

Sede Universitaria Álvaro Reinoso

Trabajo de diploma

Título: Evaluación técnica de mejora de medidas del proceso de preparación y extracción de sacarosa de la caña de azúcar en la UEB "Loynaz Hechavarría"

Autor: Francisco Morozo Ruiz

Tutor: Ing. Amauri Rafael Pino Serrano

Curso 2013 - 2014

Dedicatoria

A mis padres, hermanos y sinceras amistades.

A aquellos que me estimularon en la perseverancia y el interés al estudio.

A nuestra Revolución.

A los que crean y luchan por la formación y el bienestar del hombre.

Agradecimientos

A todos los que de una forma u otra han contribuido a la realización de este trabajo, especialmente a mis compañeros de trabajo, los compañeros del grupo técnico y del laboratorio, que con esmero y dedicación hicieron posible esta investigación.

A los profesores que a lo largo de estos años han aportado una enseñanza extraordinaria hacia mi persona.

A la Revolución por darme esta posibilidad.

A todos, muchas gracias.



Pensamiento:

“Solo se oponen a la calidad,
los que no tienen voluntad
y talento para alcanzarla”

RESUMEN

El presente trabajo muestra la importancia del proceso de preparación de la sacarosa de la caña en el proceso azucarero. Se realiza una evaluación técnica de la eficiencia del proceso en la planta moledora de la UEB "Loynaz Hechavarría, determinando las pérdidas en que incurre, relacionadas con la sacarosa en bagazo, cuantificándose esta y su influencia sobre el costo de la producción final. Los cambios tecnológicos implementados como propuesta de mejora contribuyeron a una mayor eficiencia en el proceso, resultados que se avalan por la comparación de la zafra anterior y reporte de ingresos adicionales.

ABSTRACT

The present work shows the importance of the process of preparation of the sucrose of the cane in the sugar process. He/she is carried out a technical evaluation of the efficiency of the process in the millers plant of the filial "Loynaz Hechavarría, determining the losses in that it incurs, related with the sucrose in trash, being quantified this and their influence on the cost of the final production. The technological changes implemented as proposal of improvement contributed to a bigger efficiency in the process, results that they are endorsed by the comparison of the previous harvest and report of additional revenues.

INTRODUCCIÓN	1
Capítulo 1. Fundamentación teórica	
1.1. Conceptos fundamentales	4
1.2. Descripción del proceso de preparación y extracción de la sacarosa de la caña de azúcar	6
1.3. El proceso de preparación y extracción de la sacarosa de la caña de azúcar en la UEB “Loynaz Hechavarría Cordobés”	13
1.4. Pasos para la evaluación técnica del proceso de preparación y extracción de sacarosa de la caña de azúcar	15
Capítulo 2: Aplicación del Procedimiento para la evaluación técnica del proceso de preparación y extracción de sacarosa de la caña de azúcar en la UEB “Loynaz Hechavarría”	
2.1 Breve descripción de la UEB “Loynaz Hechavarría”	25
2.2 Análisis de las causas del incumplimiento del plan de molienda en la zafra	26
2.2 Evaluación de la eficiencia técnica del proceso en la planta moledora	27
2.3 Propuesta de medidas	27
2.4 Evaluación y análisis de las medidas	29
Valoración económica-social e impacto ambiental	49
CONCLUSIONES	51
RECOMENDACIONES	52
BIBLIOGRAFÍA	53
ANEXOS	54

INTRODUCCIÓN

Las condiciones actuales del país, no permiten estar fuera de toda relación que busque obtener la máxima ganancia asegurando su supervivencia y desarrollo, lo que obliga a mejorar económicamente los procesos productivos y de servicios en las empresas. Premisa plasmada en la política económica trazada en los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución, específicamente el número 10 y 122, donde se hace un llamado a las empresas ineficientes a lograr la eficiencia.

Es en el sector industrial, específicamente en la empresa azucarera, donde se exige más esta premisa. El proceso de preparación de la caña de azúcar y extracción de sacarosa es un tema discutido con frecuencia entre los ingenieros azucareros, a partir del año 2009. El tema es de importancia por lo que implica económicamente maximizar la extracción de sacarosa. Para poder obtener un alto Índice de Preparación (extracción de sacarosa), es necesario considerar con atención el tipo de equipos para extraer la sacarosa de la caña.

Es importante el chequeo y control del término extracción ya que se utiliza generalmente para denotar el total de azúcar extraído por el tándem de molida, como porcentaje del azúcar en la caña. (Colectivo de autores, 1996)

El área de molinos es una de las más importantes dentro de la industria, ya que su trabajo es el punto de partida del balance de la masa y energía de la fábrica.

Debido al trabajo que realiza, reporta pérdidas de Pol en bagazo % Pol en caña entre el 30 y el 40 % de la pérdida total de Pol que tiene el ingenio, por lo que se hace necesario la evaluación de esta y medición de los resultados.

También el accionamiento eléctrico tiene ciertas desventajas, como el elevado costo de la instalación, la pérdida adicional de la energía debido a la transformación del trabajo mecánico en energía eléctrica y nuevamente en energía mecánica, y la necesidad de emplear personal especializado, familiarizarlo con la instalación y el mantenimiento de una máquina eléctrica bastante grande y peculiar.

La eficiencia del área de Basculador – molinos han presentado problemas en los últimos años, intensificándose en la zafra 2010, en la que dejaron de producir 790 t de azúcar por concepto de bagazo.

Entre las principales deficiencias presentadas en el proceso en cuestión se encuentran:

- Insuficiente preparación de la caña.
- Bajo índice de preparación de caña.
- Bajo por ciento de extracción de la primera unidad de molida.
- Elevado por ciento de Pol en bagazo.

Teniendo en cuenta esta problemática, surge la necesidad de evaluar la eficiencia de la planta moledora.

Como **Problema científico** se plantea: ¿Cómo mejorar la eficiencia técnica de la planta moledora en el proceso de preparación de caña y extracción de sacarosa en la UEB “Loynaz Hechavarría Cordobés”?

El **Objeto de estudio** es el proceso tecnológico de preparación y extracción de sacarosa de la caña de azúcar en la industria azucarera.

Para dar solución al problema planteado se define el siguiente **objetivo general**: Evaluar la eficiencia técnica del proceso de preparación de la caña y extracción de sacarosa de la caña de azúcar en la planta moledora de la UEB “Loynaz Hechavarría Cordobés”.

Para dar cumplimiento a este objetivo se plantean los objetivos específicos siguientes:

1. Fundamentar la importancia actual del tema a través del análisis de las diferentes bibliografías.
2. Evaluar la eficiencia técnica del proceso de preparación de la caña y extracción de sacarosa de la caña de azúcar de la planta moledora
3. Implementar un conjunto de acciones que contribuya a mejorar el proceso de preparación de la caña y extracción de sacarosa de la caña de azúcar de la planta moledora.

Esta investigación centra su **campo de acción** en el proceso tecnológico de preparación y extracción de sacarosa de la caña de azúcar en la planta moledora de la UEB “Loynaz Hechavarría”.

Como **hipótesis**: De la correcta evaluación técnica del proceso tecnológico de preparación y extracción de sacarosa de la caña de azúcar en la planta moledora, se obtendrá un plan de medidas que contribuirá a mejorar la eficiencia en el proceso de preparación y extracción de sacarosa de la caña de azúcar en la UEB "Loynaz Hechavarría".

En el desarrollo de este trabajo se utilizaron los siguientes métodos investigativos:

➤ **Métodos teóricos:**

- **Método inductivo- deductivo**, ya que se parte de propósitos particulares para llegar a los generales y viceversa, específicamente se utilizó para el análisis de las relaciones entre las etapas y las tareas a desarrollar.
- **Método de análisis- síntesis** para el análisis de la información obtenida y en la elaboración de las conclusiones.
- **Sistémico- estructural**, ya que se considera a la organización del proceso en su carácter de sistema y es utilizado en la definición de las etapas y de su interrelación con otras partes del sistema empresarial.
- **Modelación**: Permitió la graficación de las variables a tener en cuenta mediante la utilización de la computación, y determinadas previamente con la aplicación del software seleccionado.
- **Matemático – Estadístico**: Para el procesamiento de los resultados de la investigación. Son los análisis matemáticos y porcentuales que permitieron determinar el resultado de las diferentes variables.

➤ **Métodos empíricos y técnicas**: observación directa, revisión documental, encuesta, entrevista y técnicas estadísticas.

Su aplicación permitió alcanzar los resultados planteados.

El trabajo se estructuró de introducción, dos capítulos, valoración económica, conclusiones, recomendaciones, bibliografía y un cuerpo de anexos. En el Capítulo 1, Marco teórico referencial, se presenta el resultado de la búsqueda de la literatura especializada que sirvió de base para el desarrollo de la investigación. Se describe

el procedimiento que se utilizó para desarrollar este trabajo. En el Capítulo 2, La evaluación técnica del procesote preparación y extracción de sacarosa de la caña de azúcar en la UEB "Loynaz Hechavarría", y se exponen los principales resultados alcanzados de la aplicación de las medidas.

El aporte del trabajo radica en la mejora del actual método de extracción, medidas que permiten extraer mayor porcentaje de jugo en el molino, partiendo del resultado del índice de preparación.

Capítulo 1. Fundamentación teórica

El presente capítulo abordará los temas concernientes a la teoría de la preparación de la caña y extracción de la sacarosa, así como conceptos importantes para la comprensión de este tema. Se describen las etapas del proceso de fabricación de azúcar y los métodos de determinación de las variables independientes. También se abordan las características de la Empresa y el área de basculador – molinos.

1.1. Conceptos fundamentales

Para una mejor comprensión del contenido de este trabajo es necesario conocer algunos conceptos fundamentales del proceso de preparación y extracción de sacarosa de azúcar.

Materia extraña Es todo lo que acompaña a la caña, cogollo, hoja secas y verdes, raíces, tierra, etc; traída al ingenio junto con la caña limpia. Se estima que como norma debe tener una composición del 3 al 5 % en peso de la caña.

Pol Valor obtenido por la polarización simple y directa en un sacarímetro de una solución de peso normal (ISSCT). Este término se usa en los cálculos como si fuera una sustancia real.

Sacarosa Según ISSCT es el disacárido conocido en química como azúcar de caña.

Brix Es una forma de expresar la concentración de una solución definida en este caso como el por ciento de materia sólida disuelta, indicadas por un hidrómetro Brix u otro dispositivos densimétrico. El sentido estricto de la definición se expresa como sólido disuelto en una solución de sacarosa pura.

Brix refractométrico Es una forma de expresar la concentración de una solución, definida en este caso como el por ciento en pesos de sólidos en solución indicado por un refractómetro de azúcar o derivado del índice de refracción con referencia a tablas equivalentes de % de sacarosa VS índice de refracción (ISSCT)

Jugo absoluto Se considera como todo el jugo presente en la caña, es decir el peso de la caña menos el de la fibra.

Jugo primario Es el jugo que se ha extraído antes de realizar alguna dilución.

Jugo mezclado Es la mezcla del jugo secundario con el primario, que sale de los molinos y se envía a casa de calderas, para su procesamiento.

Jugo residual Es el jugo que queda retenido en el bagazo, es decir bagazo menos la fibra.

Agua de dilución Es la porción del agua de imbibición o de maceración que esta presente en el jugo mezclado.

Pol en bagazo Medida del azúcar que se pierde en el bagazo.

Humedad del bagazo Contenido del agua que tiene el bagazo.

Fibra en bagazo Contenido de caña que queda en el bagazo. Dato fundamental para la contabilidad Azucarera.

Factor (razón) de java No es una cifra o concepto abalado por ISSCT, sin embargo muy empleado en los ingenios, se obtiene por una relación de Pol o de sacarosa de la forma siguiente: $\text{Factor Java} = \frac{\% \text{ de Pol caña} * 100}{\% \text{ de Pol Jugo 1ra extracción}}$

Pérdida en molienda La porción entre Pol (sacarosa) no extraída y la fibra en la caña.

1.2. Descripción del proceso de preparación y extracción de la sacarosa de la caña de azúcar

El proceso de fabricación de azúcar de caña comienza en la agricultura, con la siembra de la caña. Esta se produce en terrenos que tienen determinadas condiciones, que pueden ser creadas o naturales. A continuación se produce el cuidado de esta cosecha, hasta que su índice de madurez indica al técnico agropecuario el momento en que debe ser cortada. El corte siempre se programa y está en función del campo; se cortan primeramente los campos bajos para cuando comiencen las lluvias no se afecten el corte y la recolección. Ya cortada la caña, se realiza su recolección y transporte al central y en ese instante es que comienza el proceso industrial, donde la materia prima (caña de azúcar) es sometida a una serie de procesos continuos hasta obtener el producto (azúcar). (Sarría, 1983)

- Manipulación y preparación de la caña.
- Extracción del jugo o extracción de sacarosa.
- Purificación del jugo.
- Evaporación.
- Cristalización.
- Centrifugado o purga.

Centrados en el objeto de estudio se ahonda más en la descripción de los procesos de preparación y extracción de la sacarosa.

1.2.1. Fundamento teórico de la preparación de la caña de azúcar

¿Qué es la preparación de caña? Es una operación de desintegración profunda de la estructura fibrosa de la caña. Esta no se obtiene precisamente con el corte limpio con el que se pretende lograr en las combinadas o cosechadoras de caña, donde cañas individuales, mantenidas erectas, reciben el corte de cuchillas con filo. Precisamente en las combinadas se quiere hacer un corte limpio para evitar que se rompan y se pongan a la intemperie celdas de jugo que provocan una mayor descomposición desde el momento del corte hasta la molida. **(Colectivo de autores, 1996)**

Las cañas son volteadas de sus medios de transporte a la estera alimentadora por medio de basculadores, accionados, generalmente, por cilindros hidráulicos. Estos equipos basculan los camiones y carros de ferrocarril. Ya basculadas, las cañas caen sobre la estera alimentadora y esta la transporta a la elevadora, donde se encuentran los equipos preparadores.

La preparación de la caña se logra haciendo pasar esta por los distintos equipos preparadores de caña (niveladores, cuchillas) mediante un transportador industrial, con el fin de incrementar la capacidad del tren de molinos, romper la estructura de la caña y hacer de ese modo más fácil y eficaz la extracción del jugo, y lograr que el jugo sea más asequible a la imbibición. **(Jenkins, 1988)** La preparación de la caña se hace de varias maneras:

1. Por cuchillas giratorias que corta la caña en astillas, sin extraer jugo.
2. En desfibradoras que rasgan la caña y tiras sin extraer el jugo.
3. Por medio de desmenuzadoras que quiebra y oprime la estructura de la caña y extrae gran parte del jugo.
4. Por combinaciones de cualesquiera o todos los métodos anteriores. **(Spence, 1976)**

La preparación de la caña se realiza mediante cuchillas giratorias que desintegran la caña en astilla, sin extraer el jugo. Hoy en día el uso de la cuchilla va mas allá, buscando que hagan un profundo trabajo de preparación, pero para lograr esto es necesario un aumento del consumo de potencia en los equipos de preparación. Por

tanto se debe tener en cuenta los siguientes axiomas básicos, como plantea Herrera. (Herrera, 1995)

No se puede lograr un incremento en preparación inicial sin un incremento proporcional en consumo de potencia y viceversa, cualquier disminución en consumo de potencia representara una disminución en la preparación dado será proporcional consumida para lograr un índice en un estrecho margen, y que dependerá solos de la calidad de la caña (% de fibra y cantidad de la fibra)

Existen varios factores que tienen mayores influencias en la intensidad de la preparación y el consumo de potencia en cuchilla, estos son.

1. La cobertura que se hace con los elementos de contacto en los laterales de la estera y en la zona sobre las tablillas.
2. la altura máxima del colchón de caña y la velocidad mínima de la estera.
3. El diámetro de giro.
4. La velocidad del giro y la forma y disposición de los machetes.

Es bien conocido que para lograr cualquier desintegración en cualquier materia se requiere gastar energía en esta, en una magnitud que es inversamente proporcional al tamaño de los trozos o partículas logradas, y que puede llegar a valores astronómicos como en la desintegración atómica.

El más obvio de los mecánicos para desintegrar materia es a través de impactos de alta velocidad y gran masa, preferiblemente con la materia detenida total o parcialmente por una sufridera. Las cañas enteras tienen baja densidad de volumen a causa de la proporción de espacio de aire antes los tallos. Pero cuando la caña ha sido cortada por la planta preparatoria, costa de trozos más pequeños, y en consecuencia más o menos uniforme, con un volumen vacío mucho menor. En tal caso, la cantidad de caña agarrada por los molinos será proporcionalmente mayor. Hugot cita las siguientes cifras sobre densidad volumétrica: Caña enteras mas o menos mezcladas: de 8 a 10 lb/ft³, caña pasada por cuchillas de 15 a 20 lb/ft³.

Con las cañas enteras las mazas del molino están más expuestas a resbalar sobre la dura cáscara de la caña. Con la caña preparada se deja al descubierto la porción interior del tallo, las que pueden agarrar con más facilidad las mazas. De ese modo el efecto de las cuchilla es de mejorar la capacidad (Jenkins, 1998)

Se entiende que se ha llegado el punto que con una mejor preparación inicial de caña en las cuchillas se muele mejor. Esta es determinante todo el trabajo del tándem y también aun, a todos los niveles; es conveniente llegar a esta preparación inicial sin perturbar la operación general del ingenio por su efecto en el balance calórico. Con la preparación inicial, o el trabajo en la cuchillas picadoras, se abren las celdas de fibras que contiene el jugo y con estos se permite que la compresión en el molino sea más fácil, además posibilita que el agua de imbibición y los jugos de maceración laven mejor el jugo más rico. Al preparar mejor la caña se aumenta también la densidad del colchón y por ende, la capacidad de molienda. (Arronte, 2009)

Como el proceso de preparación se efectúa para abrir la mayor cantidad de celdas de jugo y dejar libre al lavado la mayor cantidad de jugo, la magnitud del proceso debe medirse, midiendo la cantidad de sólidos contenidos en el jugo que puede liberarse con el solo expediente de lavar con agua la masa de caña preparada. En este principio se basa el actual método establecido (Por combinaciones de todos) y que simplemente compara el Brix que se puede sacar por lavado de la caña preparada con el Brix total de la caña.

Equipos utilizados para la preparación de la caña

Los equipos utilizados para la preparación de la caña son:

- Cuchillas giratorias.
- Desmenuzadora ó desfibradoras.

Después la aplicación de la cuchillas giratorias se han creado diversos tipos de estas según la forma del machete utilizado, como se demuestra en la figura 1 (Hugot, 1986)

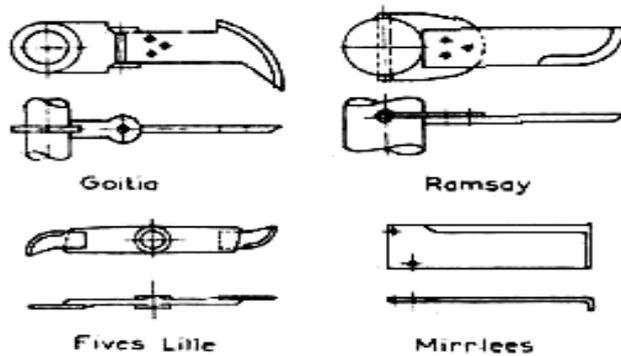


Fig.1 Tipos de cuchillas

Generalmente los juegos de cuchillas son suplementarios de la desmenuzadora del equipo de molienda; permite una alimentación de caña mas pareja, aumenta la capacidad del tándem y logran mayor efectividad del agua de maceración, y el resultado de estos es un aumento en la extracción de sacarosa. (Spencer, 1976)

En la industria en la cual se llevo a cabo este trabajo, el equipo que se emplea en la preparación de la caña es la cuchilla giratoria del tipo Zuazaga y Vaquer.

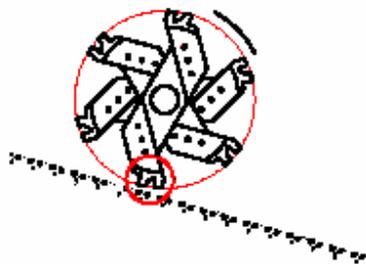


Figura 2. Cuchilla Tipo Zuazaga

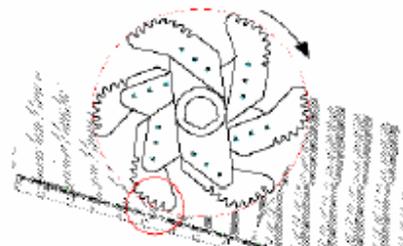


Figura 3. Cuchilla Tipo Vaquer.

Según (Hugot, 1986), las cuchillas cañeras ejecutan dos funciones y tienen dos ventajas:

- Favorecen la capacidad de los molinos transformando la caña en una masa compacta y homogénea.
- Mejoran la extracción de los molinos rompiendo la corteza de la caña y facilitando así su desintegración y la extracción del jugo.

- Sin embargo, el valor de la cuchilla en el desarrollote dos funciones no es equivalente.
- En cuanto al aumento de la capacidad que favorecen, son irremplazables. Si no hay cuchilla el molino solo tomara la caña que pueda absorber del paquete que se presenta.
- En cuanto a la extracción, los molinos tienen precisamente el objeto de romper la caña desmenuzar la corteza y los nudos. Puede considerarse que el aumento obtenido en la extracción con el aumento de un juego de cuchillas es apreciablemente inferior al que se obtendría con la adición de un molino más. (Hugot, 1986)

Influencia de la preparación de la caña en la extracción

El efecto de la preparación sobre la extracción se puede comprender fácilmente si se considera la estructura del tallo de la caña. El jugo azucarado se encuentra en la célula de la pulpa blanda interior, en tanto que la alta concentración de haces longitudinales de fibras en la cortezas y los nudos forman un revestimiento exterior cilíndrico y duro, con paredes divisorias transversales. Si la estructura exterior dura se rompe por medio de una preparación adecuada, la presión aplicada en los molinos extraiga fácilmente el guarapo, en tanto que con los tallos enteros, los molinos tienen que ocuparse primero de romper esta estructura dura, para poder llegar después al jugo. Por tanto, los aparatos preparatorios alivian al molino de gran parte de este trabajo de rotura y facilitan la extracción del jugo.

Con las cuchillas, la influencia sobre la extracción es menos marcada que sobre la capacidad, ya que las piezas de caña cortadas a cuchillas conservan la mayor parte de su estructura original de cáscara y nudos.

Este mejoramiento de la extracción se debe, principalmente, al funcionamiento más eficiente de la imbibición, consecuente con una extracción más allá en el primer molino. (Spencer, 1976)

Factores para incrementar la preparación de la caña

Según (Colectivo de autores ,1976), los principales factores para incrementar la preparación de la caña son:

- Cobertura.

Significa cubrir al máximo el espacio vacío entre los machetes y los laterales de la estera y las tablillas.

➤ Altura del colchón de caña entrando a las cuchillas y mínimas velocidad de la estera elevadora.

➤ **Forma y disposición de los machetes**

Estos aspectos son importantes para lograr una cobertura total del ancho y una máxima repetición de golpes por revolución.

También es importante la aplicación de la distribución de los machetes en forma helicoidal, desde los extremo hacia el centro de la estera.

➤ **El diámetro de giro y las revoluciones por minutos (r/min.)**

1.2.2. Fundamento teórico de la extracción

El proceso de molienda puede dividirse en dos partes:

- La preparación de la caña.
- La extracción del jugo.

En el proceso febril del azúcar de caña, la extracción del jugo se realiza mediante la comprensión de la caña entre cilindros de gran tamaño llamados mazas. Para ayudar a la extracción del jugo, se rocía la torta de bagazo, al salir de cada unidad moledora, con chorros de agua o de jugo pobre en azúcar: esto ayuda a la extracción de azúcar por lixiviación. Este proceso, llamado imbibición, maceración o saturación tiene muchas variantes. Los mejores procedimientos de molienda logran extraer en forma de jugo, más del 95 % del azúcar que contiene la caña; este porcentaje se llama extracción de sacarosa o sencillamente extracción. El bagazo final que sale del último molino contiene la azúcar no extraída, la fibra leñosa, y de 40 a 50 % de agua. Este producto suele ir a las calderas para servir de combustible, pero muchas fábricas compran el combustible que necesitan, y utilizan el bagazo como materia para camas de ganado, o para algún otro aprovechamiento comercial de este subproducto. (**Spencer, 1976**)

El jugo extraído pasa a la etapa de fabricación de azúcar y el bagazo que sirve de combustible para la generación de vapor en los ingenios productores de azúcar crudo. Debido a la electrificación y otras medidas que economizan, la mayoría de las fábricas modernas producen un exceso de bagazo durante sus zafas normales. El manejo de

dicho exceso constituye un problema debido al espacio que ocupa ese material.

(Spencer, 1976)

Las operaciones en los molinos pueden ser divididas en dos partes:

1. Extracción primaria.
2. Extracción secundaria.

En la extracción primaria se extrae el jugo sin diluir. Esta extracción está regulada de manera que el bagazo primario tiene la misma composición con respecto a la fibra y al jugo absoluto.

La cifra de extracción primaria % n caña será mayor para caña de menor fibra % en caña y viceversa. La extracción primaria es muy importante para el mejoramiento del trabajo de los molinos.

Si la extracción es deficiente habrá una mayor carga sobre la extracción secundaria y por ende aumentarán las pérdidas del Pol en bagazo.

En la extracción secundaria el jugo absoluto que queda en bagazo primario es sometido a la dilución con jugo diluido y se comprime con la adición de este jugo y agua, logrando formar una mezcla completa con todo el bagazo. (Hugot, 1986)

En la extracción secundaria el jugo absoluto que queda en bagazo primario es sometido a la dilución con jugo diluido y se comprime con la adición de este jugo y Agua, logrando formar una mezcla completa con todo el bagazo. (Hugot, 1986)

Factores que influyen en la extracción

Entre los factores que influyen en la extracción tenemos:

- Preparación de la caña.
- Composición de la materia prima (% fibra en caña).
- Ajustes de los molinos.
- Velocidad de las máquinas.
- Presiones Hidráulicas
- Agua de imbibición (temperatura, cantidad).
- Imbibición compuesta.
- Estabilidad de la molienda.
- Alimentación.
- Largo de la batería.

Influencia de la fibra de la caña

El porcentaje de fibra tiene un efecto notable sobre la extracción; cuanto mayor sea la cantidad de fibra menor será la extracción con la misma eficiencia de molienda.

Ver anexo 1.

Según se muestra en la tabla 1 con cañas de 10 % de fibra se obtiene extracción del 95 %, disminuyendo esta 0.6 % por cada por ciento que aumenta la fibra, por lo que, para una fibra de 16 % se obtiene la extracción de 91.4 %. Las hojas adheridas y la parte superior del tallo (cogollo), que llegan a la industria por descuido en el trabajo de cosecha aumentan el % de fibra en caña y perjudican la extracción de los molinos en lo fundamental la extracción de la primera unidad. **Ver anexo 1. (Folleto ENJM, 1995)**

En la tabla 2 según aumenta la fibra disminuye la extensión del primer molino y viceversa, porque es menor o mayor la proporción de jugo presente en la caña.

Es importante el chequeo y control del término extracción ya que se utiliza generalmente para denotar el total de azúcar extraído por el tándem de molido, como porcentaje del azúcar en la caña. (Colectivo de autores, 1996)

1.3. El proceso de preparación y extracción de la sacarosa de la caña de azúcar en la UEB “Loynaz Hechavarría Cordobés”

El proceso de extracción de sacarosa se lleva a cabo en la planta moledora de la industria, conocida también como el área Basculador – Molinos, la cual está formada por dos esteras conductoras de caña, dos básculas para carros de ferrocarril y dos para camiones, dos alzadoras de caña para despalillo y una para descolme, un winches para halar carros vacíos y para carros llenos, un nivelador o gallego, dos juegos de cuchillas picadoras de caña de 400 Kw de potencia, 5 unidades de molido (Fulton), movida por una Turbina de vapor de potencias que oscilan entre 1150,14010y 1150 Hp, tiene instalado un sistema de imbibición compuesta, maceración, bombas verticales y colador rotatorio, además del sistema de lubricación asociado, el cual se puede decir que es el eslabón fundamental para el funcionamiento de los molinos, ya que si no se cuenta el 100 % de efectividad de la lubricación esto afectaría considerablemente los puntos de apoyo de los rodillos o mazas.

Cada uno de estos sistemas: un molino de caña en un tándem, un difusor, o un molino de pre extracción seguido de un difusor, requerirá una preparación diferente de la caña. El proceso de difusión requiere un alto grado de ruptura de las células ya que dicho proceso depende completamente en la percolación del jugo a través del colchón de la caña. El índice de preparación juega un papel muy importante en la molienda de caña en tándems directos. Un tándem de molienda requiere caña bien cortadas y células desgarradas. Aún de mayor importancia, es la presencia de hilos de fibra largos y un mínimo contenido de fibras cortas (granulometría). La presencia de hilos de fibra largos facilita la alimentación del molino ya que dichas fibras se anastomosan mientras entran al molino. La reducción del contenido de fibras cortas facilita el drenaje del molino (reduciendo reabsorción) y así incrementando la capacidad del este.

En los laterales del molino se descuida la posición del último machete de cada lado y queda una separación grande entre estos machetes extremos y la guardera por donde pasa la caña sin preparar. Situación que genera el inicio de las pérdidas de eficiencia en el proceso, unido a la no implementación de los nuevos modos y formas tecnológicas que favorecen el proceso de preparación y extracción de la sacarosa. En la absorción de molienda se extrae la sacarosa que contiene la caña y se obtiene el subproducto o residuo de la molienda de la caña que se llama bagazo. El área de molinos es una de las más importantes dentro de la industria, ya que su trabajo es el punto de partida del balance de la masa y energía de la fábrica a partir de la combustión del bagazo, energía que se debe de aprovechar al máximo. Debido al trabajo que realiza, reporta pérdidas de Pol en bagazo % Pol en caña entre el 30 y el 40 % de la pérdida total de Pol que tiene el ingenio, por lo que se hace necesario la evaluación de esta y medición de los resultados.

Por otro lado, debe señalarse que cuando la energía eléctrica se genera, tanto en una fábrica como en un ingenio, el accionamiento eléctrico constituye solo un medio de transmisión de fuerza. Este método ofrece varias ventajas notables, particularmente las tuberías de vapor del tren de molinos, así como un control más fácil, más bajos costos de operación y mantenimiento, y ausencia de aceite en el vapor de escape, ya que la

energía se genera por una tubería en la que el aceite no hace contacto con el vapor; también se pueden utilizar fácilmente altas presiones de calderas, con una reducción apreciable del consumo de energía por los motores primarios.

1.4. Pasos para la evaluación técnica del proceso de preparación y extracción de sacarosa de la caña de azúcar

En este epígrafe se propone una secuencia de pasos para la evaluación técnica del proceso de preparación y extracción de sacarosa de la caña de azúcar, los cuales son confeccionados de una manera sencilla y lógica, se explica los materiales, técnicas analíticas empleadas y el procedimiento estadístico de los resultados experimentales. La evaluación de la eficiencia en la extracción de la primera y última unidad de molida en la planta moledora se desarrolla mediante el procedimiento de control establecido en el Manual de Operación de la Planta Moledora.

Pasos para la evaluación técnica del proceso de preparación y extracción de sacarosa de la caña de azúcar

Paso 1: Análisis de las causas del incumplimiento del plan de molida en la zafra

Información que se tomará del informe de cierre de Zafra del 2010.

Objetivo: Conocer las causas del incumplimiento del plan de producción de la Zafra 2010 según el informe de cierre.

Técnicas: Revisión de documentos, entrevistas, análisis de indicadores y otras técnicas de recopilación de información.

Para este análisis se determinará las toneladas dejadas de producir según plan y se analizarán las áreas que incidieron cuantificándose las toneladas dejadas de producir por cada una y por ciento de acuerdo a la tabla siguiente:

Áreas de la industria	Indicadores de análisis por área	Pérdida (Ton)	%
Planta moledora	Pol en Bagazo		
Área de purificación	Pol en cachaza		
Área de cristalización	Pureza de Miel Final		
Área de fabricación	Indeterminados		
Industrial	Tiempo perdido		
Total			

Tabla 1.1: Análisis de las áreas que incidieron en el incumplimiento del plan de molida

Paso 2: Evaluación de la eficiencia técnica del proceso en la planta moledora

Objetivo: Evaluar la eficiencia técnica del proceso de preparación de la caña y extracción de sacarosa de la caña de azúcar en la planta moledora.

Técnicas: Revisión de documentos, entrevistas, análisis de indicadores y otras técnicas de recopilación de información.

La evaluación de la eficiencia técnica del proceso en la planta moledora se analizará por los indicadores siguientes:

Indicadores (variables técnicas)	Período (año)	Patrón de comparación
% de caña preparada		
Índice de preparación		
Ext. Relativa Mol. 1		
Ext. Relativa Mol. 5		
% jugo ext. Mol. 1		
% jugo ext. Mol. 5		
Granulometría gabazo		
% Pol bagazo		

Tabla 1.2: Evaluación de la eficiencia técnica del proceso en la planta moledora

Paso 3: Propuesta de medidas

Objetivo: Proponer medidas de mejora técnicas en el proceso de preparación y extracción de la sacarosa realizado en la planta moledora (basculador y molinos).

Técnicas: Tormenta de ideas, consulta con expertos, voto ponderado.

La propuesta de medidas estuvo a cargo expertos de los tecnólogos, mecánicos y obreros del área.

Las medidas para mejorar la eficiencia en la planta moledora deben estar dirigidas a mejorar los siguientes aspectos:

Altura del colchón y motores en la estera elevadora

En la situación actual estos son los factores que pueden mejorarse y es necesario combinar ambos. Aunque teóricamente, para una molida dada, una altura de colchón de caña ya determinada la velocidad media, o por que el equipo motor de la estera no lo permite o porque el operador se descuida, si se trabaja a bucheo y se usa una velocidad muy superior a la media, se pierde en preparación, aun con una altura de colchón.

Mejora los equipos motores no solo estabiliza la molienda en el tándem. También esto conlleva una gran repercusión en la mejoría de la preparación.

La flexibilidad de un motor de roto bobinado con resistencia no llegara nunca al ideal requerido.

Capacidad de la estera elevada de caña

Para mejorar la preparación de la caña debe reducirse la velocidad usual de la estera elevadora, con lo que aumentara la altura del colchón sobre ella.

Diámetro de giro

Revoluciones por minutos (r/min)

La velocidad del equipo es fundamental, el margen de mejora es enorme. Los fabricantes actuales de desfibradoras plantea velocidades de 96 m/ seg. Como seguras.

Forma y disposición de los machetes

Estos aspectos son importantes para lograr una cobertura total del ancho y una máxima repetición de golpes por revolución.

Otros elementos a considerar son:

Ajuste de los molinos

Es el conjunto de dimensiones que se calculan para armar los molinos, de acuerdo a las condiciones de por ciento en la fibra y capacidad de molienda, que se prevean para la venidera zafra. Los ajustes así calculados posibilitarán el armado de las unidades de molienda y tener suficiente márgenes para realizar la correcciones que los resultados operativos de la molienda van exigiendo durante el desarrollo de la misma, para obtener óptimos resultados.

Velocidad de las máquinas

Se debe lograr estabilizar las máquinas para que operen a la velocidad óptima para una mayor extracción en la unidad de molienda.

Presiones hidráulicas

Es el valor de presión calculado para las condiciones de fibras y capacidad de molienda, según el diámetro, largo del collarín de las masas y el tipo de molino. Estas se deben aplicar según la norma establecida para lograr mayor eficiencia de la unidad de molienda.

Estabilidad de la molienda y alimentación

En este caso se debe lograr una continuidad en el proceso de manera estable para no crear vacíos en la alimentación de materia prima a las unidades de molidas, logrando entregar a cada unidad de molida la cantidad de bagazo adecuada para una mejor extracción mediante la comprensión.

Control de los molinos

Uno de los mejores medios de control para el trabajo de los molinos es la construcción de una grafica con los Brix del jugo de los molinos sucesivos (curvas de Brix). El Brix disminuye de un molino a otro con la imbibición compuesta, que es la que se emplea actualmente.

Es conocido que la composición de la fibra de caña es aproximadamente:

- 40-45 % de medula o meollo.
- 55-60 % de fibra dura.

Se considera que un valor mínimo o de 0.68 para la relación fibra dura/ meollo es aceptable tanto para la extracción de Pol como la combustión. (Colectivo de autores, 1996)

Otros aspectos a supervisar son:

Ajuste de los molinos

Velocidad de las máquinas

Presiones hidráulicas

Estabilidad de la molida y alimentación

Control de los molinos

Paso 3: Aplicación y evaluación de las medidas

Objetivo: Aplicar las medidas propuestas y evaluar su factibilidad por variables técnicas. Realizar una comparación de los resultados de las variables seleccionadas en las zafras 2010 y 201

Técnicas: control de indicadores por variables técnicas.

Una vez que se aplique los cambios tecnológicos se debe de evaluar el impacto de estos en la eficiencia del proceso de preparación y extracción de sacarosa.

Evaluación y análisis de los indicadores técnicos del proceso (variables técnicas)

Para todo el desarrollo se toma como punto de partida las variables, en el periodo comprendido entre el 24/01/2011 y 3/03/2011. Este periodo se dividió en 6 etapas ya que los cálculos se deben realizar en los promedios semanales.

Los indicadores (variables técnicas) a analizar son:

- Índice de preparación de la caña.
- % de caña preparada.
- Extracción primera y última unidad de molienda.
- Extracción relativa.
- Granulometría de bagazo.
- Corrida de Brix.
- % de Pol en bagazo.

Se realiza una comparación de los resultados de las variables seleccionadas en las zafas 2010 y 2011 para evidenciar la factibilidad técnica de las medidas.

También se debe supervisar otros elementos como:

Ajuste de los molinos

Velocidad de las máquinas

Presiones hidráulicas

Estabilidad de la molienda y alimentación

1.4.2. Materiales empleados

Los sólidos a tratar en esta investigación son el resultado del proceso en cuestión:

Cañas pasadas por la cuchillas (preparada) y el residuo de la etapa de molienda (bagazo); este último es utilizado como combustible en los hornos para la producción de vapor. Según se muestra en la figura.



Figura 5: a) Caña preparada b) Bagazo

Reactivos químicos

Los reactivos químicos utilizados para determinar el Pol y el Brix fueron:

- Sulfato de aluminio de concentración $\frac{1}{4}$ mol. /L.
- Hidróxido de sodio de concentración 1 mol/L.
- Tierra de infusorios.
- Agua de temperatura ambiental.

Equipos y utensilios

Todas las determinaciones fueron realizadas en el laboratorio de la industria, el cual esta provisto del equipamiento básico necesario para realizarlas.

Equipos

- Balanza técnicas, apreciación 0.1 g.
- Desfibradora de laboratorio
- Bascula de plataformas
- Sacarímetro o polarímetro.
- Refractómetro de mano.
- Secador de bagazo (MOISTURE TELLER).
- Prensa hidráulica.



Figura 6: Equipos utilizados.

Utensilios:

- Beaker de 250 y 100 mL.
- Embudo.
- Matraz aforado de 100 mL.
- Papel de filtro (velocidad media).
- Recipientes para la muestras.
- Manta grande.
- Termómetro.

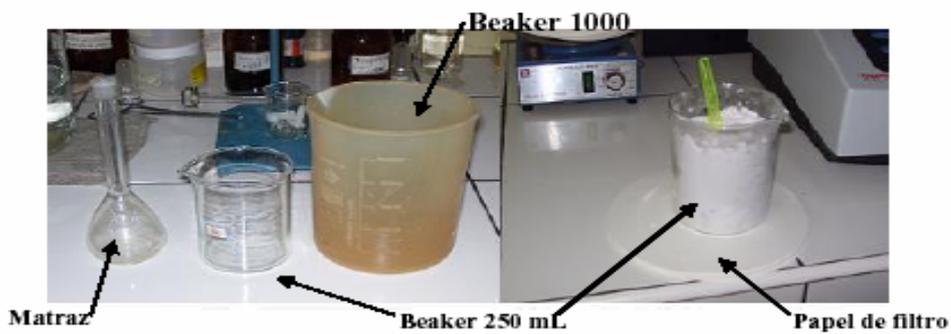


Figura 7: Utensilios utilizados.

1.4.3. Técnicas y métodos de laboratorio

Se emplearon diferentes técnicas de laboratorio para determinar los valores de la variable independiente. Todos los cálculos fueron realizados en el Microsoft Excel.

Con la finalidad de obtener representatividad en la muestra, esta fueron tomadas con las exigencias necesarias, de las maneras siguientes:

Caña pasada por las cuchillas. A todo el ancho y altura del colchón d caña.

Bagazo: a todo largo de la masa bagacera

Jugo primario mezclado: en los tomas de muestra y puntual.

Jugo de las distintas mazas: a todos lo largo d la mazas.

El Brix con se realizan los cálculos es un Brix corregido, el cual se determina por una tabla (anexo 3) teniendo la lectura del Brix y la temperatura del jugo filtrado.



Fig. Filtración del jugo.

La fibra de la caña se determino mediante el método de Hoarau, el cual consiste en relacionar, mediante una tabla, la masa de bagazo con la fibra. Este requiere el descifrado de la caña y el prensado, controlando la presión y el tiempo que se ejerce. (Pérez, 2006)

La fibra en bagazo se determino mediante el método de la prensa, el cual se basa en la relación entre el contenido de fibras seca y húmedo presentes en la muestra. Este método precisa además la determinación de la humedad y el Brix. (Pérez, 2006)

Para la determinación de la humedad del bagazo se utilizó el método gravitatorio, basado en la desecación de la muestra a temperatura regulada, controlado estrictamente las condiciones (especialmente la temperatura) y la determinación gravimétrica de la pérdida de maza experimentada. (Pérez, 2006)

Procedimiento.

- Pesar 100 gramos de bagazo en envase previo ante pesado.
- Colocar en el secador (Mousteri Teller) y llevarlo a peso constante.
- Pasado el tiempo, pesar rápidamente en caliente para evitar absorción de humedad.

Teniendo los diferentes pesos se procede a determinar la humedad utilizando la siguiente expresión.

$$\text{Humedad} = \frac{(m2 - m3)}{M2 - m1} * 100$$

Donde:

M1 – peso del recipiente vacío.

M2 – peso del recipiente mas la muestra antes del secado.

M3 – peso del recipiente mas la muestra después del secado.

El % de Pol en bagazo se determino utilizando el método de la masa normal con utilización de hidróxido de aluminio. Es un método de clasificación, donde esta se basa en la propiedad que tiene el hidróxido de aluminio, formando en el seno de la solución de eliminar color y turbiedad en las soluciones de productos azucareros para determinar el Pol.

La determinación del Pol se fundamenta en la propiedad que se presenta la sacarosa de rotar el plano de luz polarizada en una magnitud directamente proporcional a su concertación en solución acuosa. En realidad, el Pol viene dado por la sumatoria algebraica de las sustancias óptimamente activas contenida en la solución clarificada, por lo tanto en mayor o menor grado, siempre se determina el contenido de sacarosa aparente en el producto analizado. (Pérez, 2006)

Capítulo 2: Evaluación técnica del proceso de preparación y extracción de sacarosa de la caña de azúcar en la UEB "Loynaz Hechavarría"

2.1 Breve descripción de la UEB "Loynaz Hechavarría"

La empresa Azucarera 'Loynaz Hechavarría' Pertenciente al Grupo Empresarial azucarero AzCuba se encuentra ubicado en el extremo en el nordeste de la llanura cauto alto cedro, en el poblado de Marcané, municipio de Cueto con la extensión geográfica de 28,8Km delimitada al norte con la granja agropecuaria de Guatemala, al este con el distrito pecuario de 6 de Agosto, y al sur con la UEB central Azucarero Urbano Noris.

Como principal vía de acceso tiene el terrestre Caballería- Santiago de Cuba y la férrea ramal Antilla Alto cedro que por este ultimo enlaza a ferrocarriles nacionales.

Su objeto social es la producción de azúcar y mieles de calidad, tiene una superficie total de 17562 ha (total agrícola 16142.9 ha y total no agrícola 1419.4 ha).

La UEB Central Azucarero "Loynaz Hechavarría" cuenta con las siguientes instalaciones fabriles:

- 1) Ingenio de crudo con capacidad instalada de molido diaria de 4226 t y una capacidad potencial 4025 t diaria.
- 2) Fábrica de Urea Bagacillo con una capacidad de 10 t/día.

El estado técnico del equipamiento fabril se considera aceptable, a pesar de los problemas presentados durante la zafra. El principal problema confrontado en los últimos años es el bajo aprovechamiento de la capacidad instalada por el insuficiente suministro de caña.

La Empresa actualmente está poco diversificada, con baja producción azucarera e irrentable económica y financieramente: motivada por la insuficiente explotación de las capacidades instaladas, acentuada por las condiciones climatológicas adversas, la ineficiencia e insuficiencia en los abastecimientos y los financiamientos. La misma tiene para el abastecimiento de su materia prima principal, la caña: un área de 12 840.0 ha, esta área pertenece en lo fundamental al sector cooperativo subdividido en 6 Unidades Básicas de Producción Cooperativa (UBPC), Cooperativa de Producción Agropecuaria

(CPA) y una Cooperativa de Crédito y Servicio Fortalecida (CCSF), que presta servicios a campesinos individuales.

2.2 Análisis de las causas del incumplimiento del plan de molienda en la zafra

Para la realización de este análisis fue necesaria la consulta del informe de cierre de zafra. A continuación se muestra el incumplimiento del plan de producción física de la zafra 2010.

Período	U/M	Plan	Real	Desviación	%
2010	TM	42 890.28	42 483	407.72	99

Se dejaron de producir 407.72 t de azúcar, a un precio de \$ 1 311.40 la tonelada, se dejan de ingresar \$ 534684.

A continuación se analiza los fallos por incumplimiento de la norma de cada indicador por área de la caña dejada de moler, es decir, se analizará cuáles áreas incidieron más en el incumplimiento.

Áreas de la industria	Indicadores de análisis por área	Pérdida (Ton)	%
Planta moledora	Pol en Bagazo	110.99	27.22
Área de purificación	Pol en cachaza	10.27	2.52
Área de cristalización	Pureza de Miel Final	53.04	13.01
Área de fabricación	Indeterminados	47.46	11.64
Industrial	Tiempo perdido	185.96	45.61
Total		407.72	100.00

Tabla 2.1: Análisis de las áreas que incidieron en el incumplimiento del plan de molienda en la zafra 2010

Los áreas que presentan mayor porcentaje de incidencia corresponden a los pelotones de corte y a la planta moledora (basculador y molinos) de la UEB, según reportes de los indicadores Tiempo perdido (45.61%) y al Pol en Bagazo (27%) respectivamente, las causas relacionadas con los pelotones de corte fue de análisis en otra investigación paralela a esta, y las que corresponden al Pol es en el área objeto de estudio a la cual se propone mejorar su eficiencia.

2.2 Evaluación de la eficiencia técnica del proceso en la planta moledora

Para la evaluación de la eficiencia técnica del proceso en la planta moledora se presenta los indicadores siguientes:

Indicadores (variables técnicas)	Período (zafra 2010)	Patrón de comparación
% de caña preparada	80	90
Índice de preparación	62	70
Ext. Relativa Mol. 1	0	0
Ext. Relativa Mol. 5	70	85
% jugo ext. Mol. 1	0	0
% jugo ext. Mol. 5	-	-
Granulometría gabazo	0,81	1
% Pol bagazo	2,87	2.1

Tabla 2.2: Evaluación de la eficiencia técnica del proceso en la planta moledora

El resultado obtenido en % de caña preparada, en el Índice de preparación y Granulometría gabazo se consideras deficientes, partiendo de los valores normados. De esta manera los molinos sucesores deben hacer un trabajo mayor para lograr extraerlo que quedó de la primera extracción.

El parámetro de mayor importancia en el área de molinos es el % de Pol en el bagazo, el cual refleja la pérdida del tándem. Teniendo en cuenta los valores establecidos se pierde 0.73 % de Pol (bagazo con sacarosa) como promedio durante el período proceso de zafra. Este resultado representa una determinada cantidad de azúcar que será quemada, afectando el rendimiento industrial, conllevando a moler más caña de la planificada con la máxima extracción de Pol y la extensión del período de zafra.

Por lo que se plantea que el proceso de preparación y extracción de sacarosa de la caña de azúcar en la UEB "Loynaz Hechavarría" es deficiente.

2.3 Propuesta de medidas

Las medidas técnicas propuestas con vista a mejorar la eficiencia del proceso de preparación y extracción de la sacarosa en la planta moledora (basculador -molinos) fueron propuestas por expertos: tecnólogos, mecánicos y obreros, llegando a un consenso a través del voto ponderado y aprobadas por la Junta directiva en varias reuniones sesionadas.

A continuación se presenta las propuestas:

Con el fin de mejorar la preparación, además de colocar los machetes en la posición más próxima posible a las guarderas, se complementa soldando un deflector a cada guardera para dirigir hacia adentro las cañas que viene pegadas a estas. Estos deflectores comienzan soldados a las guarderas y terminan frente al último machete de cada lado. Deben tener largo suficiente (1-2 m) para que las cañas vayan entrando gradualmente y no se produzca atoros se decidió cambiar referente a:

Máxima altura del colchón de caña entrando a las cuchillas y mínimas velocidad de la estera elevadora.

En alto, la separación entre puntas de machetes y los lomos de tablillas debe ser mínima ($\frac{1}{2}$). Esteras con spikes en tablillas son problemáticas en este sentido. Para poder operar bien estereras sin tener que recurrir a spikes, el ángulo de inclinación debe ser inferior a 15 grado.

Resulta obvio la importancia de tener instalaciones de estereras que permitan lograr colchones de 1.5 m de altura. Para esto el ángulo de inclinación debe ser inferior a 15 grado y la caída de una estera a otra (del retorno de la alimentadora a la tablilla de la elevadora) de alrededor de 2 m mínimo.

Motores en la estera elevadora

Tener un equipo motor con gran variación en velocidad, de casi 0 a 1,5 veces la media necesaria. Esto se logra con un motor hidráulico, un motor de corriente directa o un motor eléctrico con variación de frecuencia.

Capacidad de la estera elevada de caña

Para determinar la velocidad de operación que debe tener la estera elevadora se utilizan los siguientes índices:

1. Altura del colchón después de la cuchillas = 1.0 m = 3.28 ft.
2. Densidad del colchón de caña preparada = 15 lb/ft³.

Ejemplo:

Caña molida = 400 000 @ / día = 6950 lb/min.

Ancho de estera = 7 ft

6950

Velocidad = _____ = 20 ft/min.

3.28 x 7 x 15

Diámetro de giro

Actualmente es del orden de 1650 mm. El posible margen de mejora es pequeño porque no es recomendable sobrepasar los 1800 mm por problemas mecánicos de desbalance y otros.

Revoluciones por minutos (r/min)

En Cuba se ha usado exclusivamente 580 r/min., pero pudiera usarse 720, 880 y hasta 1 170 r/min. (Utilizando rodamientos y su lubricación apropiada).

Aún con 1 170 r/min., que puede considerarse como demasiado grande (preferible 880), se estaría dentro de una velocidad periférica segura.

Con 580 r/min. Se tiene 49.5 m/seg.

Con 1 170 r/min. Se tendría 99.8 m/seg.

Forma y disposición de los machetes

Está comprobado el gran potencial de un juego de machete de 6 x 100 (6 golpes por revolución, con 100 mm ancho de corte).

Sin grandes inversiones, mejorando los puntos 1, 2, 3 y 6 se pueden lograr dramáticas mejoras en la preparación.

La aplicación de la distribución de los machetes en forma helicoidal, desde los extremos hacia el centro de la estera.

2.4 Evaluación y análisis de las medidas

La Junta Directiva decidió implementar las medidas, se contó con la aprobación nacional. Las medidas técnicas fueron aplicadas por mecánicos y tecnólogos especialistas según presupuesto de inversión y cumplidas según un plan calendario.

2.3.1 Medición de los indicadores (variables técnicas)

Índice de preparación

Se tomó una muestra representativa de caña preparada (1kg) en una cubeta con una cantidad de agua 4 veces mayor (4kg) y después de una mezcla mecánica manual de 5 a 10 minutos se analizó el Brix del líquido y este Brix multiplicado por 4 resultó el "Brix libre" (Bx_1). Este (Bx_1) dividido por el Brix total de la caña (Bx_2) dará el "índice rápido de preparación". **(Colectivo de autores, 1996)**

Para determinar el índice de preparación se empleó la siguiente expresión

$$I_p = \frac{(Bx_1)}{Bx_2} * 100$$

Bx₂

Donde:

IP – índice de preparación .

Bx₁ – Brix de lavado de la caña.

Bx₂ – Brix total de la caña .

Por cualquiera de los métodos establecidos, encontrar el Brix total de la caña es lo que introduce la mayor complejidad, el mayor tiempo y también la mayor posibilidad de error. Hay análisis muy sofisticados, pero en este método simple una porción de la muestra representativa (y si es desfibrada mejor) se prensa y este Brix de prensa permitirá conocer el Brix de caña o (Bx₂) estimando una fibra en caña (Fc.).

Para ello se utiliza la siguiente expresión:

$$Bx_2 = Bx_{\text{Prensa}} * \frac{100 - Fc.}{100}$$

Bx₂ – Brix total de caña

Bx prensa – Brix de la caña prensada.

Fc. - % de fibra en caña.

Lo único estimado es la fibra en caña (Fc.) cuyo valor se tomó del análisis de fibra directa. Realmente se ligan los análisis de preparación y fibras de cañas con las mismas muestras, no es necesario estimar, y esto es lo que se ha realizado durante algún tiempo, como la manera mas rápida de sistematizar este análisis: hacer el análisis de fibras de caña cada vez que se haga uno de preparación, usando los valores de Brix en cañas que necesariamente hay que obtener en este análisis. Además, este método tiene la ventaja que al reportarse los valores de Brix de jugo de lavar la caña y el Brix de la caña, fácilmente podemos percatarnos si hay valores ilógicos, especialmente en el segundo.

Para la determinación de la fibra de caña, se siguieron los siguientes pasos.

1. Se tomó 500 g de la muestra desfibrada.
2. Se presento una presión de 100 kg/cm² durante 1 minuto.
3. Después del prensado se pasa la muestra resúltate.
4. Con la diferencia del peso inicial y final se determina la fibra según tabla.

Ver anexo 2

A continuación en la tabla 1 se muestra los resultados obtenidos en las semanas

entre el 21 de febrero y 3 de abril de 2011.

Indicadores	Datos por semana					
	1	2	3	4	5	6
Peso inicial en (g)	500	500	500	500	500	500
Peso después del prensado (g)	326,5	330,48	325,5	332,47	313,56	318,4
Diferencia de peso (g)	173,5	169,52	174,5	157,63	186,44	181,46
% de fibra en caña según tabla	17	16,6	17,1	16,4	18,3	17,8
Brix de lavado	2,91	3,15	2,98	3,08	3,05	3,33
Bx1	11,63	12,60	11,92	12,33	12,20	13,31
Brix de la prensa	20,13	21,33	21,18	22,55	21,97	22,45
Brix de la caña	16,71	17,79	17,56	18,85	17,95	18,46
Índice de preparación	70	71	68	65	68	72

Tabla 2.3: Resultado del Índice de Preparación

Por ciento de caña preparada

Para determinar el por ciento de caña preparada se utilizó la siguiente expresión.

$$\%Cp = \frac{Cp}{Ct}$$

Ct

Donde:

% Cp – Por ciento de caña preparada.

Cp – Peso de la caña preparada.

Pt – Peso total de la muestra.

En la siguiente tabla se expone los resultados de varias semanas.

Indicadores	Datos por semanas					
	1	2	3	4	5	6
Peso de la muestra (kg.)	20	20	20	20	20	20
Peso de caña preparada (kg.)	19,1	19,18	19,12	19,11	19,1	19,08
% Caña preparada	90	82	88	89	90	92

Tabla 2.4: Resultado del por ciento de caña preparada.

Extracción primera y última unidad

Para determinar la extracción de estas unidades, se realizó el balance de materiales (para 100 tn de cañas), determinando el % de jugo extraído por cada uno, utilizándose las siguientes expresiones: (Colectivos de autores, 1996)

$$tB = 100 * \frac{Fc}{Fb}$$

Donde:

tB –tonelada de bagazo saliendo del molino que se trata.

Fc- fibra de caña.

Fb- fibra de bagazo saliendo de la unidad de molida.

$$Fb = 100 - (Bx_{\text{bagazo}} + \text{Humedad}_{\text{bagazo}})$$

Donde:

Humedad_{bagazo} – humedad del bagazo saliendo del molino analizado.

Bx_{bagazo} – Brix del bagazo del molino analizado.

$$Bx_{\text{bagazo}} = \frac{\text{Humedad}_{\text{bagazo}} * Bx_{\text{prensado}}}{100 - Bx_{\text{prensado}}}$$

Donde:

Bx_{prensado} – Jugo que se extrae del bagazo prensado.

En la tabla se muestran los resultados de varias semanas de la fibra de la caña y del bagazo a la salida de las unidades de molida.

semana	molino	Bx _{prensado}	Humedad _{bagazo}	% fibra de caña	Bx del bagazo	Fibra del bagazo
1	1	16,36	54,36	17	10,64	35,00
	4	8,47	50,32		4,65	45,03
	5	6,34	50,88		3,45	45,67
2	1	16,91	55,93	16,6	11,38	32,68
	4	8,54	53,83		5,03	41,14
	5	6,57	47,67		3,35	98
3	1	17,74	57,92	17,1	12,49	29,59
	4	7,37	52,56		4,18	43,26
	5	6,15	49,44		3,24	47,32
4	1	18,81	54,00	16,4	12,51	34,9
	4	7,66	54,47		4,52	41,01
	5	6,32	50,00		3,37	46,63
5	1	19,19	56,36	18,3	13,38	30,26
	4	7,41	53,60		4,29	42,11
	5	6,37	50,20		3,42	46,38
6	1	19,95	57,70	17,8	14,38	27,92
	4	10,58	53,90		6,38	39,72
	5	8,45	50,00		4,61	45,39

Tabla 2.5: Resultados de la fibra del bagazo a la salida de cada molino

En la siguiente tabla se muestra los resultados las toneladas de bagazo saliendo de cada molino.

Semana	Molino	% Fibra en caña	Fibra del bagazo	T de bagazo saliendo
1	1	17	33.34	51.0
	4		48.08	35.4
	5		47.50	35.8
2	1	16.6	33.09	50.2
	4		51.26	32.4
	5		62.57	26.5
3	1	17.1	32.22	53.1
	4		46.01	32.2
	5		48.78	35.1
4	1	16.4	35.79	45.8
	4		37.19	44.1
	5		46.43	35.3
5	1	18.3	29.40	62.2
	4		38.42	47.6
	5		43.36	42.2
6	1	17.4	30,39	57.2
	4		43.01	40.5
	5		45.71	38.1

Tabla 2.6: Resultados de la toneladas de bagazo

$$tJE = tB_i + tLI - tB_f$$

Donde:

tJE – tonelada de jugo extraído.

tB_i – tonelada de bagazo saliendo del molino anterior.

tLI - % de agua de imbibición.

tB_f - tonelada de bagazo saliendo del molino que se analiza.

Las toneladas de jugo extraído en la primera unidad se determinan mediante la siguiente expresión:

$$TJE = tcaña - TB$$

En este caso, el valor de la tonelada de caña es 100, ya que las determinaciones se realizan para esta cantidad.

Para determinar el por ciento de agua de imbibición:

$$T LI = 100 * \left(\frac{Bx_{JP} - Bx_{JM}}{Bx_{JP}} \right)$$

$$Bx_{JP}$$

Donde:

Bx jp – Brix del jugo primario

Bx jm – Brix del jugo mezclado

Los resultados de la variable se muestran en la siguiente tabla.

Semana	Molino	Bx jugo primario	Bx jugo mezclado	% de agua en imbibición	t de bagazo saliendo	t de jugo extraído
1	1	18.25	14.67	19.6	51.0	49.0
	4				35.4	
	5				35.8	
2	1	19.62	14.82	24.5	50.2	49.8
	4				32.4	
	5				26.5	
3	1	20.30	14.94	26.4	53.1	46.9
	4				37.2	
	5				35.1	
4	1	20.49	14.70	28.3	45.8	54.2
	4				44.1	
	5				35.3	
5	1	21.38	14.66	31.4	62.2	37.8
	4				47.6	
	5				42.2	
6	1	21.23	14.66	30.9	57.2	42.8
	4				40.5	
	5				38.1	

Tabla 2.7: Resultados del Brix

Para la determinación del % de jugo extraído se emplea la expresión:

$$\% \text{ JE} = \frac{100 * \text{TJE}}{\text{TB}_i + \text{TLI}}$$

$$\text{TB}_i + \text{TLI}$$

Donde:

% JE – es el por ciento de jugo extraído por unidad molida.

Para el caso de la primera unidad de molida se emplea la expresión:

$$\% \text{ JE} = \frac{100 * \text{TJE}}{\text{t de caña}}$$

$$\text{t de caña}$$

Semana	Molino	% de agua en imbibición	t de bagazo saliendo	t de jugo extraído	% de jugo extraído
1	1	19.6	51	49	49
	4		35.4		
	5		35.8	19.2	35

2	1	24.5	50.2	49.8	50
	4		32.4		
	5		26.5	30.4	53
3	1	26.4	53.1	46.9	47
	4		37.2		
	5		35.1	28.5	45
4	1	28.3	45.8	54.2	54
	4		44.1		
	5		35.3	37.1	51
5	1	31.4	62.2	37.8	38
	4		47.6		
	5		42.2	36.8	47
6	1	30.9	57.2	42.8	43
	4		40.5		
	5		38.1	33.3	47

Tabla 2.8: Resultado del por ciento de jugo extraído en los molinos 1 y 5

Extracción relativa de las masas cañera

En esta determinación es muy importante tener cuidado en el momento de mostrar la muestra, ya que los jugos pueden mezclarse y obtener valores ilógicos. Para ellos se tomaron las muestras de los jugos de las masas cañeras y bagacera y el mezclado de la última unidad de molida. A esto se le determino el Brix utilizando el refractómetro de mano y se realizo el cálculo mediante la siguiente expresión:

$$X_c = \frac{Bx_b - Bx_m}{Bx_b - Bx_c} * 100$$

Donde:

X_c — proporción de jugo extraído por la masa cañera.

Bx_b - Brix corregido del jugo de la masa bagacera.

Bx_c – Brix corregido del jugo de la masa cañera.

Bx_m - Brix corregido del jugo mezclado.

En el periodo de referencia, esta variable se determino en dos frecuencias en el molino 5, obteniéndose los mismos resultados.

Brix	Muestra 1	Muestra2
Bx masa cañera.	2,12	3,11
Bx masa bagacera	3,29	5,79
Bx mezclada	2,28	3,59
Xc	86	82
Xb	14	18

Tabla 2.9: Resultado de la extracción relativa de la masa cañera molinos 5

Granulometría del bagazo

Esta se determino con la misma muestra que se tomo para realizar el balance de materiales, siguiendo los siguientes pasos:

1. Pesar 100 g de la muestra.
2. Secar el bagazo a peso constante.
3. Tamizar la muestra seca durante 20 minutos utilizando un tamiz de 3 mm de diámetro de perforación para separar la fibra dura del meollo y pesarlo.
4. tamizar la fibra dura durante 20 minutos utilizando un tamiz de 6 mm de diámetro de perforación y pesarla.
5. Determinar el por ciento de cada componente.
6. (Colectivo de autores, 1996)

Los resultados fueron los siguientes:

Semana	Fibra	Meollo	Relación
1	49	51	0,96
2	54	46	1,17
3	48	52	0,92
4	51	49	1,04
5	49	51	0,96
6	50	50	1

Tabla 2.10: Resultados de la granulometría del bagazo

Corrida de Brix por maza y por molino

Se tomo la muestra a todo lo largo de la maza, teniendo especial cuidado con el jugo que extrae la maza bagacera; ya que puede ocurrir que por el talón de la cuchilla central

se escurra jugo de la comprensión superior – cañera y diluya la muestra de la bagacera. A los jugos se le determino el Brix corregido y se confeccionó el grafico o curvas de Brix

Tabla 2.11: Corrida de Brix antes del mantenimiento

Mazas	Molino 1	Molino 2	Molino 3	Molino 4	Molino 5
Cañera	22,78	11.64	7.58	4,63	2,50
Bagacera	22,78	16,96	9,78	8,64	3,10

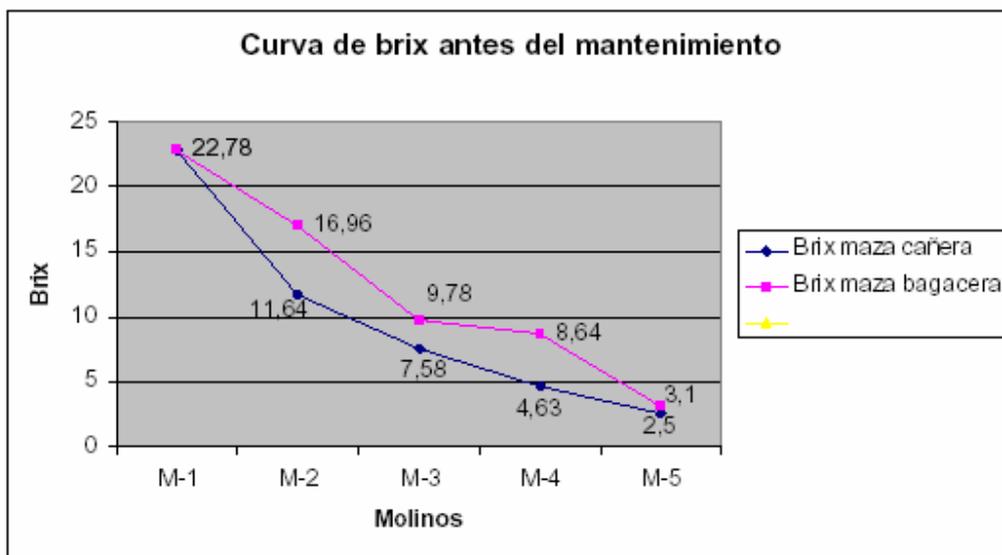


Gráfico 1. Grafico de las curvas de Brix antes del mantenimiento.

En este grafico se observa el comportamiento de cada unidad de molida a través de los Brix de los jugos de las diferentes mazas y la caída de Brix existente desde la maza cañera del primer molino hasta la bagacera del último molino.

Mazas	Molino 1	Molino 2	Molino 3	Molino 4	Molino 5
Cañera	22,50	14.16	9.44	4.79	2.34
Bagacera	21.30	19.58	13.64	6.99	2.94

Tabla 2.12: Corrida de Brix después del mantenimiento

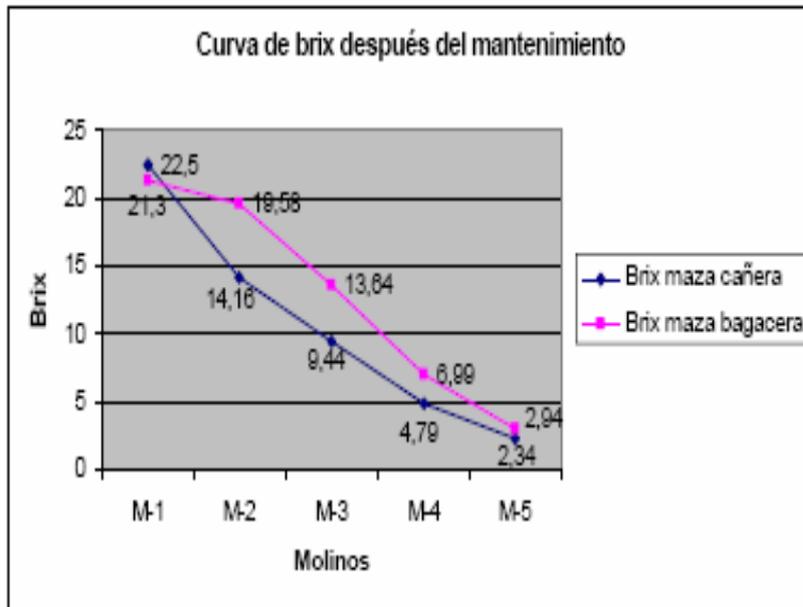


Gráfico 2. Grafico de las curvas de Brix después del mantenimiento

Reporte del laboratorio

Del reporte del laboratorio se procesaron los resultados de los parámetros de eficiencia del aria, específicamente Pol en bagazo, humedad del bagazo, Brix y Pol de los jugos primario mezclado, pureza del jugo mezclado y residual, fibra en caña y % de agua de imbibición.

Estos resultados están basados en promedios semanales y posibilitaron determinar las pérdidas en el molino mediante el procedimiento Hawaiano. (Hugot, 1986).

Los resultados obtenidos mediante este método se muestran a continuación :

Indicadores	Datos por semanas					
	1	2	3	4	5	6
Pol boz	2,22	2,07	2,12	2,12	2,14	2,2
Humedad boz	49,95	50,22	50,09	50,09	50,11	49,98
Bx jugo primario	18,25	19,62	20,3	20,49	21,38	21,23
Bx jugo mezclado	14,67	14,82	14,94	14,7	14,66	14,66
Pol jugo primario	15,82	16,59	16,97	17,26	18,06	17,95
Pol jugo mezclado	12,57	16,43	16,81	12,21	12,27	12,27
Pza jugo primario	86,70	84,58	83,58	84,25	84,49	84,57
Pza jugo mezclado	85,69	83,77	882,80	83,10	83,71	83,71
Pza jugo residual	70,68	69,00	69,23	69,34	69,38	69,03
Fibra en caña	16,54	16,89	17	17,39	18,09	17,89
Agua de imbibición	22,62	24,7	25,88	25,66	22,62	30

Tabla 2.13: Datos del laboratorio

Para el cálculo del control de los molinos se tuvieron en cuenta los elementos de control, aplicándose las siguientes expresiones:

$$\text{Coeficiente } k = 1 - 0.002f \quad (12)$$

Donde:

f- Fibra de la caña.

Bagazo

$$MSb = \frac{\text{Polbzo} * 100}{\text{PzaJR}}$$

PzaJR

Donde:

Msb- Materia en solución % bagazo.

Pza JR- Pureza del jugo residual.

$$\text{Fibra \% bagazo} = 100 - (\text{agua en bagazo} + MSb) \quad (14)$$

$$PB\%C = \frac{Fc * 100}{\text{Fibra \%bagazo}}$$

Donde:

PB%C- Peso del bagazo % en caña.

Fc- Fibra de la caña.

$$AB\%C = \frac{PB\%C * Polbzo}{100}$$

Donde:

AB%C- Azúcar en el bagazo % caña.

Jugo absoluto.

$$BxJA = BxJP * K$$

Donde:

Bx JA – Brix del jugo absoluto.

Bx JP – Brix del jugo primario.

$$JE\%JC = 100 \frac{* PB \%C * MSb}{(100 - Fc) BxJA} \tag{18}$$

Donde:

JE % JC – Jugo extraído % del jugo en la caña.

$$Paja = \frac{(JE\%JC * PzaJM) + (100 - JE\%JC) PzaJR}{100}$$

Donde:

Pza JA – Pureza del jugo absoluto.

Pza JM – Pureza del jugo mezclado.

$$A\% JA = \frac{BxJA * PzaJA}{100}$$

Donde:

A%JA – Azúcar % jugo Absoluto.

Caña.

$$A\%C = \frac{(100- Fc) A \% JA}{100}$$

Donde:

A%C – Azúcar % caña.

Trabajos de molinos

$$E\%C = A\%C - AB\%C$$

Donde:

E%C – Extracción % cañas.

$$E\%AC = \frac{E\%C * 100}{A\%C}$$

Donde:

E%AC – Extracción % de azúcar en la caña.

$$JA E \%C = \frac{(100 - Fc) E\%AC}{100}$$

Donde:

JA E %C – Jugo absoluto extraído % caña.

$$JM\%C = \frac{JAE\%C * BxJA}{100 * BxJM}$$

Donde:

JM%C – Jugo mezclado % caña.

$$IM\%C = JM\%C + PB\%C - 100$$

Donde:

IM%C – Imbibición % caña.

$$IMJM = IM\%C - JAE\%C$$

Donde:

IM JM – Agua de imbibición que entra en el jugo mezclado.

$$IMB = IM\%C - IMJM$$

Donde:

IM B – Agua de imbibición que en el bagazo.

$$Jno DP\%F = \frac{MSb * 10000}{BxJP * F\%B}$$

Donde:

JnoDP%F – Jugo no diluido perdido % en fibra.

F % B – Fibra % en bagazo.

$$R.E = \frac{(100 - E\%AC) * 100}{Fc}$$

Donde:

R. E – Relación de extracción.

$$PM = \frac{\text{Pol bagazo}}{F\%B} * 100$$

F%B

Donde:

PM – Pérdidas en los molinos.

$$R.J = \frac{\text{Pol jugo primario}}{A\%C} * 100$$

Pol jugo primario

Donde:

R.J – Relación de java.

(Ver anexo 8). Datos para el cálculo de los elementos recontrol del molino.

Los resultados de los elementos de control del molino se muestran en la tabla 12. Las pérdidas en el molino representan el azúcar dejado de producir en la planta moledora, teniendo su incidencia en el rendimiento industrial.

Indicadores	Min.	Máx.	1	2	3	4	5	6
Coficiente	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
Materia en solución % bagazo	2,97	2,57	3,14	3,00	3,06	3,06	3,08	3,19
% fibra en bagazo	49,03	47,43	46,91	46,78	46,85	46,85	46,81	46,83
Peso bagazo % caña	31,6	36,9	35,3	36,1	36,3	37,1	38,6	38,2
Azúcar bagazo % caña	0,61	0,71	0,78	0,75	0,77	0,79	0,83	0,84
Brix jugo extraído	17,44	19,30	17,65	18,96	19,61	19,78	20,61	20,47
Jugo extraído % caña	93,63	94,04	92,48	93,13	93,17	93,05	92,94	92,76
Pureza absoluto	82,79	86,28	84,56	82,72	81,87	82,11	82,69	82,63
Azúcar % jugo absoluto	14,44	16,65	14,92	15,68	16,05	16,24	17,04	16,92
Azúcar % en caña	12,20	13,74	12,45	13,03	13,33	13,41	13,96	13,89
Extracción % en caña	11,59	13,03	11,67	12,29	12,56	12,63	13,13	13,05
Extracción % Azúcar en Caña	95,00	94,82	93,71	94,27	94,23	94,13	94,07	93,95
Jugo Absoluto extraído % en caña	80,27	78,22	78,21	78,34	78,21	77,76	77,06	77,14
Jugo Mezclado % en caña	100,01	100,65	94,08	100,22	102,65	104,62	108,31	107,72
Ambición % Caña	31,62	37,55	29,34	36,32	38,94	41,74	46,96	45,92
Agua Ambición entrando jugo Mez.	19,74	22,42	15,87	21,87	24,45	26,86	31,26	30,57
Agua Imbibición entrando Bagazo	11,89	15,12	13,47	14,45	14,50	14,88	15,71	15,34
Jugo no Diluido Perdido	33,64	27,13	36,69	32,69	32,20	31,85	30,82	32,05

% Fibra								
Relación de Extracción	32,26	29,62	38,00	33,95	33,96	33,73	32,76	33,82
Perdida en los Molinos	3,94	4,07	4,73	4,42	4,53	4,52	4,57	4,70
Relación de Java	79,75	78,06	78,72	78,56	78,52	77,72	77,28	77,38

Tabla 2.14: Resultados de los elementos de control del molino

Las pérdidas en los molinos, sean planificadas o no, afectan considerablemente al rendimiento industria, por lo que se determinan estas afectaciones y la cantidad de azúcar que se dejan de producir por este concepto. El producto para este análisis es el bagazo, en el cual la sacarosa presente no es recuperada.

Para determinar la afectación al rendimiento por concepto de bagazo se empleó la siguiente expresión:

$$\text{Afectación Rtto} = \frac{(\text{Bzo \% polcañaN} - \text{Bzo \% polcaña})}{96}$$

96

Donde:

N- norma.

R- real.

Los valores de pol en caña se recopilaron de las hojas de seguimiento de datos en laboratorio, basados en promedios semanales.

A partir de las afectaciones se determinan las toneladas de azúcar que se dejan de producir en el proceso de extracción. Para esto se empelo la expresión:

$$\text{Tn azúcar} = \text{Afectación Rtto} * \text{Caña_para_azúcar}$$

Teniendo en cuenta los resultados del período en estudio, a continuación se muestra veracidad de estos.

Indicador	1	2	3	4	5
Pérdidas en molinos	4,73	4,42	4,53	4,52	4,57
Afectación al Rtto.	0,096	0,043	0,056	0,061	0,069
t de azúcar	20,426	6,862	12,961	13,48	14,741

Tabla 2.15: Toneladas de azúcar perdidas en el período.

2.3.2. Análisis de los resultados de los indicadores (variables técnicas)

Para este análisis se tienen en cuenta las variables fundamentales que expresan las pérdidas en el tándem.

Índice de preparación

Los resultados del índice de preparación (tabla 2.3) muestran que hubo un descenso pero no se valora el proceso como deficiente, ya que el Brix de lavado resultó mantenerse por encima de 2.50, que es el valor mínimo de evaluación.

El resultado de esta variable indica que las cuchillas realizaron un trabajo eficiente, mejorando el trabajo de extracción en los molinos.

Mediante la observación se detectó deficiencia en la alimentación de caña, por parte del hombre, por lo influye en gran medida en los resultados. Sumando a esto está el grado de materias extrañas que entra en el proceso y absorben la sacarosa que se disuelve en el lavado de la muestra.

%Caña Preparada

El % de caña preparada (tabla 2.4) es un valor que corresponde con el Índice de Preparación óptimo, valorándose como bueno el proceso.

De manera general la caña que fue preparada se realizó con gran intensidad, posibilitando mayor homogeneización de la caña y disminuyendo las posibilidades de que trozos de gran tamaño pasen hasta el bagazo final. Esto se puede observar en la textura del bagazo.

Realizando un análisis según estudio realizado anteriormente (tabla 2.4, anexo 1), por el método de extracción absoluta de la maza cañera, los resultados obtenidos son favorables, representando un aumento de 8% con respecto a la anterior zafra disminuyen la pérdida en azúcar.

Valorando los resultados de la tabla 2.4 del anexo 1 que relaciona la extracción de jugo absoluto se representa la siguiente gráfica

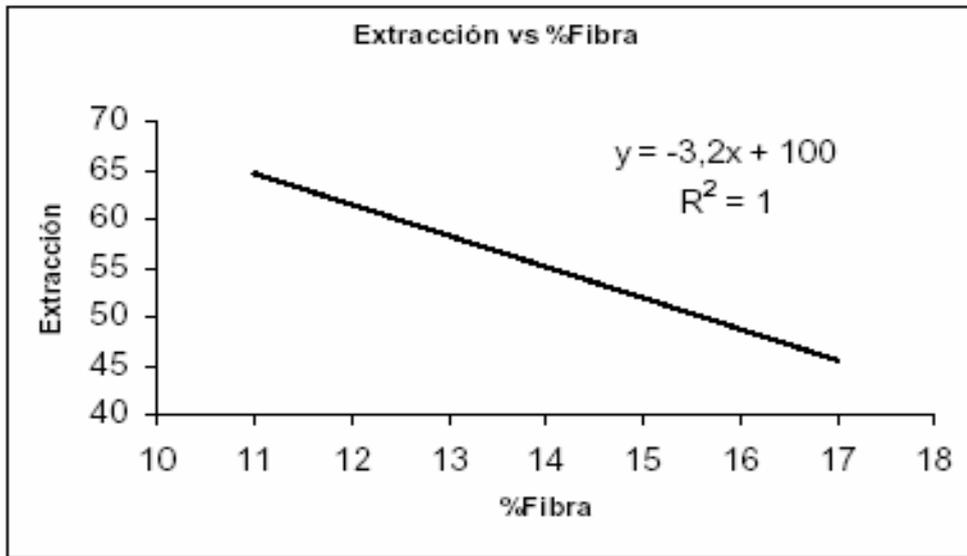


Gráfico 3. Datos de extracción vs fibra de la tabla 2

Fibra caña	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18	18,5	19	19,5	19,9	20
Ext. Jugo abs.% caña	52	50,4	48,8	47,2	45,6	44	42,4	40,8	39,2	37,6	36,32	36

Tabla 2.16: Resultados de la extrapolación de los datos de la tabla 2

Para corroborar la veracidad de la ecuación determinada en el gráfico se procedió a comprobar los resultados mediante una interpolación y extrapolación.

Interpolación para $F_c = 16.5$

16 48.8

16.5 X

17 45.60

$$\frac{17-16}{17-16.5} = \frac{45.6-48.8}{45.6-x}$$

$$1 = \frac{-3.2}{45.6-x}$$

$$0.5 = -3.2$$

$$45.6 - x = 0.5 * (-3.2)$$

$$45.6 - x = 0.5 * (-3.2)$$

$$X = 45.6 + 1.6 = 47.2$$

Extrapolación para $F_c = 17.5$

$$\begin{array}{rcl}
 16.5 & 47.2 & \frac{17.5 - 16.5}{17 - 16.5} = \frac{X - 47.2}{X - 45.6} \\
 17 & 45.6 & \\
 17.5 & X & \frac{1}{0.5} = \frac{X - 47.2}{X - 45.6} \\
 & & X - 45.6 = 0.5 * (X - 47.2) \\
 & & X(1 - 0.5) = 45.6 - 23.6 \\
 & & X = \frac{22}{0.5} = 44
 \end{array}$$

Si se tiene en cuenta esta tabla el resultado es el siguiente:

Períodos	1	2	3	4
Fibra % caña	17	16.6	17.1	16.4
Ext. Jugo abs. % caña	49	50	47	54
Ext. Jugo abs. % caña según tabla 14	45.6	46.88	45.28	47.52
Diferencia	+3.4	+3.12	+1.72	+6.48

Tabla 2.17: Resultados del % de jugo extraído por el molino 1

Respecto a la última unidad de molida, la extracción varía de acuerdo al método empleado.

Por el método de la extracción absoluta se obtiene 1 punto negativo con respecto a la norma, lo que significa que el molino trabaja regularmente bajo sus condiciones de operación. Si la extracción primaria logra la máxima eficiencia, lógicamente se obtendría mayores valores.

Por el método de extracción relativa el molino realizó un excelente trabajo, lográndose la máxima extracción. Esto significa disminución de las pérdidas de sacarosa en el tándem y cumplimiento de los índices de lavado y comprensión del molino.

Para mostrar la veracidad de los resultados, se exponen a continuación:

Indicador	Molino 1	Molino 5
Extracción absoluta	47	49
Extracción relativa	-	84
Diferencia	-	35
Índice de lavado	-	1.54
Humedad del bagazo	56.5	49.70

Tabla 2.17: Resultados de la extracción de los molino 1 y 5 en el período

Granulometría del bagazo

El parámetro utilizado para medir la granulometría del bagazo fue la relación fibra dura/meollo, cuyo resultado es 1.00. Esto indica el comportamiento del Índice de preparación, es lógico que a mayor preparación mayor posibilidad de trituración de la caña y mayor formación de meollo, aunque se mantenga la adición de agua de imbibición normada.

Este parámetro tiene su mayor incidencia en la combustión del bagazo, ya que las partículas se mantienen en suspensión dentro del horno y son expulsadas a la atmósfera en el mayor de los casos, pero a la vez tienden a dificultar el funcionamiento del molino por resbalamiento del bagazo y a aumentar las pérdidas por in combustión en los hornos.

Reporte del laboratorio

Según los valores establecidos se estima una pérdida de sacarosa en el bagazo 74.945 t de azúcar y se reportaron 84.803 t, es decir, que aproximadamente 10 t se dejaron de producir, representando un 13% adicional de las pérdidas del tándem, lo cual es una desviación permitida dentro de los parámetros de técnicos en el proceso.

2.3.3. Comparación de resultados

Para la comparación se toman los promedios de las variables independientes del período en ambas zafras.

Indicadores	Zafra 2010	Zafra 2011	Patrón de comparación
% de caña preparada	80	89	90
Índice de preparación	62	70	70
Ext. Relativa Mol. 1	0	0	0
Ext. Relativa Mol. 5	70	84	85
% jugo ext. Mol. 1	0	47	0
% jugo ext. Mol. 5	-	49	-
Granulometría gabazo	0,81	1	1
% Pol bagazo	2,87	2,19	2.1

Tabla 2.18: Resultados de las variables en las zafras 2010 y 2011

Por haberse mejorado la preparación de la caña y el índice de preparación, el primer molino fue capaz de subir su extracción e Brix de 0 a 47 % y el último molino aumento la extracción de 70 a 84 %. **Ver anexo 4**

En cuanto la textura del bagazo se logra igualar los valores de fibra y meollo, siendo más eficiente en el por ciento de azúcar quemada.

La Pol en bagazo disminuye considerablemente, aspecto muy positivo esto indica la disminución de la pérdida de sacarosa en bagazo.

Valoración económica-social e impacto ambiental

Al analizar el comportamiento de la eficiencia del proceso de obtención de la sacarosa de azúcar y desempeño energético del área en la Zafra 2011 con respecto a la anterior, se plantea lo siguiente:

- Realizando una comparación entre ambos períodos se logra un incremento en la producción de azúcar de 392.618 t, valorado en \$ 514 879.24.
- Teniendo en cuenta el precio promedio del KW de ¢ 0.09, se genera ingresos a la economía nacional por concepto de ahorro de 174 599.58 CUC.
- Con respecto a la zafra anterior se logra ahorrar 342 382.32 kW, equivalente a 85.59 t de petróleo, valorado en 69 877.38 CUC.

Impacto social

La preparación de la caña tiene incidencia social a partir del logro de mayor extracción y producción de azúcar. El beneficio económico que se refleja en el trabajo permite un mayor desarrollo económico, incrementando las ganancias de la unidad, teniendo un mayor aporte al presupuesto del estado. De esto se deriva la asignación a las empresas presupuestadas, como la salud, educación y otras. También se logra incrementar la producción de alimentos en las empresas consumidoras del producto (azúcar), el ingreso salarial de los trabajadores y, por ende, disminución de las necesidades económicas, mejoras en las condiciones de vida y el poder adquisitivo de los recursos.

Impacto ambiental

La UEB Central Azucarero “Loynaz Hechavarria” constituye el mayor agente contaminante del municipio, y dentro de ella el área de molinos tiene su incidencia, debido a la formación de partículas finas (meollo) por la elevada preparación de la caña y las actividades de mantenimiento y limpieza que se realizan en esta. Estas partículas se dispersan en la atmósfera, provocando contaminación

ambiental por partículas en suspensión dentro y fuera del área.

Los desechos originados a causa de las actividades del área no resultaron ser voluminosos, los más importantes fueron:

1. Líquidos

- Petróleo de lavado de piezas (reutiliza para conservación).
- Agua producto de limpieza, azúcares, sólidos disueltos (zanja).

2. Sólidos

- Estopas contaminadas con aceites, grasas y petróleo (Vertedero).
- Limallas de acero (Vertedero).
- Desechos sólidos producto limpieza (caña, bagazo y otros).
- Producto del proceso (meollo).

Se señala que la incidencia del área recae en riesgo de contaminación local y regional, debido a la contaminación del ambiente por las partículas sólidas en suspensión, exponiendo al trabajador el riesgo de contraer enfermedades profesionales, entre la que se encuentra la Bagazosi. También debe señalarse el elevado consumo de agua, provocado por la baja conciencia del hombre del cuidado y uso racional de este recurso, lo que se puede traducir en falta de cultura ambiental.

CONCLUSIONES

De la evaluación técnica del proceso de preparación de la caña y extracción de sacarosa de la caña de azúcar de la planta moledora en la UEB “Loynaz Hechavarría” se arriban a las conclusiones siguientes:

1. En la zafra 2010 la planta moledora dejó de producir 110.99 ton por ineficiencia en su proceso, lo que representó el 27.22 % del total de toneladas dejadas de producir respecto al incumplimiento del plan de producción física de la UEB “Loynaz Hechavarría”.
2. Se confeccionó un plan de medidas para mejorar las deficiencias técnicas del período anterior, las cuales contribuyeron al incremento de la eficiencia en la preparación de la caña a partir de la implementación en la zafra 2011, lográndose:
 - Aumentar el Índice de preparación de 62 a 70 %.
 - Para 17 % de fibra en caña, la extracción del primer molino resultó de 47 %, lo cual es un resultado muy positivo.
 - Ahorrando del consumo de energía en \$ 59 396 y aumento de los ingresos en \$ 514 879.24 por reducción de pérdida de sacarosa en el bagazo, para un total de \$ 574 275.00

Recomendaciones

Por todo lo expuesto y analizado en esta investigación, se recomienda lo siguiente:

1. Aplicar en cada mantenimiento el nivel de soldadura que demande cada machete de las cuchillas, en aras de mejorar el Índice de preparación hasta los valores óptimos.
2. Con el valor promedio de la fibra de la caña de los últimos tres años, establecer la norma de extracción de jugo de la primera unidad de molida.
3. Para eliminar la pérdida de azúcar por concepto de Pol en bagazo, mantener el estricto control de las operaciones del tándem, capacitar la fuerza de trabajo, y realizar los cálculos de ajuste de los molinos con el valor promedio de la fibra de la caña de los últimos tres años.
4. Crear una cultura ambiental en los trabajadores de manera que permita el uso racional de los recursos naturales (agua).
5. Para mantener los límites establecidos del consumo energético, realizar el mantenimiento y reparación del área con la calidad requerida y llevar un racional régimen de presiones hidráulicas y una lubricación adecuada del equipamiento.
6. Mejorar la limpieza de la caña respecto a materias extraña.
7. Garantizar la continuidad del proceso de alimentación de caña en el basculador para eliminar los tiempos perdidos.

BIBLIOGRAFÍA

8. Arronte, H y Co. 2009. Planta Moledora. Operación en Zafra, pág. 5.
9. Colectivo de Autores. Manual para la producción de azúcar crudo de caña. Habana, 1992.
10. Crosby, Philip. Quality is free. The art of marking quality certain. New American library, USA 1980.
11. CUBAZUCAR, Revista, 1984. Mes Abril.
12. Documentos de la UEB Fábrica de Azúcar Loynaz Hechavarría': Balance de Zafra 2010. Biblioteca Empresarial Dupuy, Y. & Rolland, G. Manual de Control de Gestión. Ediciones Díaz de Santos, S.A., España. 1992.
13. Colectivo de autores. 1996. Manual de la Planta Moledora. Dirección de Maquinaria Industrial, pág. 7-81.
14. Dirección de Tecnología del MINAZ. 1995. Manual de Operaciones para la Producción de Azúcar Crudo, pág. 286.
15. Folleto 4^{to} Encuentro Nacional de Jefes de Maquinaria (ENJM). Octubre. 1995.
16. Folleto Tecnología Industrial Azucarera (TIA). Junio 1986. Centro Nacional de Superación Bancaria, pág. 7.
17. Herrera, E y Co. 1995. Criterios Actuales de la Industria Azucarera Cubana, pág.7.
18. Hugot, E. 1986. Manual para Ingenieros Azucarero. Primera edición, pág. 243.
19. Jenkins, G H. 1988. Introducción a la Tecnología del Azúcar de Caña. Edición Revolucionaria, pág. 64 -127.
20. Pérez, Estrada, Argimiro de la Concepción. Trabajo de Diploma Impacto Ambiental del Mantenimiento en las Fábricas de Azúcar Crudo Cubanas, 2010.
21. Pérez, F y Co. 2006. Métodos Analíticos para Azúcar Crudo. ICINA Z, MINAZ, pág. 37-82.
22. Revista Cuba Azúcar. Volumen XXVI, No 2/ Abril, 1992, ISSN: 0590 -2916.
23. Revista Internacional Sugar Journal. Volumen C. ISSUE. No.1189.

- Januari 1998, pág. 29.
24. Sarria, B y Co. 1983. Maquinaria Azucarera. Primera Parte, pág. 7.
25. Sarria, B y Co. 1983. Maquinaria Azucarera. Segunda Parte.
- Spencer, M. 1976. Manual Analítico para el Control Unificado de la producción azucarera, 1996.
26. Manual de fabricación de azúcar, pág. 43-92.
27. Santibáñez, María C. 1983. Tecnología Azucarera. Centro Nacional de Capacitación Azucarera. Tomo I, pág. 133-197.
28. Taboada, Carlos. Organización y planificación de la producción. La Habana: Ed. Pueblo y Educación, 1990. _ 228p.
29. Documentos de la UEB Fábrica de Azúcar Loynaz Hechavarría': Balance de Zafra 2010. Biblioteca Empresarial.

Anexo 1. Influencia de la fibra en caña en la extracción.

Indicador	% de fibra en caña							
	10	11	12	13	14	15	16	17
Extracción	95	94.4	93.8	93.2	92.6	92	91.4	90.8

Tabla 2. Efecto de la fibra en la extracción primaria.

Fibra % en caña	11	12	13	14	15	16	17
Ext. Jugo Abs. %	64.80	61.60	58.40	55.20	52.00	48.80	45.60
Caña							
Pol % jugo absoluto	14	14	14	14	14	14	14
Pol % en caña	12.46	12.18	12.18	12.04	11.90	11.76	11.62
Bagazo % en caña	23.92	26.09	28.26	30.44	32.61	34.78	36.96
Pol en bagazo % en caña	0.117	0.783	0.848	0.913	0.978	1.043	11.09

ANEXO 2

Relación entre la masa de bagazo (m_B) y el por ciento de fibra (F) correspondiente a 500 g de caña sobre la que se ha ejercido una presión de 100 kg/cm² durante 1 min. (Según Hoarau M. ISJ, nov 1969).

m_B (g)	F (%)	n	m_B (g)	F (%)	n	m_B (g)	F (%)	n
93.90	9.0	0.8767	133.70	13.0	0.8214	173.50	17.0	0.7646
94.90	9.1	0.8753	134.70	13.1	0.8200	174.50	17.1	0.7631
95.89	9.2	0.8740	135.69	13.2	0.8186	175.49	17.2	0.7617
96.89	9.3	0.8726	136.69	13.3	0.8172	176.49	17.3	0.7602
97.88	9.4	0.8712	137.68	13.4	0.8158	177.48	17.4	0.7588
98.88	9.5	0.8698	138.68	13.5	0.8144	178.48	17.5	0.7574
99.87	9.6	0.8685	139.67	13.6	0.8130	179.47	17.6	0.7559
100.87	9.7	0.8671	140.67	13.7	0.8116	180.47	17.7	0.7545
101.86	9.8	0.8657	141.66	13.8	0.8102	181.46	17.8	0.7530
102.86	9.9	0.8644	142.66	13.9	0.8088	182.46	17.9	0.7516
103.85	10.0	0.8630	143.65	14.0	0.8074	183.45	18.0	0.7502
104.85	10.1	0.8616	144.65	14.1	0.8059	184.45	18.1	0.7488
105.84	10.2	0.8603	145.64	14.2	0.8045	185.44	18.2	0.7474
106.84	10.3	0.8589	146.64	14.3	0.8031	186.44	18.3	0.7460
107.83	10.4	0.8575	147.63	14.4	0.8017	187.43	18.4	0.7446
108.83	10.5	0.8561	148.63	14.5	0.8003	188.43	18.5	0.7432
109.82	10.6	0.8547	149.62	14.6	0.7989	189.42	18.6	0.7418
110.82	10.7	0.8534	150.62	14.7	0.7975	190.42	18.7	0.7404
111.81	10.8	0.8520	151.61	14.8	0.7960	191.41	18.8	0.7390
112.81	10.9	0.8506	152.61	14.9	0.7946	192.41	18.9	0.7376
113.80	11.0	0.8492	153.60	15.0	0.7932	193.40	19.0	
114.80	11.1	0.8478	154.60	15.1	0.7918	194.40	19.1	0.7362
115.79	11.2	0.8464	155.59	15.2	0.7904	195.40	19.2	0.7348
116.79	11.3	0.8450	156.59	15.3	0.7889	196.39	19.3	0.7334
117.78	11.4	0.8436	157.58	15.4	0.7875	197.39	19.4	0.7320
118.78	11.5	0.8423	158.58	15.5	0.7861	198.38	19.5	0.7306
119.77	11.6	0.8409	159.57	15.6	0.7847	199.38	19.6	0.7292
120.77	11.7	0.8395	160.57	15.7	0.7833	200.37	19.7	0.7278
121.76	11.8	0.8381	161.56	15.8	0.7819	201.37	19.8	0.7264
122.76	11.9	0.8368	162.56	15.9	0.7804	202.36	19.9	0.7250
123.75								0.7236
124.75	12.0	0.8354	163.55	16.0	0.7789			
125.74	12.1	0.8340	164.55	16.1	0.7775			
126.74	12.2	0.8326	165.54	16.2	0.7761			
127.73	12.3	0.8312	166.54	16.3	0.7746			
128.73	12.4	0.8298	167.53	16.4	0.7732			
129.72	12.5	0.8284	168.53	16.5	0.7718			
130.72	12.6	0.8270	169.52	16.6	0.7704			
131.71	12.7	0.8256	170.52	16.7	0.7689			
132.71	12.8	0.8242	171.51	16.8	0.7675			
	12.9	0.8228	172.51	16.9	0.7660			

Valores calculados mediante la expresión: $F = 0.1005 m_B - 0.4372$

Anexo 3

Corrección para lecturas refractométricas de soluciones de sacarosa a 589 nm en función de la temperatura (según ICUMSA Methods Book, 1994).

Temperatura (0°C)	Concentración de sacarosa (Fracción de masa)															
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	
15	-0.29	-0.30	-0.32	-0.33	-0.34	-0.35	-0.36	-0.37	-0.37	-0.38	-0.38	-0.38	-0.38	-0.38	-0.38	
16	-0.24	-0.25	-0.26	-0.27	-0.28	-0.28	-0.29	-0.30	-0.30	-0.30	-0.31	-0.31	-0.31	-0.31	-0.31	
17	-0.18	-0.19	-0.20	-0.20	-0.21	-0.21	-0.22	-0.22	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	
18	-0.12	-0.13	-0.13	-0.14	-0.14	-0.14	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	
19	-0.06	-0.06	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
21	+0.06	+0.07	+0.07	+0.07	+0.07	+0.07	+0.08	+0.08	+0.08	+0.08	+0.08	+0.08	+0.08	+0.08	+0.08	
22	+0.13	+0.14	+0.14	+0.14	+0.15	+0.15	+0.15	+0.15	+0.16	+0.16	+0.16	+0.16	+0.16	+0.16	+0.16	
23	+0.20	+0.21	+0.21	+0.22	+0.22	+0.23	+0.23	+0.23	+0.23	+0.24	+0.24	+0.24	+0.24	+0.24	+0.24	
24	+0.27	+0.28	+0.29	+0.29	+0.30	+0.30	+0.31	+0.31	+0.31	+0.32	+0.32	+0.32	+0.32	+0.32	+0.32	
25	+0.34	+0.35	+0.36	+0.37	+0.38	+0.38	+0.39	+0.39	+0.40	+0.40	+0.40	+0.40	+0.40	+0.40	+0.40	
26	+0.42	+0.43	+0.44	+0.45	+0.46	+0.46	+0.47	+0.47	+0.48	+0.48	+0.48	+0.48	+0.48	+0.48	+0.48	
27	+0.50	+0.51	+0.52	+0.53	+0.54	+0.55	+0.55	+0.56	+0.56	+0.56	+0.56	+0.56	+0.56	+0.56	+0.56	
28	+0.58	+0.59	+0.60	+0.61	+0.62	+0.63	+0.64	+0.64	+0.64	+0.65	+0.65	+0.65	+0.65	+0.65	+0.65	
29	+0.66	+0.67	+0.68	+0.70	+0.71	+0.71	+0.72	+0.73	+0.73	+0.73	+0.73	+0.73	+0.73	+0.73	+0.73	
30	+0.74	+0.76	+0.77	+0.78	+0.79	+0.80	+0.81	+0.81	+0.82	+0.82	+0.82	+0.82	+0.82	+0.82	+0.82	
31	+0.83	+0.84	+0.85	+0.87	+0.88	+0.89	+0.89	+0.90	+0.90	+0.90	+0.90	+0.89	+0.89	+0.88	+0.87	
32	+0.92	+0.93	+0.94	+0.96	+0.97	+0.98	+0.98	+0.99	+0.99	+0.99	+0.99	+0.98	+0.97	+0.96	+0.95	
33	+1.01	+1.02	+1.03	+1.05	+1.06	+1.07	+1.07	+1.08	+1.08	+1.08	+1.07	+1.07	+1.06	+1.04	+1.03	
34	+1.19	+1.21	+1.22	+1.23	+1.24	+1.25	+1.25	+1.26	+1.26	+1.25	+1.25	+1.24	+1.23	+1.21	+1.19	
35	+1.10	+1.11	+1.13	+1.14	+1.15	+1.16	+1.16	+1.17	+1.17	+1.16	+1.16	+1.15	+1.14	+1.13	+1.11	
36	+1.29	+1.30	+1.31	+1.33	+1.34	+1.34	+1.35	+1.35	+1.35	+1.34	+1.34	+1.33	+1.31	+1.29	+1.28	
37	+1.39	+1.40	+1.41	+1.42	+1.43	+1.44	+1.44	+1.44	+1.44	+1.43	+1.43	+1.41	+1.40	+1.38	+1.36	
38	+1.49	+1.50	+1.51	+1.52	+1.53	+1.53	+1.54	+1.54	+1.53	+1.53	+1.52	+1.50	+1.48	+1.46	+1.44	
39	+1.59	+1.60	+1.61	+1.62	+1.63	+1.63	+1.63	+1.63	+1.63	+1.62	+1.61	+1.59	+1.57	+1.55	+1.52	
40	+1.69	+1.70	+1.71	+1.72	+1.73	+1.73	+1.73	+1.73	+1.72	+1.71	+1.70	+1.68	+1.66	+1.63	+1.61	

Anexo 4

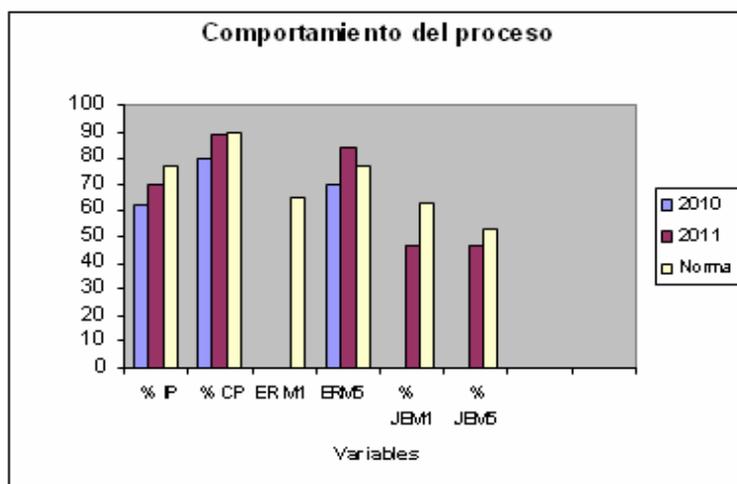


Gráfico 1. Comportamiento de las variables del proceso.

Leyenda

% IP- Índice de preparación de caña.

% CP- % de Caña preparada.

ER- Extracción relativa.

% JE- % de Jugo extraído.

M-Molino.

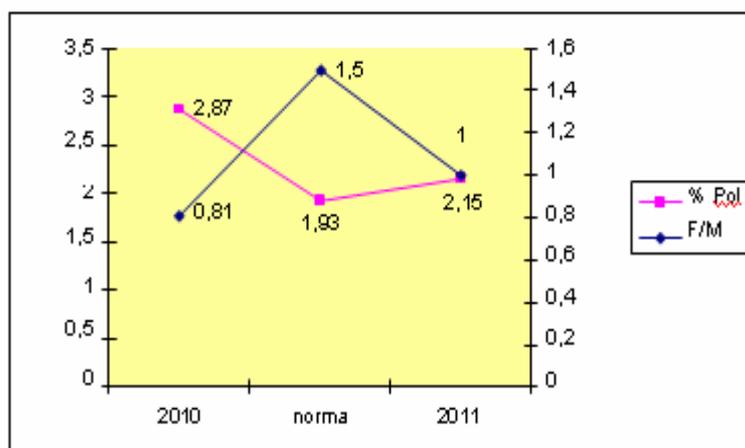


Gráfico 2. Comportamiento de las variables del proceso.

Anexo 8. Datos para cálculo de los elementos de control del molino

Datos a introducir				1	2	3	4	5	6	U/M
	Nomenclatura	Mínimo	máximo	valor	valor	valor	valor	valor	valor	
Jugo primario	Bx	18	20	18,25	19,62	20,30	20,49	21,38	21,23	Bx
	Pol	15,3	17,6	15,82	16,59	16,97	17,26	18,06	17,95	%
Jugo mesclado	Bx	14	15	14,67	14,82	14,94	14,70	14,66	14,66	Bx
	Pol	11,76	13,05	12,57	12,41	12,37	12,21	12,27	12,27	%
	Pureza	84	87,00	85,69	83,74	82,80	83,06	83,70	83,70	%
Jugo residual	Pureza	65	75,00	70,68	69,0	69,2	69,3	69,4	69,0	%
Fibra de caña	F	15,5	17,5	16,54	16,89	17,00	17,39	18,09	17,89	%
Bagazo	Pol	1,93	1,93	2,22	2,07	2,12	2,12	2,14	2,20	%
	Agua	48	50	49,95	50,22	50,09	50,09	50,11	49,98	%
Coefficiente k		0,969	0,965	0,96692	0,96622	0,966	0,9652	0,96382	0,96422	