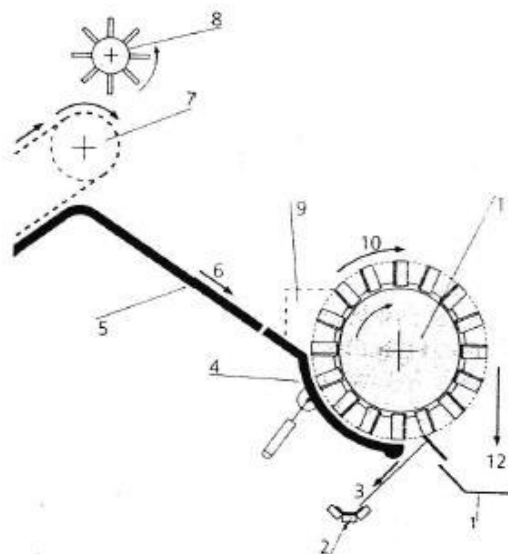
Otros sistemas de reunión propuestos por Rivalland han involucrado placas de descarga sobre las cuales se deja caer la caña, arreglada de tal manera que las rocas grandes pueden escucharse cuando no son vistas. El conductor es entonces detenido mientras que las rocas se remueven manualmente. Pero estos sistemas no han sido probados a escala industrial (Bernhardt, 1994).

Du Plooy (1994) ha descrito un sistema exitoso para la remoción continua de rocas y arena. Este sistema consiste en una mesa de caña de 11 m alimenta la caña a una tasa constante sobre una placa inclinada. Los tallos de caña al caer se encuentran con un tambor

rotatorio provisto con aletas las cuales levantan la caña por encima del tambor. Piedras y arena caen entre tambor y la placa limpiadora curvada y son removidas al fondo. Las piedras grandes >350 mm son empujadas por aletas hacia los lados de la placa inclinada. Para prevenir atascamientos se incorpora aperturas divergentes. El diámetro del tambor rotatorio es mayor al centro que en los lados. La placa limpiadora se puede abrir y separar del tambor usando cilindros hidráulicos en caso de que ocurran atascamientos por debajo del tambor. Este sistema ha funcionado exitosamente en algunas fábricas de Suráfrica, pero sólo puede ser utilizado con tallos de caña entera. Sin embargo, se presenta la pérdida de caña con la arena y rocas. La cantidad es pequeña pero significativa y debe ser recuperada manualmente del conductor de banda. Este sistema se presenta en la Figura 24.

Figura 24: Vista lateral del sistema de remoción de rocas para tallos de caña entera en Komati.

1 Conductor de caña principal; 2 Conductor de banda; 3 Rocas y arena; 4 Placa limpiadora curvada; 5 Placa inclinada deslizante; 6 Tallos de caña con rocas y arena; 7 Eje superior de la mesa de caña; 8 Nivelador; 9 Apertura de salida para rocas grandes; 10 Caña levantada; 11 Tambor con aletas; 12 Tallos de caña libres de roca y arena listos para continuar en el proceso.



Fuente: Rein (2012)

b. Lavado de caña. La cosecha de caña en Hawái requirió de un sistema complejo para remover las cantidades excesivas del suelo, rocas y suciedad que eran entregados con la caña. Esto por lo general involucraba un baño poniendo la caña a flote en una suspensión barro agua con la densidad apropiada para la remoción de rocas, seguido por un lavado utilizando grandes cantidades de agua y finalmente el uso de rodillo limpiadores para quitar la suciedad de los tallos de caña. Esta planta es complicada y muy costosa de operar y

mantener. La mayoría de fábricas que usan lavado de caña tienen sistemas más simples (Rein, 2012).

La mayoría de planta de lavado de caña utiliza uno o dos mesas de caña inclinadas con un ángulo de 35° a 45°, donde el agua de lavado se rocía sobre la caña a medida que esta viaja hacia arriba de la mesa. El agua es recolectada bajo la mesa, una parte de la cual se utiliza para recirculación mientras que el resto se envía a un sistema de tratamiento. Algunas instalaciones incorporan hidrociclones en el circuito para remover la mayoría del barro del agua de recirculación (Rein, 2012).

Vignes (1980) reporto resultados de ensayos con lavado de caña entera en Mauricio. Las pérdidas de azúcar medidas en el agua que sale de la estación de lavado fueron estimados entre 1.4 y 1.8% de la sacarosa en caña.

8. Separador magnético. Se instalan sobre el conductor de caña con el objetivo del prevenir la entrada de pedazos de metal al sistema. La remoción de metales ayuda a evitar en gran medida el daño a los equipos de preparación y molienda.

El sistema más común utiliza un electroimán suspendido por encima de un conductor de banda. Para mejorar la eficiencia de este sistema se debe operar la banda lentamente y con un delgado colchón de caña. Estos requerimientos no son tan fáciles de satisfacer al mismo tiempo.

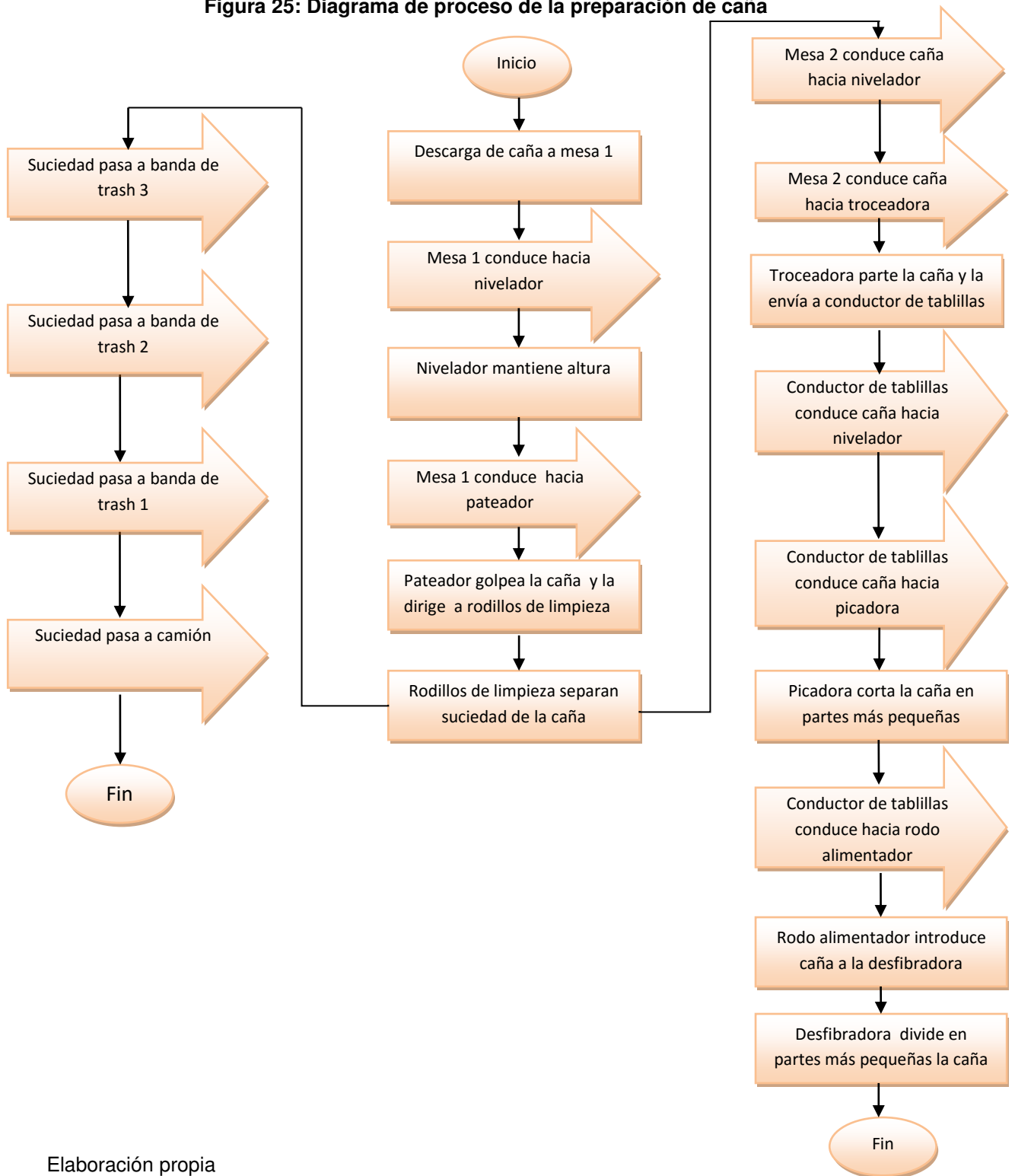
Cuando el control de altura de caña en la banda es errático comúnmente se instala un nivelador antes de que la caña pase por el imán, o de lo contrario pueden presentarse atascamientos en el imán (Rein, 2012).

El imán puede ser instalado en un deslizador sobre una viga, de manera que pueda apartarse del camino del conductor para limpiar trozos de metal sin parar la producción. Otra manera de limpieza es que el imán sea auto-limpiable por medio de una banda delgada que se desplace lentamente debajo de la superficie del imán removiendo los trozos de metal (Rein, 2012).

Letizia y McDougall (1989) describen el uso de un imán de 11 kW para trozos de caña en la parte superior de la tolva de una desfibrador. Se cuenta con una placa inclinada de tal manera que los trozos de metal se alojan detrás de una proyección con forma de cuña sobre la superficie del imán. Con este arreglo, existe la posibilidad de que algunos trozos de metal sean reintegrados a la caña. Otra desventaja es que el suministro de caña debe ser detenido para remover los trozos de metal.

- D. Situación actual de la empresa
 1. Proceso de preparación de caña
 a. Diagrama del proceso

Figura 25: Diagrama de proceso de la preparación de caña



Elaboración propia

2. Patio de caña

a. Mesas

1) Malacate. El malacate tiene como función descargar la caña contenida en los vagones de los camiones hacia la mesa de descarga (mesa 1). Es impulsado con un motor hidráulico y controlado por unos controles manuales desde una cabina que se encuentra en la parte superior del malacate. Este puede trabajar levantando el vagón o cajón, así como también levantar jaulas de peineta provista de cadenas alojadas en el interior. Por lo tanto, el sistema es bastante completo realizando dos tipos de tareas las cuales son ejecutadas de la siguiente manera:

Para levantar el vagón o cajón deben de existir unos pivotes en la parte lateral inferior del camión. En estos pivotes se enganchan unas cadenas especiales para este trabajo y luego se hace girar completamente el vagón de manera que la caña salga por arriba y se descargue a la mesa.

La peineta en las jaulas está provista de cadenas individuales que cubren la superficie del vagón o cajón. La peineta es de acero, tiene la misma longitud del vagón y está montada libremente al lado de este. Esta peineta es levantada por medio de un gancho especial del largo de la viga provocando que las cadenas se levanten junto con la caña y de esa manera sea descargada hacia la mesa.

2) Mesa de descarga. La función principal de esta mesa es transportar la caña proveniente de los vagones de los camiones hacia la parte superior de la mesa pasando por un nivelador y posteriormente el pateador. La mesa de descarga cuenta con una serie de cadenas equidistantes entre sí que van enlazadas con vigas o tablillas que jalan la caña. Está dividida en dos partes que serán nombradas en este caso como lado A y lado B.

Tabla 7: Características generales de la mesa de descarga

Características	Mesa 1	
	A	B
Inclinación (grados)	29.83	
Velocidad de arrastre de las cadenas (m/s)	0.22	0.21
Velocidad del motor (rpm)	1190	1185
Potencia Instalada (hp)	100	100
Longitud (m)	13.41	

Elaboración propia

En la Tabla 7 se puede observar que la velocidad del motor de los dos lados tiene una diferencia de 5 rpm por lo tanto tomando en cuenta que las características físicas de reducción se mantienen, la velocidad de arrastre del lado A varía una pequeña cantidad con respecto al lado B. Pero esta variación de velocidad es relativamente insignificante y no afecta al movimiento debido a que las dos partes son totalmente independientes.

3) Niveladores de las mesas. La función principal es mantener una altura estable y uniforme de la caña en las dos mesas de tal manera de tener un mejor control en el proceso. Este nivelador está dividido en dos partes. La Tabla 8 muestra las características generales de los niveladores.

Tabla 8: Características generales de los niveladores de las mesas

Características	Nivelador m1		Nivelador m2	
	A	B	A	B
Potencia instalada (hp)	25	25	25	25
Velocidad del motor (rpm)	1765	1765	1765	1765
Velocidad real (rpm)	47.64	47.64	47.64	47.64

Elaboración propia

En la Tabla 8 se puede observar que los dos niveladores tienen las mismas características. Además, las velocidades que manejan estos son relativamente bajas.

4) Pateador. La función principal de este es golpear o sacudir la caña proveniente de la mesa de descarga y hacerla caer con fuerza hacia los rodillos de limpieza de tal manera que sirva para desprender la suciedad de la caña. En la Tabla 9 se muestran algunas características del pateador.

Tabla 9: Características generales del pateador

Características	Pateador
Velocidad del motor (rpm)	1765
Velocidad periférica (m/s)	9.7 m/s
Potencia (hp)	25

Elaboración propia

5) Rodillos de limpieza. Lo forman 36 rodillos distribuidos en dos partes (lado A y lado B). Cada parte cuenta con 18 rodillos que a su vez están distribuidos en 6 rodillos por cada motor. Por lo tanto, cuentan en total con 6 motores. La forma de cada rodillo es un tambor rotatorio provisto con discos las cuales levantan la caña por encima del tambor conduciéndolo hacia la mesa 2. Piedras, arena hojas de caña, cogollos, raíces, rastros, suelo, bolas de arcilla y piedras caen entre los tambores pasando directamente a la banda de trash 3. EL espacio que existe entre el enlace de los rodillos es de aproximadamente 1/2". Esto limita el tamaño de piedras que pueden pasar hacia la banda de trash 3, por lo tanto, no pueden pasar piedras mayores a ese tamaño y la remoción se realiza manualmente cuando se logra notar. En la Tabla 10 se muestra las características generales de estos rodillos.

Tabla 10: Características generales de los rodillos de limpieza

Características	Rodillos de limpieza	
	A	B
Potencia instalada (hp)	20	20
Velocidad del motor (rpm)	1765	1765
Velocidad real (rpm)	60.86	60.86

Elaboración propia

De los seis motores instalados únicamente el primero de cada lado tiene una potencia de 25 HP, por lo que involucran a los primeros rodillos que tienen contacto con la caña. El motivo es que estos rodillos reciben el golpe directo de la caída de la caña, por lo tanto, necesitan más potencia que los demás rodillos para su función. Bandas de trash

La función principal es transportar la suciedad hacia un camión para su posterior uso. Lo forman tres bandas en serie nombradas según el orden en que se les da marcha (trash 3, trash 2 y trash 1). La banda de trash 3 recibe la suciedad de la caña proveniente de los rodillos y la banda de trash 1 es la que descarga hacia el camión. EL ancho de estas no supera el metro y las velocidades oscilan entre 0.9 a 1 m/s.

6) Mesa 2. La función principal de esta mesa 2 es transportar la caña proveniente de los rodillos de limpieza hacia la parte superior de la mesa pasando por un nivelador y posteriormente la troceadora. La estructura y la manera con que realiza su función es la misma que la mesa de descarga. La altura es menor en comparación con la mesa de descarga

Como modo de comparación en la Tabla 11 se muestra las características generales de las dos mesas.

Tabla 11: Características generales de la mesa 1 y mesa 2

Características	Mesa 1		Mesa 2	
	A	B	A	B
Inclinación (grados)	29.83		25.28	
Velocidad de arrastre de las cadenas (m/s)	0.21	0.21	0.16	0.16
Velocidad del motor	1190	1185	1180	1180
Potencia Instalada	100	100	50	50
Longitud (m)	13.41		10.98	

Elaboración propia

En la Tabla 11 se puede observar que todas las características de la mesa 2 son menores al de la mesa 1. Por lo que de manera general la mesa 2 es de menor tamaño que la mesa 1.

b. Preparación

1) Conductor de tablilla. El conductor de tablillas tiene como función transportar la caña hacia la picadora y posteriormente la desfibadora. En la Tabla 12 se muestra las características generales del conductor de tablillas.

Tabla 12: Características generales del conductor de tablillas

Características	Conductor de tablillas
Velocidad tangencial (m/s)	0.25
Ancho de la tablilla (Pulgadas)	6
Velocidad del motor (rpm)	1780
Potencia instalada (hp)	125
Ancho del conductor (m)	2.089
Longitud del conductor (m)	41

Elaboración propia

El conductor de tablillas no es del todo horizontal, siendo únicamente en los 27 metros y luego tiene una inclinación hacia arriba de 12.53° con respecto a la horizontal en un largo de 14 metros. En la parte inclinada se ubica la picadora, el rodo alimentador, la desfibadora y el yunque. El nivelador se encuentra en la parte horizontal.

2) Troceadora. La troceadora recibe la caña de la mesa 2 y cuenta con cuchillas que parte la caña en trozos no mayores a la mitad o tercera parte de la caña larga. Prepara la caña para que posteriormente la picadora realice su trabajo con menor dificultad. Está dividida en dos partes debido a la longitud de la mesa. En la Tabla 13 se muestra las características generales de la troceadora.

Tabla 13: Características generales de la troceadora

Características	Troceadora	
	A	B
Potencia instalada (hp)	350	350
Velocidad del motor (rpm)	1785	1785
Velocidad real (rpm)	457.69	457.69

Elaboración propia

En la Tabla 13 se puede observar que ambas partes de la troceadora comparten las mismas características. Por lo que la operación es de manera sincronizada.

3) Nivelador del conductor de tablillas. El nivelador está ubicado en la parte horizontal del conductor de tablillas poco antes de la picadora. La función de este es la misma que la de los niveladores de las mesas. Por el ancho de conductor de tablillas el nivelador es corto, por lo que cuenta con una sola parte, que es lo que lo diferencia de los niveladores de las mesas. En la Tabla 14 se muestra algunas características de este nivelador.

Tabla 14: Características generales del nivelador del conductor de tablillas

Características	Nivelador conductor tablillas
Potencia instalada (hp)	25
Velocidad del motor (rpm)	1750
Velocidad real (rpm)	47.64

Elaboración propia

4) Picadora. La picadora tiene como función dividir la caña proveniente de la troceadora en partes más pequeñas con el objetivo de que la caña llegue con mejor preparación a la desfibradora y de esta manera sea más eficiente y realice menor esfuerzo. Está ubicada en la parte horizontal del conductor de tablillas. En la Tabla 15 se muestran las características generales de la picadora.

Tabla 15: Características generales de la picadora

Características	Picadora
Marca	Siumba
Potencia instalada (hp)	1750
Velocidad del motor (rpm)	1783
Velocidad real (rpm)	974.32
Numero de cuchillas	96
Velocidad periférica (m/s)	10.1

Elaboración propia

5) Rodo alimentador. El rodo alimentador introduce la caña a la desfibradora. La rotación es contraria a la de la desfibradora para que se dé la alimentación. En la Tabla 16 se muestra algunas características del rodo alimentador.

Tabla 16: Características generales del rodo alimentador

Características	Rodo alimentador
Potencia instalada (hp)	40
Velocidad del motor (rpm)	1770
Velocidad real (rpm)	12.73
Diámetro (Pulgadas)	90
Velocidad periférica (m/s)	0.26

Elaboración propia

La velocidad periférica del rodo alimentador y del conductor de tablillas es similar. Por lo tanto, el rodo alimentador alimenta a la misma velocidad que va recibiendo la caña.

6) Desfibradora. La desfibradora convierte la caña ya preparada por la picadora en partes más pequeñas, es decir la desfibradora es tan eficiente en la preparación que convierte la caña en partículas tan pequeñas que en su salida solo se puede apreciar la caña como fibra. Esta acción de la desfibradora provoca que las células de la caña sean abiertas mejorando la preparación y por consiguiente la extracción de jugo. La función de esta no se podría llevar a cabo sin el rodo que lo alimenta y el yunque. En la Tabla 17 se muestran algunas características de la desfibradora.

Tabla 17: Características generales de la desfibradora

Características	Desfibradora	
	A	B
Marca	Walkers	
Modelo	2004	
Potencia instalada (hp)	3000	3000
Velocidad del motor (rpm)	1180	1180
Velocidad real (rpm)	1180	
Velocidad periférica (m/s)	95	
Número de martillos	88	
Holgura de salida (Pulgadas)	3/4	

Elaboración propia

En la Tabla 17 se puede observar que la desfibradora cuenta con dos motores con una potencia muy alta para poder realizar su función. La holgura de salida que se muestra la cuál es de 3/4" es la que existe entre la punta de los martillos y el yunque, es decir es el espacio que los separa para realizar el desfibrado, debido a que el yunque ayuda a lograr una preparación fina.

c. Herramientas de corte

1) Martillos. Se colocan en la desfibradora y tienen la función de una cuchilla, la cual es cortar la caña en pedazos con la ayuda de la fuerza y velocidad de la desfibradora y el apoyo del yunque y el rodo alimentador. Las características se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18: Características generales de los martillos

Características	Zafra (2012-2013)	Zafra (2013-2014)
Peso (lb)	63.6	63.6
Material	Hierro Negro	Hierro Negro
Tiempo de cambio	Una vez por semana	A cada dos semanas
Método de restauración	Soldadura con electrodo 4004N	Soldadura con electrodo 4004N

Elaboración propia

En la Tabla 18 se puede notar que el tiempo de cambio de los martillos de la zafra (2012-2013) es a cada semana y en la zafra (2013-2014) es a cada dos semanas. Por lo tanto, una característica de mantenimiento de los martillos cambió de una zafra a la siguiente.

2) Cuchillas. Estas van alojadas en la picadora y su estructura es bastante simple, siendo rectangulares con una dimensión de 7"x20" hechas de hierro negro. Para su restauración se les aplica soldadura inoxidable a cada dos o tres semanas.

3. Variables a estudiar

a. Velocidades

1) Velocidad de troceadora. La troceadora fue construida en la empresa y cuenta con una serie de cuchillas que lo que hacen es dividir o quebrar los tallos de caña para que la picadora efectúe su trabajo con mejor eficiencia. En la Tabla 19 se muestra la velocidad de las troceadora.

Tabla 19: Velocidad de la troceadora

Características	Troceadora	
	A	B
Velocidad real (rpm)	457.69	457.69
Velocidad periférica (m/s)	10.3	10.3

Elaboración propia

La velocidad está definida y la influencia con la preparación es insignificante, casi nula. Esto debido a que el objetivo de esta es la preparación de la caña para la picadora.

2) Velocidad de la picadora. Las picadoras dejan una gran porción de celdas sin romper, por lo que las picadoras por sí mismas no pueden llegar a proporcionar el grado de preparación que es posible con una desfibradora. Por lo tanto, la función principal de la picadora en este tándem es cortar la caña en trozos pequeños, preparándola para que a la desfibradora se le facilite su operación y a la vez el esfuerzo sea menor. La picadora gira a 974.32 rpm y tiene una velocidad periférica aproximada de 61.3 m/s.

La velocidad está definida y no hay razón por la cual se le deba modificar para mejorar la preparación, debido a que no es la que realiza el trabajo final, únicamente prepara la caña para la desfibradora.

3) Velocidad de la desfibradora. La desfibradora por medio de los martillos revienta los pedazos de caña a medida que se alimenta y el yunque retorna las partículas a los martillos para que ocurran más impactos. La desfibradora tiene un efecto muy significativo en la preparación de caña. En la Tabla 20 se muestra la velocidad de la desfibradora.

Tabla 20: Velocidad de la desfibradora

Características	Desfibradora	
	A	B
Velocidad del motor (rpm)	1180	1180
Velocidad real (rpm)	1180	
Velocidad periférica (m/s)	95	

Elaboración propia

b. Yunque

1) Ángulo de arropamiento. Los ángulos de arropamiento de los yunques hacia la desfibradora generalmente están de 90° a 160° y el ángulo de arropamiento del yunque del tándem C es de 90° el cual tiene desventaja para el aumento del PI. Debido a que el yunque propulsa los trozos de caña dentro de la trayectoria de los martillos para que ocurran más impactos y un mayor ángulo de arropamiento facilita un mayor número de impactos, mejorando el IP. Por lo tanto, el ángulo de arropamiento tiene un impacto significativo en la preparación de caña.

c. Cuchillas

1) Cambio de cuchillas. Las cuchillas al igual que los martillos por ser una herramienta de corte necesitan cambio debido al daño que van adquiriendo con el tiempo. El cambio de cuchillas en la picadora se da de la siguiente manera:

En la temporada de zafra el día que se realiza el mantenimiento preventivo correspondiente en el Ingenio, que por lo general es cada semana. Ese día se deja de alimentar caña en los tándem, cumpliendo el turno programado. Es decir, en ningún momento de ese día los 3 tándem existentes en el Ingenio están parqueados al mismo tiempo. EL orden de mantenimiento de los tándem es distinto para cada día de mantenimiento en particular. Se realiza este método para evitar el paro general de la producción en el Ingenio. Ese día se inspeccionan las cuchillas de la picadora en base a los requerimientos establecidos para saber si existen cuchillas lo suficientemente dañadas para el cambio. Si las hay se procede al cambio y las cuchillas extraídas entran a la etapa de reparación para su posterior uso. Generalmente se cambian a cada dos o tres semanas.

2) Calibración de las cuchillas. La calibración de las cuchillas se efectúa únicamente cuando se realiza un cambio de las mismas, ajustándolas en la picadora cumpliendo con la holgura previamente establecida la cuál es de 200 mm. Esta holgura está comprendida por la distancia entre la punta de las cuchillas y el conductor de tablillas

d. Martillos

1) Cambio de martillos. Para el Tándem C se cuentan con cinco juegos de martillos de 88 martillos cada juego, cantidad que corresponde al total de martillos que se colocan a la desfibradora. La diferencia entre el procedimiento de cambio de las cuchillas y los martillos es el tiempo o periodo de cambio. Los martillos durante el periodo de zafra (2012-2013) son cambiados en su totalidad una vez por semana, mientras que en la zafra (2013-2014) son cambiados a cada dos semanas. La utilización y restauración de los juegos de martillos se realiza de la siguiente manera:

Cuando el juego de martillos de la desfibradora se le procede al cambio en el tiempo estipulado, el juego entra en evaluación para diagnosticar si algún o algunos martillos necesitan reemplazo o restauración de la parte dañada si las hubiera. Como cada juego de martillos se cambia cada dos semanas durante la zafra (2013-2014) y se cuenta con cinco juegos. El juego que entra en la etapa de reparación espera ocho semanas para su posterior uso. De esta manera es como los juegos de martillos se rotan para darles el tiempo suficiente para su reparación o realización de reemplazo si fuera el caso. En el caso en que la evaluación se diagnostique su reemplazo, la realización o hecha del o los martillos es efectuada en este mismo Ingenio.

La restauración del filo se realiza por medio de un recubrimiento con electrodo 4004N tomando en cuenta las dimensiones ya definidas del martillo. Esto con el fin de respetar la holgura entre la punta de los martillos y el yunque, que tiene que ser constante durante su operación. Un buen recubrimiento, así como también el adecuado material implican una mejor eficiencia en la preparación. Este punto ha sido tomado en cuenta en el Ingenio pudiéndose notar en las medidas preventivas de los martillos (cambio de juego cada dos semanas), resultado de la evaluación del soporte del material de recubrimiento de los martillos con forme al tiempo.

Los martillos están fabricados de hierro negro y tienen un peso neto de 63.6 libras. El peso de los martillos no afecta la preparación de la caña. Por lo tanto, el empleo de martillos más pesados para mejorar el PI no es justificado.

Las dimensiones de los martillos son previamente definidas en la instalación. Por lo tanto, no necesitan ningún cambio en dimensión para mejorar la preparación.

2) Calibración de los martillos. Cuando el juego de martillos correspondiente se encuentra listo para su utilización en la desfibradora se procede a la colocación de estos y para ello se necesita calibración en los mismos. La calibración de los martillos consiste en ajustar los martillos en la desfibradora de tal manera que estos queden en la posición adecuada respetando la holgura de salida de 3/4" entre la punta de estos y el yunque. Este es un trabajo en el cuál se debe tener mucho cuidado debido a que un mal ajuste puede repercutir en consecuencias graves como desgaste excesivo de los martillos, sobre-esfuerzo de la desfibradora y por consiguiente una mala preparación.

El número de fila de los martillos se considera que no afectan la preparación alcanzada. La apertura o ajuste entre los martillos y las barras de yunque es de 3/4" equivalente a 19.05 mm. Según otros estudios por encima de los 10 mm de holgura de salida el PI alcanzado puede caer rápidamente a medida que la apertura se incrementa. Pero en estos estudios no se denota las condiciones de la desfibradora y el flujo de caña a procesar para tomar en cuenta este valor de holgura de salida.

e. Forma de cortar la caña en campo

1) Caña cortada manualmente. El tipo de corte manual de la caña que entra como alimentación en el tándem puede ser con caña quemada o caña verde aproximadamente en proporciones iguales. La caña cortada manualmente procesada en un día es de aproximadamente 13200 toneladas, cantidad de la cuál un estimado de 10% es materia extraña o suciedad en caña verde y un 12% en caña quemada que sale hacia las bandas de trash.

2) Caña cortada con máquina. En el tándem C en muy pocas ocasiones se procesa la caña cortada con máquina por razones ajenas a este estudio. Por esta razón no se toma en cuenta como una variable que pudiera afectar el índice de preparación, pero vale la pena mencionarlo.

3) Limpieza de la caña. La limpieza de caña antes del procesamiento ayuda a remover hojas de caña, cogollos, raíces y rastros, arena o suelo del campo, bolas de arcilla y piedras. Esto en el proceso de preparación de caña tiene la gran ventaja de que se reducen los costos en términos de desgaste, mantenimiento y consumo energético. La desventaja es que puede perderse una pequeña cantidad de caña durante la limpieza. Caso que casi no se da, y cuando se da es por el motivo de que existen tallos de caña pequeños que son capaces de pasar por los rodillos de limpieza.

f. Índice de preparación

1) Medición de PI. La medición del PI siempre se ha realizado por medio del método del tamaño de partículas. Además, la frecuencia y manera de la recolección de la muestra también se ha mantenido. Por lo tanto, tomando en cuenta esto la medición de la preparación no sería influencia en la variación del índice de preparación. Es decir, la exactitud de la medición del índice de preparación no tiene relación con la variación del PI, debido a que la manera de realizar la medición se ha mantenido.

V. RESULTADOS

En las tablas 21 y 22 se muestran los resultados en promedio de cada semana del índice de preparación (PI) del Tándem C de *Ingenio Magdalena S. A.* (IMSA).

Tabla 21: Índice de preparación de la zafra (2012-2013) en el Tándem C de IMSA

Número de semana	PI zafra (2012-2013)	Número de semana	PI zafra (2012-2013)
1	90.92	16	86.21
2	84.67	17	83.17
3	85.83	18	88.52
4	84.41	19	82.12
5	85.46	20	89.10
6	87.07	21	88.71
7	88.14	22	87.40
8	88.51	23	89.46
9	88.72	24	88.39
10	82.45	25	88.00
11	88.69	26	86.38
12	91.47	27	87.41
13	84.78	28	83.24
14	84.78	29	79.98
15	88.71		

Elaboración propia

Tabla 22: Índice de preparación de la zafra (2013-2014) en el Tándem C de IMSA

Número de semana	PI zafra (2013-2014)	Número de semana	PI zafra (2013-2014)
1	82.14	16	81.17
2	68.27	17	84.89
3	83.97	18	87.04
4	82.66	19	83.91
5	80.03	20	85.37
6	85.53	21	88.61
7	81.21	22	80.02
8	83.26	23	86.34
9	86.69	24	85.89
10	82.96	25	81.88
11	86.49	26	88.22
12	79.63	27	83.88
13	84.38	28	83.88
14	84.44	29	86.67
15	88.28		

Elaboración propia

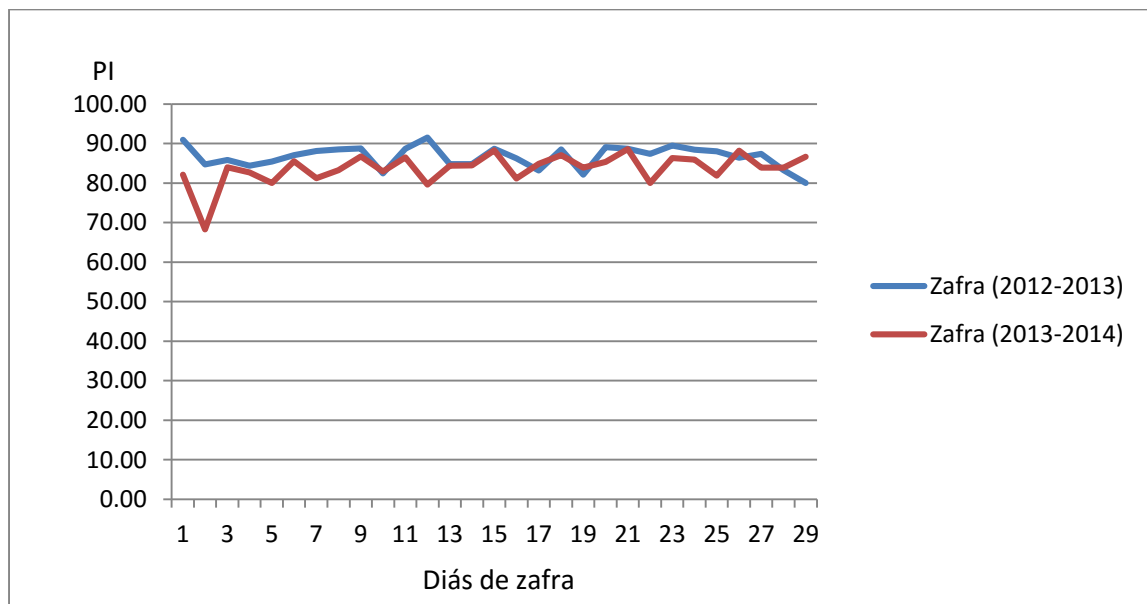
En la Tabla 23 se muestran los datos del índice de preparación de la zafra (2012-2013) y la zafra (2013-2014) y en la Figura 26 se muestra la gráfica comparativa del índice de preparación de la zafra (2012-2013) respecto de la zafra (2013-2014).

Tabla 23: Comparación del índice de preparación de la zafra (2012-2013) respecto de la zafra (2013-2014)

Número de semana	PI zafra (2012-2013)	PI zafra (2013-2014)	Número de semana	PI zafra (2012-2013)	PI zafra (2013-2014)
1	90.92	82.14	16	86.21	81.17
2	84.67	68.27	17	83.17	84.89
3	85.83	83.97	18	88.52	87.04
4	84.41	82.66	19	82.12	83.91
5	85.46	80.03	20	89.10	85.37
6	87.07	85.53	21	88.71	88.61
7	88.14	81.21	22	87.40	80.02
8	88.51	83.26	23	89.46	86.34
9	88.72	86.69	24	88.39	85.89
10	82.45	82.96	25	88.00	81.88
11	88.69	86.49	26	86.38	88.22
12	91.47	79.63	27	87.41	83.88
13	84.78	84.38	28	83.24	83.88
14	84.78	84.44	29	79.98	86.67
15	88.71	88.28			

Elaboración propia

Figura 26: Gráfica comparativa del índice de preparación de la zafra (2012-2013) respecto de la zafra (2013-2014).



Elaboración propia

Promedio del PI de zafra (2012-2013) = 86.64%

Promedio del PI de zafra (2013-2014) = 83.71%

Tabla 24: Resultados de las variables que afectan el índice de preparación de la zafra (2013-2014) en el Tándem C de IMSA.

Velocidades de máquinas de preparación				
Tipo	Velocidad (m/s)	Recomendación para mejorar el PI	Impacto en TC	Condición en TC
Troceadora	10.3	A mayor velocidad	Bajo	Buena
Picadora	61.3	A mayor velocidad	Bajo	Buena
Desfibradora	95	A mayor velocidad	Alto	Buena
Herramientas de corte				
Tipo	Frecuencia de cambio	Requerimientos para mejorar el PI	Impacto en TC	Condición en TC
Cuchillas	De dos a tres semanas	Si se mantienen en buenas condiciones	Bajo	Buena
Martillos	a cada dos semanas	Si se mantienen en buenas condiciones	Alto	Buena
Tipo	Holgura de salida (mm)	Requerimientos para mejorar el PI	Impacto en TC	Condición en TC
Cuchillas	200	A menor holgura	Bajo	Buena
Martillos	19.05	A menor holgura	Alto	Buena
Tipo de alimentación de caña				
Tipo	% de suciedad de caña manual	Requerimientos para mejorar el PI	Impacto en TC	Condición en TC
Quemada	12	A menor porcentaje	Alto	Buena
Verde	10	A menor porcentaje	Alto	Buena
Medición del Índice de Preparación				
Método	Procedimiento	Requerimientos para mejorar el PI	Impacto en TC	Condición en TC
Tamaño de partículas	Estable	A mayor estabilidad en el procedimiento	Ninguno	Buena
Yunque de la desfibradora				
Tipo	Ángulo de arropamiento	Requerimientos para mejorar el PI	Impacto en TC	Condición en TC
Yunque	90°	Mayor ángulo de arropamiento	Alto	Mala

Elaboración propia

En la Tabla 24, el impacto en el Tándem C de las variables es clasificado de tres maneras: ninguno, bajo y alto. Donde alto se refiere a la gran influencia que tienen en la preparación; bajo, la poca influencia; y ninguno, que no existe relación o influencia. Además, las condiciones únicamente son clasificadas como buenas o malas. Son buenas cuando cumplen con los requerimientos establecidos para una buena preparación o están muy cerca de cumplirlos y malas cuando no los cumplen. Estas clasificaciones se dieron por el análisis y comparación de las variables de estudios previos con el de las variables de la preparación de caña en el Tándem C.

VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La troceadora y la picadora operan a una velocidad periférica de 10.3 y 61.3 m/s respectivamente. El requerimiento para ambas es “a mayor velocidad mejor preparación”. Requerimiento que no afecta a la preparación en este caso debido a que el objetivo de estas es facilitar el trabajo de la siguiente máquina. Por lo tanto, el impacto en el Tándem C es bajo y la condición es buena.

La desfibradora que opera a una velocidad periférica de 95 m/s. Comparada con otras desfibradoras en otros estudios, esta maneja una de las velocidades periféricas más altas. El requerimiento para una buena preparación de esta máquina es la misma que las máquinas que la anteceden (troceadora y picadora). Este requerimiento es de gran importancia para la preparación. Por lo tanto, el impacto en la preparación de esta máquina en el Tándem C es alto y la condición es buena.

Las cuchillas generalmente se cambian a cada dos o tres semanas, mientras que los martillos se cambian a cada dos semanas. Las condiciones de estas herramientas de corte tienen un impacto significativo en la preparación de caña. En el Tándem C las condiciones de las cuchillas no presentan un impacto significativo en la preparación debido a la función de la picadora, en cambio las condiciones de los martillos sí lo presenta debido a que el impacto de estos va enlazado con el impacto de la desfibradora en la preparación de caña. Por lo tanto, el impacto en la preparación en el Tándem C para los martillos es alto y bajo para las cuchillas. Además, por esta misma razón las condiciones son buenas para las dos herramientas, tomando en cuenta que existe una variación en el tiempo de cambio de los martillos entre las dos zafras. Las condiciones de los martillos se consideran aún como buenas debido a que, según estudios realizados en este mismo Ingenio el tiempo de cambio de los martillos podría ser duplicarlo sin repercutir gravemente en la preparación.

La holgura de salida presente en los martillos con el yunque es de 19.05 mm y la holgura de las cuchillas con el conductor de tablillas es de 200mm. El requerimiento es “entre menos holgura mejor preparación”. Comparado con holguras de trabajo de otras máquinas en otros estudios esta holgura es elevada para ambos casos. Debido a que para tener una buena preparación la holgura en los martillos debe ser menor a 10 mm. Pero estos otros estudios no especifican las condiciones de trabajo que tienen que tener la desfibradora para tomar en cuenta esta holgura de salida. La holgura de las cuchillas no se discute debido a que es parte de la picadora. Por lo tanto, en el Tándem C la holgura de las cuchillas tiene un impacto bajo, y un

impacto alto la holgura de los martillos. Por esta misma razón las condiciones de holgura que involucran a las cuchillas y las condiciones de la holgura de salida que involucran a los martillos son buenas.

En la alimentación de caña cortada manualmente quemada y verde se presenta un 12% y un 10% respectivamente de suciedad en la salida del sistema de limpieza. Se debe tomar en cuenta que el sistema de limpieza es bastante eficiente, por lo que la mayor parte de suciedad es extraída por el sistema. La suciedad en la caña repercute directamente en la preparación, por lo tanto, entre menor porcentaje de suciedad mejor preparación. Por esta razón en el Tándem C el impacto es alto y las condiciones son buenas para el sistema de limpieza.

La medición del Índice de preparación en el Tándem C por ser un procedimiento estable no tiene impacto en el PI y por esta misma razón las condiciones para la medición del PI son buenas.

El ángulo de arropamiento del yunque es de 90° y el requerimiento para la mejora de la preparación es “mayor ángulo de arropamiento tiene como resultado una mejor preparación”. Comparado con ángulos de arropamiento utilizados en otros lugares este es uno de los más bajos. Por lo tanto, en el Tándem C el impacto en la preparación es alto y las condiciones son malas para el ángulo de arropamiento.

El índice de preparación de la zafra (2013-2014) permaneció bajo durante casi toda la temporada con respecto a la zafra (2012-2013). El promedio del PI de la zafra (2012-2013) es de 86.64% y el promedio del PI de la zafra (2013-2014) es de 83.71%. Por lo tanto, existió un descenso total de 2.93% de PI.

VII. CONCLUSIONES

Para mejorar el proceso de preparación de caña en el Tándem C se debe tomar en cuenta el tiempo de cambio de los martillos y ángulo de arropamiento del yunque. Estas variables afectan el proceso de preparación de caña y son las más propensas a ser cambiadas. La mejora del proceso se puede realizar disminuyendo el tiempo de cambio de los martillos a una semana y/o cambiando el yunque con uno con mayor ángulo de arropamiento, idealmente 160°. Se ha llegado a este resultado con base en lo siguiente:

- 1) La preparación de caña es un proceso muy importante para la fabricación de azúcar como producto principal y para otros servicios prestados. Este proceso tiene relación directa con la extracción de sacarosa en el tándem, por lo que una variación en la preparación de caña medida por medio del índice de preparación (PI), involucra una variación en la cantidad de sacarosa a extraer por unidad de peso de caña. Es decir, la eficiencia de la preparación de caña es directamente proporcional a la eficiencia de la extracción de sacarosa de la caña, entonces entre más alto es el PI mejor es la extracción. Pero esto se cumple hasta ciertos valores de PI que son limitados por el proceso de extracción. Un índice de preparación muy elevado no contribuye en el proceso de extracción debido a que la estructura y capacidad del proceso de extracción tiene un límite en la extracción de sacarosa, aunque se siga mejorando el PI. Debido a esto el objetivo del Ingenio en el proceso de preparación de caña en el Tándem C es controlar un índice de preparación adecuado el cuál es de 83%.
- 2) Generalmente para una buena preparación se debe tomar en cuenta las variables: velocidad de las máquinas de corte (troceadora, picadora y desfibradora), condición y holgura de las cuchillas y martillos, cantidad de suciedad de la caña, ángulo de arropamiento del yunque y la estabilidad del método de la toma de muestra y medición del PI. Las partes del proceso de preparación de caña que tienen gran importancia para la buena eficiencia en el Tándem C son el sistema de rodillos de limpieza y la desfibradora. De las cuales las variables son: cantidad de suciedad de la caña (11% en promedio), velocidad de la desfibradora (95 m/s), ángulo de arropamiento del yunque (90°), condición de los martillos (buena) y la holgura existente entre la punta de los martillos y el yunque (19.05 mm).
- 3) Las condiciones del proceso de preparación de caña en el tándem C se consideran generalmente buenas. Debido a que la desfibradora siendo una de las dos partes más importantes de este proceso contiene una variable que tiene un valor bajo que es

perjudicial en la preparación de caña y por consiguiente es considerado en condiciones malas. La variable es el ángulo de arropamiento del yunque. Por lo tanto, esta variable esta propensa a ser mejorada.

- 4) El índice de preparación de caña en el Tándem C en la zafra (2013-2014) permaneció bajo en casi toda la temporada con respecto al índice de preparación de la zafra (2012-2013). El promedio del PI de la zafra (2012-2013) es de 86.64 y el promedio del PI de la zafra (2012-2013) es de 83.71%. Por lo tanto, existió un descenso promedio total de 2.93% de PI. Este descenso se debe al único cambio que existió en una de las variables estudiadas en relación a las dos zafras. Esta variable es el tiempo de cambio de los martillos, el cual en la zafra (2012-2013) se realizaba a cada semana, mientras que en la zafra (2013-2014) se realizaba a cada dos semanas. El cambio en relación a las dos zafras de esta variable es tomado como la principal causa del descenso del índice de preparación, por ser la única variable que ha cambiado de una zafra a otra. Pero como el índice de preparación adecuado es de 83% y el promedio total de PI de las dos zafras es superior a ese valor, la extracción no se ve afectada directamente por ese descenso de preparación, debido a que la máxima capacidad de extracción se da a partir de un PI de 83%, tomando en cuenta que las demás características del proceso de extracción son las ideales.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. Carvajal, Arbey ; Gómez, Adolfo & Ramírez, Diego. (2013). *Avances en la evaluación integral de los procesos de preparación y molienda en ingenios colombianos* [cenicana.org]. Recuperado de:
http://www.cenicana.org/pdf/carta_trimestral/ct2003/ct4_03/ct4_03_p8-11.pdf
2. Cenicaña. (2004). *Proceso de obtención de azúcar* [cenicana.org]. Recuperado de:
http://www.cenicana.org/pop_up/fabrica/diagrama_obtencion.php
3. García, Jacer. (2009, noviembre). *Guía del montaje y mantenimiento de los molinos Tandem C, Ingenio Magdalena, S.A.* [biblioteca.usac.edu.gt] Recuperado de:
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0593_M.pdf.
4. E. Batule. *La molienda y difusión de la caña de azúcar*. 767 páginas.
5. E. Hugot, *Manual para ingenios azucareros*, 7ma., Edición. Editorial Continental S.A., México 1984, 803 páginas.
6. Fundación Wikimedia, inc. (2014, 12 de abril). *Azúcar de caña* [es.wikipedia.org]. Recuperado de: http://es.wikipedia.org/wiki/Az%C3%BAcar_de_ca%C3%B1a
7. Grupo Manuelita. (2012). *Preparación y Extracción* [manuelita.com]. Recuperado de:
<http://www.manuelita.com/index.php?p=manuelitabioetanolbrasil/procesoproductivo/preparacionyextraccion&>
8. Mendoza, Haro Italo. (2013, 3 de agosto). *Optimización del proceso de preparación de caña* [slideshare.net]. Recuperado de: <http://www.slideshare.net/imendozah/optimizacion-de-proceso-de-preparacion-de-caa>

9. Morejón Mesa, Yanoy. (2012, 12 de diciembre). *Influencia de la preparación de caña a moler en la producción de azúcar en el Complejo Agroindustrial Azucarero Manuel Fajardo* [scielo.sld.cu]. Recuperado de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542013000100003&script=sci_arttext

10. Peter Rein. *Ingeniería de la Caña de Azúcar*. 1ra. Edición. Alemania 2012, 879 páginas.

IX. GLOSARIO

Bagazo: Es el resultado de la caña molida en un molino o de un tándem, que sirve como combustible para alimentar las calderas.

Fibra: Es la materia seca e insoluble en agua que queda después de la extracción de jugo a la caña de azúcar.

Grados Brix: Sirven para determinar el cociente total de sacarosa o sal disuelta en un líquido; es la medida de la concentración de azúcar en una disolución.

Imbibición: Es el proceso por el cual se le aplica agua caliente (aproximadamente 45°C a 55°C) al bagazo para mejorar la extracción en el molino siguiente.

Índice de Preparación (PI): Unidad de medida dada en porcentaje para denotar la eficiencia del proceso de preparación de caña.

Maceración: Es una forma de imbibición en la que el Bagazo se sumerge en una mezcla de jugo y agua, a partir del segundo molino de un tándem para mejorar la extracción.

Molino de caña: Es la unidad estándar de molienda en la industria azucarera. O la combinación clásica de tres a cuatro rodillos o mazas dispuestos en forma triangular.

Pol: Es la sacarosa contenida en una disolución, expresada como % en peso.

Pureza: Porcentaje de sacarosa respecto al contenido total de sólidos solubles del jugo. Una mayor pureza indica que existe un contenido mayor de sacarosa que de sólidos solubles en el jugo.

Sacarosa: Glúcidos del grupo de los ósidos que, por hidrólisis se desdobla en glucosa y en fructosa, los cuales constituyen el azúcar de caña.

Tándem: Conjunto de molinos destinados a extraer la mayor cantidad de jugo a la fibra de caña, normalmente constan de cinco a seis molinos en serie.

Zafra: El tiempo de cosecha de la caña de azúcar y luego es transportada hacia el Ingenio para donde se realiza el proceso de fabricación de azúcar