

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua  
UNAN- LEON  
Facultad de Ciencias Químicas



Evaluación de las pérdidas totales de Sacarosa en las  
etapas de Filtración y Cristalización en el Ingenio  
Monte Rosa durante la Zafra 2003-2004

Trabajo de título presentado por:

*Br. Hansel Lenin Ruiz García*

*Br. Norlan Francisco Palacios Aguilar*

Para optar al título de:  
**Ingeniero de Alimentos**

Tutor: [Msc. Juana Mercedes Machado](#)  
Noviembre, 2004

## **Resumen**

En el presente estudio se realizó la evaluación de las pérdidas de sacarosa en cachaza y miel final, en las áreas de filtrado y cristalización del ingenio Monte Rosa. Entre los aspectos evaluados están, los parámetros de operación de los filtros rotatorios y de los equipos que producen las diferentes masas cocidas, los que se realizaron a través de un monitoreo sistemático de los mismo, así como por el análisis de los resultados en el departamento de control de calidad que permitieron conocer los niveles de agotamiento para cada etapa evaluada. Estos niveles de agotamiento fueron comparados con las especificaciones requeridas dados por el manual de laboratorio para la industria azucarera (TECNICAÑA, Buenaventura 1989)

Los resultados obtenidos de los análisis del laboratorio de control de calidad, fueron la base para realizar un balance de materiales en los equipos de las diferentes áreas analizadas. El resultado del balance nos permitió cuantificar las pérdidas de sacarosa que ocurren en dichas áreas.

Una vez cuantificadas las pérdidas de sacarosa en el área de filtrado y cristalización, por medio de los balances de materiales, se concluyó que para el área de filtrado los principales problemas operacionales se centraron en la excesiva temperatura de agua de lavado, los desperfectos mecánicos de la bomba de vacío y las roturas de las mallas.

Para el área de cristalización, el problema principal fue la escasez de agua de inyección a los condensadores de los diferentes tachos, producto de la poca capacidad de bombeo.

Para disminuir las pérdidas de sacarosa tanto en el área de filtrado como de cristalaron tendrá que hacerse énfasis en promover mejoras que conlleven a una mejor operación de dichos equipos.

## Dedicatoria

A mi Madre:

Al: *M<sup>a</sup> Eugenia García Reyes*  
*Dr. Hernán López Toruño*

Que con todo el amor, el cariño y la paciencia e invaluable sacrificio me supieron llevar hasta la culminación de mi carrera

*Hansel Ruiz García*

## Dedicatoria

A mis Padres:

*Maria Teresa Aguilar* que me apoyo con todo el amor de una madre y a ella le dedico este logro, a mi padre *Manuel Palacios Meza* por ser el soporte económico y moral, a mis hermanos por creer en mí en todo momento, gracias a todos ellos. Que con todo el amor y el sacrificio, me supieron llevar al término de la carrera.

He cumplido con el sueño que siempre me anhelaron

*Norlan F. Palacios Aguilar*

## Agradecimiento

A Dios por darnos la fuerza necesaria para culminar con éxitos este trabajo.

A la Universidad por haber dado los conocimientos científicos-Prácticos y convertirnos en profesionales.

Al Ingenio Monte Rosa por haber hecho posible este trabajo monográfico, brindándonos acceso a las instalaciones, así como también a información vital para terminar este trabajo, especialmente al Ing. Oswaldo Mendoza, Jefe de Recuperación de azúcar,

A nuestra tutora *Msc. Juana Mercedes Machado* por guiar este trabajo monográfico con tanta dedicación y empeño.

y finalmente a todas las personas que de una u otra forma contribuyeron con nosotros especialmente a nuestros familiares y amigos.

## Introducción

Nicaragua cuenta actualmente con cuatro ingenios azucareros, siendo estos, Montelimar, Benjamín Zeledón, San Antonio, y Monte Rosa.

El Ingenio Monte Rosa se encuentra ubicado en el kilómetro 148 <sup>1/2</sup> carretera El Viejo-Potosí, Chinandega fue fundado en 1948 por los hermanos Lacayo Montealegre y empezó con una producción de 2500 quintales. A partir de 1980 fue confiscado por la revolución y paso a ser propiedad del estado. En 1991 fue entregado a sus antiguos dueños y en 1998 fue vendido a la sociedad anónima Monte Rosa con capital guatemalteco.

Durante la zafra 2003-2004 se molió un promedio de 9000 toneladas/día de que caña de azúcar dando una producción de 3, 686, 026.5 quintales de azúcar blanco.

Sin embargo uno de los problemas que enfrenta el Ingenio, al igual que los demás, son las pérdidas de sacarosa durante el proceso de fabricación principalmente, en las etapas de cristalización y filtrado.

En vista de lo anteriormente planteado y a falta de análisis de las causas que ocasionan dichas pérdidas, el presente estudio tiene como finalidad realizar una evaluación que permita determinar las pérdidas de sacarosa en estas etapas soportadas, a través de los balances de materia que se realizaron a los equipos involucrados, así mismo permitirá elaborar un sistema de seguimiento adecuado, en dichas etapas con el objeto de poder contabilizar la sacarosa perdida, la cual no tiene un parámetro específico de pérdidas en esta área.

# **Objetivos**

## **Objetivo general**

Evaluar las pérdidas totales de sacarosa en las etapas de filtrado y cristalización durante el proceso de fabricación de azúcar en el ingenio Monte Rosa durante la zafra 2003-2004.

## **Objetivos Específicos**

- a) Cuantificar y evaluar las pérdidas de sacarosas en el área de filtrado.
- b) Cuantificar y evaluar las pérdidas de sacarosas en el área de cristalización.
- c) Identificar los parámetros técnicos que ocasionan pérdidas de sacarosa.

## Marco teórico

La caña de azúcar, es la materia prima fundamental para la elaboración de azúcar crudo, al igual que el azúcar blanco. Siendo su principal componente la sacarosa.

### **Sacarosa. (C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>)**

La sacarosa es el principal constituyente de la caña de azúcar y se encuentra formada por azúcares simples.

La sacarosa con fórmula química (C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>), está clasificada entre los carbohidratos, y es el resultado de la condensación de la glucosa y fructosa. (Chen 1991).



Según (Coulter 1996) la sacarosa procede de la caña de azúcar o de la remolacha azucarera, pero la sacarosa abunda en la mayor parte de los vegetales, especialmente en frutas. Al unirse las unidades de glucosas y fructosas a través de sus respectivos grupos hemiacetal, este azúcar carece de poder reductor. En condiciones poco ácidas, o bajo la acción de la enzima invertasa, la sacarosa es rápidamente hidrolizada, liberando sus dos monosacáridos constituidos. A este fenómeno se le llama inversión y a la mezcla resultante azúcar invertido, debido al cambio en la rotación óptica realizada por la hidrólisis.

En general, los azúcares son muy solubles en agua y con frecuencias forman jarabes sobresaturados cuando sus disoluciones se concentran por ebullición o evaporación. Los jarabes de los azúcares reductores son especialmente resistentes a la cristalización.

La sacarosa es el oligosacárido más abundante en los tejidos de las plantas y es el carbohidrato de transporte de las plantas superiores, de forma análoga a la glucosa, que es el carbohidrato de transporte de los animales.

Debido a su dulzura y a su elevada solubilidad en soluciones acuosas (aproximadamente 490 gr. por 100 cm<sup>3</sup> a 10 °C) la sacarosa es un ingrediente importante, y a veces el principal de los productos de repostería y de las conservas. La disminución consiguiente de la actividad de agua por la sacarosa y al favorecer la formación de los geles de pectinas en las conservas ha asegurado su uso continuo como conservante. Se puede obtener jarabes de sacarosa con un contenido de humedad bajo de 10 a 12 % añadiendo glucosa para reducir la cristalización de aquella. La sacarosa también se añade como sustrato para los microorganismos en los embutidos fermentados. La sacarosa comercial, esta disponible en forma cristalina así como en forma de polvo microcristalino que tiene un área superficial mucho mayor para absorber colores y aromas y que pueden disolverse luego rápidamente. (Robinson 1991).

La sacarosa se hidroliza fácilmente en medios ácidos diluidos incluso con las cantidades relativamente pequeñas de ácidos presentes en las conservas de cítricos y otras frutas. La facilidad de hidrólisis se debe a la estructura plana del anillo de fructosa, lo que es característico de los oligosacaridos furanoides y del polisacárido inulina. La mezcla de glucosa y fructosa producida por la hidrólisis de la sacarosa se conocen como azúcar invertida.

### **Fructosa (C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>6</sub>)**

Conocida como el azúcar de fruta, se caracteriza por ser más dulce que la sacarosa y la glucosa. Esta molécula se condensa (polemiza) forma cristales ortorrómbicos con una densidad de 1.59 gr/ml con una temperatura de fusión de 105 °C. Es un agente reductor y es soluble en agua. (Chen 1991)

### **Glucosa (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>)**

Considerada como el azúcar de más importancia en las plantas y los animales. Forma cristales anhídridos, con la temperatura de fusión de 146°C y con una densidad de 154 gr/ml. Poco soluble en agua y soluble en etanol. (Chen 1991)

## **Proceso Productivo del Azúcar**

La producción del azúcar comienza en el campo con la adecuación y preparación de la tierra, siembra y el sostenimiento de la plantación.

Cuando la caña esta lista para cortar, se inicia la operación de cosecha, tanto en las labores de campo como en cosechas, la maquinaria es básica. La caña es llevada a la fábrica para su proceso de extracción y cristalización de la sacarosa. Toda la caña, que ingresa al ingenio, es pesada en báscula, es llevada con una boleta de despacho, que contiene entre otros datos, la variedad de la caña y el lugar de donde fue cortada. El peso registrado por la bascula y demás datos se envían al laboratorio para su posterior procesamiento.

A continuación se mencionan las etapas del proceso de producción de azúcar, y sus ilustraciones, las que fueron tomadas en el Ingenio Monte Rosa.

## Preparación de la caña

La preparación de la caña persigue dos propósitos fundamentales:

- Incrementar el volumen de alimentación hacia los molinos.
- Facilitar la extracción en los molinos al romper la estructura de la caña.

La caña es conducida hacia un juego de cuchillas, que cortan la caña en partes pequeñas. Finalmente la caña pasa por una maquina desfibradora. De esa forma la fibra queda totalmente accesible a la operación de molienda (ver ilustración 1.a)



Ilustración 1.a Preparación de la Caña

## Molienda

La caña preparada por las picadoras pasa por un tándem de molinos, constituidos cada uno de ellos por tres o cuatro masas metálicas y mediante presión extrae el jugo de la caña, cada molino esta equipado con una turbina de alta presión. En el recorrido de la caña por el molino se le agrega agua, generalmente caliente a una temperatura de 60° C, para extraer al máximo la cantidad de sacarosa que contiene el material fibroso. Este proceso de extracción es conocido como maceración. El bagazo que sale de la última unidad de molienda se conduce a una bagacera para que seque y luego se va a las calderas como combustibles, produciendo el vapor de alta presión que se emplea en las turbinas de los molinos. (Ver ilustración 1.b)



Ilustración 1.b Unidad de Molienda

## Sulfitación y alcalización

En el jugo existen dos compuestos que son no azúcares tales como: polifenoles y los aminocompuestos que reaccionan formando sustancias colorantes. Para mantener los índices de coloración en valores aceptables se utiliza el proceso de sulfitación, que tiene una función microbiológica y consiste en mezclar el jugo con dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ). Con este proceso se consigue inactivar o al menos minimizar la acción de los polifenoles y aminocompuestos.

Para sulfatar el jugo se utiliza la técnica de sulfatación, cuya función es mezclar el jugo proveniente de los molinos con  $\text{SO}_2$  (ver ilustración 1.c)

Posteriormente el proceso de sulfatación, se agrega lechada de cal al jugo. Este proceso recibe el nombre de alcalización. Se realiza para neutralizar los ácidos que se encuentran en solución y bloquear la inversión de la sacarosa que dificultaría la posterior cristalización. La lechada de cal neutraliza la acidez del jugo y forma sales insolubles de cal en forma de fosfatos de calcio principalmente fosfatos tricálcicos.



Ilustración 3.c Torre de Sulfatación

## Clarificación

En esta etapa el jugo ya sulfatado y alcalizado, se calienta a una temperatura de 105°C para facilitar el proceso de precipitación, que se lleva a cabo en los clarificadores. Estos son tanques o depósitos de gran tamaño por lo que el jugo circula para que el precipitado producido por la reacción del floculante (quemiflop) y la materia orgánica como proteína, algunas grasas y gomas, se asienten en la parte inferior y puedan ser extraídas u el jugo salga por rebosamiento (ver ilustración 1.d).



Ilustración 1.d Clarificador de Jugo

## **Filtración**

Esta etapa del proceso tiene como fin recuperar la mayor cantidad de sacarosa posible que hay en los lodos (cachaza) que vienen de los clarificadores, mediante su paso por filtro de vacío, se extrae el jugo que contiene la cachaza.

El jugo recuperado se denomina jugo filtrado y la cachaza que sale sin jugo se desecha.

En otros países, la cachaza saliente se le da un tratamiento químico para producir abono orgánico (Chen 1991).

Según la clasificación hecha por (Chen 1991) los tipos de filtros que existen son:

### **Tipos de filtros**

- a) Filtro prensa
- b) Filtro mecánico
- c) Filtro rotatorio continuo al vacío.

Para efectos de este estudio se hará mención del Filtro rotatorio continuo al vacío

### **Descripción**

Se compone de un tambor que gira alrededor de un eje horizontal el cual se sumerge, en parte en el líquido a filtrar. (Ver ilustración 1.e)

### **Operación**

Al girar el filtro la sección que comienza a entrar al líquido se pone inmediatamente en comunicación con el bajo vacío. Se produce la aspiración del líquido, que entra por la pequeña perforación. La pequeña capa de cachaza adherida al filtro, forma la torta que pasa inmediatamente al sector de alto vacío. Este efecto es necesario para aumentar la aspiración del jugo, debido a la resistencia ofrecida por el espesor de la torta (Chen 1991).

El lavado de la torta se lleva a cabo entre 55-60°C, la cual es suministrada a través de varios aspersores. El alto vacío aspira lentamente el agua, de tal manera que el agua tenga el tiempo justo en la fracción de vuelta que queda por recorrer, para atravesar la torta y desplazar el jugo (Chen 1991).

Antes de que la torta entre de nuevo a la cachaza un raspador de banda rígida se apoya sobre la tela perforada, rompiendo así el vacío que tiene la torta pegada a la malla. De esta forma, el contacto con el raspador separa la torta del filtro, la cual cae en un recipiente donde es transportada en forma de desecho (lodo). (Chen 1991)



Ilustración 1.e Filtro Rotatorio al Vacío

## Evaporación

El objeto de esta etapa del proceso es reducir, por ebullición el agua que contiene el jugo clarificado, el jugo ya concentrado se denomina meladura.

Este proceso se da en evaporadores de múltiple efecto al vacío, que consisten en un intercambiador de calor que conforma el área de calefacción en el jugo en la parte interna de los tubos recibe el calor proporcionado por vapor de baja presión que fluye externamente. Al comenzar a ebullicir se generan vapores, los cuales sirven para calentar el jugo en el siguiente efecto, logrando así el menor punto de ebullición en cada evaporador. (Ver ilustración 1.f)

La meladura saliente es purificada en un clarificador. La operación es similar a la de clarificar jugo filtrado.



Ilustración 1.f Evaporadores

## Cristalización

En esta etapa se conoce también como cocción de azúcar. La cristalización consiste básicamente en la formación de cristales de azúcar a partir de diferentes mieles.

En la práctica comercial es conveniente, para que los cristales se formen en el licor, que exista una sobresaturación considerable. La sobresaturación del licor disminuye en la proporción en que los cristales se forman y crecen. Para conservarla es necesario entonces mantener la evaporación del agua y el aprovisionamiento del material acondicionado (Hugot 1986).

Según (Batole 1996) se distinguen en la fase sobresaturada tres zonas:

- a) **Zona metastable:** próxima a la saturación, los cristales existentes crecen pero no se pueden formar nuevos.
- b) **Zona intermedia:** En esta pueden formarse nuevos cristales, pero solo en presencia de los existentes
- c) **Zona lábil:** en esta los cristales crecen y pueden formarse otros aun en ausencia de cristales.

A continuación en el gráfico 1.1 se muestra la fase de sobresaturación con su respectiva zona según (Batole 1996).

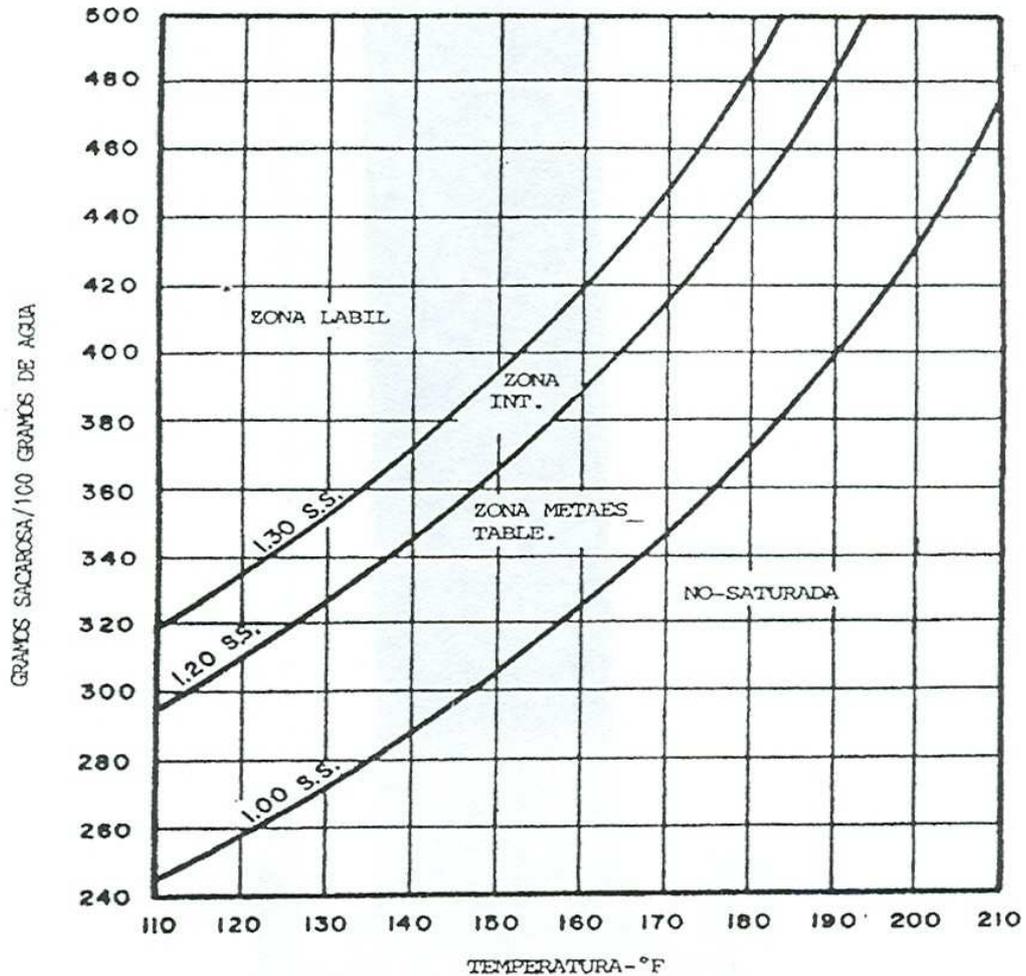


Gráfico 1.1 Fase de Sobresaturación

El proceso se efectúa en evaporadores al vacío de efecto sencillo comúnmente llamado tachos cuya función es producir azúcar. Primeramente se concentra la meladura hasta que esta alcanza el punto de saturación. En tal condición se introduce cristal de siembra que sirven de núcleo a los cristales de azúcar. A medida que se evapora el agua se agrega meladura con el fin de aumentar el tamaño de los cristales.

La mezcla de cristales de siembra y meladura se concentran hasta formar una masa densa llamada “masa cocida”. En este punto el proceso finaliza y el contenido en tacho se descarga a través de una válvula colocada en la parte inferior.

Para la elaboración de azúcar blanco se utiliza el proceso de 3 templeas y doble magmas, que tiene como propósito principal minimizar las pérdidas de azúcar en la miel final. Como parámetro aceptable se considera que la miel final no debe ser mayor a 35 % de sacarosa en su contenido.

Los tachos son evaporadores al vacío de efecto sencillo diseñados para la manipulación de materiales viscosos. Al igual que los evaporadores se componen de un cuerpo provisto intermedicamente de tubos verticales soportados por espejos en sus extremos.

El tacho es un cristalizador evaporativo en el grado de sobresaturación se controla y se mantiene por medio de la evaporación del disolvente, en tanto el material disuelto cristaliza. (Ver Ilustración 1.g)



Ilustración 1.g Tacho Cristalizador

## Centrifugación

Las masas cocidas resultantes de la cristalización se depositan en tanques o vasos de retención para pasar seguidamente al área de centrifugas en donde se consigue la separación de las masas en cristales y miel.

Las centrifugas son máquinas dotadas de una canasta cilíndrica giratoria forrada internamente por una delgada tela de cobre o acero inoxidable perforada con infinidad de agujeros de pequeño diámetro que permite el paso de la miel, a la vez que retiene los cristales de azúcar. La separación se da a partir de las fuerzas centrifugas que se genera en la máquina por el giro de la máquina a gran velocidad.(Ver Ilustración 1.h)



Ilustración 1.h Centrifuga

## **Secado.**

El contenido de humedad del azúcar al finalizar la operación centrifuga no mantiene un nivel apropiado para su manipulación y almacenamiento. La función de secado busca entonces reducir el contenido de humedad del azúcar hasta un valor lo bastante bajo para impedir el desarrollo de microorganismos que pueden ocasionar el deterioro del producto y en el peor de los casos su pérdida.

La secadora son tambores rotatorios donde se produce una transferencia de masa entre el azúcar y el aire de secado. El movimiento rotatorio permite la adecuada exposición de los cristales al calor y por ende, como la disminución de la humedad (ver ilustración 1.i)



Ilustración 1.i Secador Rotatorio

## **Envasado.**

La parte final del proceso es el envasado. El azúcar es envasado por máquinas automáticas y semiautomáticas en varios tamaños dependiendo de las necesidades del consumidor. (Ver ilustración 3j)

El azúcar se envasa en sacos de 50 kilogramos y en bolsas de 2 kilogramos para luego ser comercializado



Ilustración 1.j Envasado

## **Pérdidas**

Las pérdidas de azúcar equivalen a pérdidas de dinero. Desafortunadamente es dinero que no se está llevando. Está siendo quemado en hornos. Está aumentando la pureza de la miel final. Está en la cachaza, en los derrames y pérdidas indeterminadas.

## **Tipos de pérdidas**

Las pérdidas de sacarosa según (Chen 1991) se clasifican en:

- a) **Pérdidas indeterminadas**
- b) **Pérdidas por inversión**
- c) **Pérdidas determinadas**

### **Pérdidas indeterminadas**

Son las pérdidas desconocidas de sacarosa, hasta en cierto grado inevitables en el proceso de fabricación. Estas pérdidas no deben ser mayor de 0.01% de sacarosa en caña.

### **Pérdidas por inversión**

Son debido a la acidez, alta temperatura y a un calentamiento prolongado, porque el jugo contiene azúcares reductores que se descomponen por el exceso de cal, dando como producto de descomposición sustancias viscosas, melacigenas y ácidos orgánicos que ocasionan dificultades de fabricación.

### **Pérdidas determinadas**

Son todas aquellas que se pueden controlar mediante un control químico.

El presente estudio está dedicado a las pérdidas totales de sacarosa que se reportan en el área de cristalización y filtrado.

## **Pérdidas en área de filtrado**

El objetivo de los filtros es el lavado y agotamiento de la cachaza para tratar de recuperar al máximo la sacarosa que va impregnada en la cachaza.

Siempre se producirá cachaza ya que constituye parte de las impurezas del jugo de las cañas que se tratan de eliminar al máximo posible durante la etapa de alcalización, calentamiento y clarificación.

Las pérdidas en cachaza pueden ser reducidas si se establece un sistema y se asigna responsabilidades para conseguirlo.

## **Pérdidas en cachaza**

Según (Arca 1984) algunos factores que contribuyen al incremento a las pérdidas de sacarosa en los filtros son:

- **Vacío defectuoso:** impide el lavado eficiente de la torta de cachaza produciéndose cachaza con sacarosa alta y humedad alta.
- **Tubos de succión tupidos:** impide la succión mediante el vacío del jugo que contiene la torta de cachaza.
- **Telas rotas o tupidas:** ocasiona pérdidas de vacío y bajo agotamiento de la cachaza.
- **Presión de agua de lavado.** Muy importante en el lavado de la torta de cachaza. Presiones deficientes: producen mayores pérdidas de sacarosa.
- **Espesor de la torta:** influye en las pérdidas. Tortas muy gruesas sin necesidad producen pérdidas altas de azúcar y mayor humedad.
- **Velocidad del tambor:** afecta el agotamiento de la cachaza. Velocidades altas producirán menor agotamiento.
- **Temperatura del agua de lavado:** a temperaturas menores de 60 ° C, la sacarosa no se agota, por que disminuye su solubilidad.

Generalmente a los filtros de cachaza no se les presta la atención requerida y por ello las perdidas de azúcar son tan elevadas e injustificadas.

## Pérdidas en el área de cristalización

La cristalización de la sacarosa puede ser considerada como la fase más importante en el proceso azucarero.

Una buena cristalización debe estar formada por granos parejos, libres de gemelos y conglomerados, de tamaño uniforme, cristales duros, y sobre todo en cantidades suficientes para lograr el máximo agotamiento de la masa cocida. Cuando esto no sucede así el recobrado de sacarosa será menor y las pérdidas en miel final serán mucho más altas.

## Pérdidas en tachos

Según (Arca 1984) en la operación de tacho puede producirse pérdida de sacarosa por varios motivos.

- **Altas temperaturas:** un cristal de sacarosa una vez formado tiene una gran estabilidad a temperaturas menores de 70°C, no sufriendo cambios en su composición química o en las características del cristal. Pero a temperaturas mayores la destrucción e inversión de la sacarosa aumenta considerablemente.
- **Vacío bajo:** la caramelización, inversión y formación de color son más pronunciadas a medida que el vacío sea menor, debido a que la temperatura de cocción es mayor.
- **Inversión:** son muy considerables a temperaturas mayores de 80°C.
- **Circulación:** la circulación deficiente de los cristales de azúcar en el licor madre retarda la absorción de la sacarosa y puede ocasionar falta de uniformidad en los granos y menor rendimiento en el azúcar. Pobre circulación puede ocasionar sobrecalentamiento en ciertas áreas con destrucción de sacarosa y aumento del color.
- **Arrastre:** en los tachos puede producirse por arrastre hacia los condensadores. Las pérdidas pueden alcanzar hasta 4.2 Lb. azúcar /h.

- **Salideros y derrames:** En las instalaciones, tuberías, válvulas, canales de descarga, etc. Contribuye al incremento de las pérdidas indeterminadas.

En la estación de tachos puede producirse pérdidas altas de sacarosa, si estos no son operados al máximo de eficiencia.

## **Pérdidas en miel final.**

Con la tecnología actual siempre se producen pérdidas de sacarosa en la miel ya que en los sólidos totales (°Brix) que tiene el jugo de caña, solo un porcentaje de esto es sacarosa (pureza de sacarosa). A medida que se agota la sacarosa en las diferentes etapas del proceso se hace más difícil la recuperación de sacarosa comercial. Las pérdidas de miel final deben mantenerse entre los límites de control.

Según (Buenaventura 1989)

**°Brix:** son los sólidos totales presentes en la solución total del jugo.

**Pol:** son los sólidos solubles, azúcares presentes en la solución total del jugo.

**Pureza:** Es la relación existente entre los sólidos solubles azúcares y los sólidos solubles totales (Pol/°Brix)

A continuación, en la tabla 1 se presentan, las secciones donde se dan las pérdidas de sacarosas en un ingenio azucarero.

**Tabla No.1 Pérdida de Sacarosa**

Fuente: (Álvarez 1980)

Lugar del Proceso	Causas de Pérdidas	Grupo
<b>Sección A</b> En el campo, Durante el corte, pelado y transportado de la caña	1. Caña mal Despuntada (Con canulos no maduros)	A
	2. Caña mal pelada (con mal hojas y raicillas)	A
	3. Caña molida después de varios días de estacionamiento	A
	4. molienda de caña quemada y dejada en pie mucho tiempo	A
<b>Sección B</b> En los trapiches durante la molienda de la caña	5. Por mal ajuste de los molinos	B
	6. Por emplear poco agua de inhibición	B
	7. Por emplear mala agua de inhibición de mala calidad	D
	8. Por falta de asepsia en todas las piezas de los trapiches en contacto con el jugo de caña	A
	9. Por los retornos de jugos impuros y cachaza en el trapiche	A
<b>Sección C</b> En la fabrica, durante el Tratamiento de purificación del jugo	10. Por sulfitación y enclamiento deficiente	C
	11. Por insuficiente calentamiento en los calentadores	C
	12. Por largos estacionamientos de los jugos calientes en los depósitos	E
	13. Por poca aplicación de agua durante la filtración en los filtros a vacío Oliver	C
<b>Sección D</b> En la fabrica Durante el calentamiento y la evaporación	14. Por falta de limpieza aséptica en los aparatos y depósitos de jugo	E
	15. Por empleo de productos químicos purificante de mala calidad	D
	16. Por inversión de sacarosa, acción combinada acidez, alta temp. y duración del calentamiento	E
	17. Por acción alcalina de jugo Purificado	D
	18. Por pérdidas de jugo ocasionado por roturas de los tubos de los calentadores	E
<b>Sección E</b> En la fabrica, durante los cocimientos	19. Por arrastre de melado durante la evaporación	E
	20. Por vacío de fabrica insuficiente en los evaporadores y tachos de cocimiento	D y E
	21. Por el empleo de un esquema de fabricación con muchos retornos	D y E
	22. Por la elección de un mal pie como base de los cocimientos	D
	23. Por la reproducción o "falso grano"	D
	24. Por la larga duración de los cocimientos por la falta de vapor	D y E
	25. Por la larga duración de los cocimientos por superficies calóricas incrustadas	D y E
26. Por arrastre de masa cocida durante el cocimiento	E	
<b>Sección F</b> En la fabrica, durante la cocción , enfriamiento Y Centrifugación	27. Por insuficiente concentración de esta masa cocida	D
	28. Por exceso de viscosidad y de acidez de esta masa en los cristalizadores	D y E
	29. Por enfriamiento insuficiente de esta masa cocida en los cristalizadores	D
	30. Por agregar excesiva cantidad de agua a la masa cocida final para facilitar la centrifugación	D
	31. Por agregar excesiva cantidad de agua y vapor para blanquera el azúcar de 3 <sup>ra</sup> en las centrifugas	D
	32. Por la alta producción de melaza y por el agotamiento deficiente de la misma	D

- GRUPO A:** Esta fuera del control químico
- GRUPO B:** Esta dentro del control químico, pero no es directamente determinada, sino que va incluida en las pérdidas de sacarosa en el bagazo
- GRUPO C:** Esta dentro del control químico, pero no es directamente determinada, sino que va incluida en las pérdidas de sacarosa en la cachaza
- GRUPO D:** Esta dentro del control químico, pero no es directamente determinada, sino que va incluida en las pérdidas de sacarosa en la melaza
- GRUPO E:** Esta dentro del control químico, pero no es directamente determinada, sino que va incluida en las pérdidas de sacarosa en la melaza
- GRUPO F:** Esta dentro del control químico, pero no es directamente determinada, va incluida en el conjunto de pérdidas indeterminadas de sacarosa

## **Balance de Materiales**

Según Himemblau 1991, un balance de materia no es otra cosa que un conteo de flujo y cambio de masa en el inventario de materiales de un sistema.

Los balances de materia se pueden aplicar a una amplia variedad de materiales, a muchas escalas de tamaños del sistema y a varios grados de complejidad. En la industria de procesos, los balances de materia auxilian en la plantación para el diseño de procesos, en la evaluación económica de procesos propuestos y existentes, en el control de procesos y en la optimización de procesos.

Los balances de materia también pueden usarse en las decisiones de operación de los gerentes de la planta que se presentan a cada momento y a diario. Si en un proceso hay uno o más puntos en los que resulta imposible o antieconómico reunir datos, entonces si se encuentran disponibles otros datos que sean suficientes, haciendo un balance de materia en el proceso, es posible obtener la información que sea necesaria acerca de las cantidades y composiciones en la posición inaccesible.

En la mayor parte de las plantas se reúnen bastantes datos sobre las cantidades y composiciones de la materia prima, producto intermedio, desperdicios, productos y subproductos que son usados por los departamentos de producción y contabilidad.

En general el balance de materiales son cálculos estequiométricos de la materia entrante y saliente de un proceso, un equipo o una planta y se basan principalmente en la aplicación de la ley de conservación de la materia. (Valiente 1990).

## Metodología

El desarrollo y ejecución del presente trabajo se llevo a cabo en las áreas de filtrado y cristalización en el Ingenio Monte Rosa durante la zafra 2003-2004.

Durante la evaluación se llevo a cabo monitoreo continuo de los parámetros de operación, de los equipos involucrados en las áreas de estudio y los demás datos se obtuvieron de los informes diarios del departamento de control de calidad, referido a datos tomados en el horario establecido por la gerencia del Ingenio, en la tabla No. 1 (Ver Anexos B) se presentan los equipos a controlar y sus respectivas áreas.

El estudio inició con la caracterización en la etapa de filtrado en la que se realizaron mediciones de los parámetros, que se hicieron para los filtros Mause y el Oliver fueron: la presión de alto vacío, la presión de bajo vacío, la temperatura de agua de lavado, el peso por pie cuadrado y la polarización de la cachaza. Todas las mediciones en esta área a excepción del Pol, se realizó con el equipo en marcha.

Para el procesamiento de los datos obtenidos tanto en el área de filtrado como en el área de cristalización se utilizaron gráficos de control en base al comportamiento de los datos obtenidos en los cuales se compararon los resultados obtenidos con los límites específicos, a los cuales debieron operar los equipos en cuestión.

En la etapa de Cristalización, se realizaron mediciones de los parámetros de operación para los distintos tachos, que forman los tres tipos de masas cocidas (A, B, C) las mediciones de los parámetros (presión de vapor, presión de vacío, temperatura), fueron comparados con los límites específicos de control, dado por el departamento de recuperación de azúcar del ingenio, efectuando los gráficos de control para cada masa cocida.

Posteriormente se determinó las pérdidas de sacarosa, en las áreas de filtrado y cristalización. Para ello se utilizará balances de materiales. El procedimiento que se realizó para medir los parámetros en cada equipo, siguen las normativas de los métodos técnicos del manual de laboratorio para la industria azucarera (TECNICAÑA).  
Buenaventura 1989.

El balance de materiales se efectuó con el propósito de determinar las pérdidas de sacarosa en las diferentes áreas analizadas.

## **Metodología de Cálculo**

### **Área de Filtrado**

#### **Base de cálculo para filtro Oliver**

$$\text{Área Filtrante} = 337.60 \text{ pie}^3$$

$$\text{Revoluciones por día} = 436$$

$$\text{Peso/pie}^2 \text{ de torta} = 0.260 \text{ kg/pie}^2$$

$$\% \text{ Pol en torta} = 2.52$$

$$\% \text{ Pol en cachaza} = 11.32$$

$$\% \text{ Insolubles en Cachaza} = 9.56$$

#### **Calculo de masa de torta**

Es la productoria del área filtrante, las revoluciones por día y el peso por  $\text{pie}^2$  de torta.

#### **Calculo de la sacarosa en torta**

Es el producto de la masa de torta y el porcentaje de Pol en torta y el resultado se divide entre 100.

#### **Calculo de los sólidos en torta**

Es la diferencia de la masa de torta y la sacarosa en torta

#### **Calculo del porcentaje de jugo en cachaza**

Es la diferencia de 100 y el porcentaje de insolubles en cachaza

#### **Calculo de jugo en cachaza**

Es el producto del porcentaje de jugo en cachaza y los sólidos en cachaza y el resultado se divide entre el porcentaje de insolubles en cachaza

#### **Calculo de la masa de cachaza**

Es la adición del jugo en cachaza y los sólidos en cachaza

#### **Calculo de sacarosa en cachaza**

Es el producto del porcentaje de Pol en cachaza y la masa de cachaza y el resultado se divide entre 100

De manera similar se calcula el balance de materiales para el filtro mausa a diferencia de las dimensiones de este equipo.

### **Área de Cristalizado**

Para los criterios de cálculo para diferentes masas cocidas se consideraron las proporcionadas por el departamento de recuperación de azúcar gerencia de fábrica del ingenio haciendo referencia a la base de cálculo planteada en la tabla No. 4 y Tabla No. 5 (Ver Anexos) .

El balance de materiales realizado en el área de cristalización para masa “A” se detalla a continuación:

- **Calculo de pie de templa (volumen de magma B)**

Se multiplica la descarga o volumen de trabajo del tacho A por un tercio.

- **Calculo de masa de magma B**

Se multiplica el volumen de magma B por 39150 Kg y el resultado se divide entre 953.5 pie<sup>3</sup>

- **Calculo de masa cocida A**  
Se multiplica la descarga del tacho A por 55474.2 Kg y el resultado se divide entre 1412.59 pie 3
- **Calculo de la masa de meladura**  
Es la diferencia de masa cocida A y la masa de magma B
- **Calculo de la cantidad de agua evaporada para magma B**  
Se multiplica la masa de magma B por 1262.9 Kg y el resultado se divide entre 39150 Kg
- **Calculo de agua evaporada en meladura**  
Se multiplica la masa de meladura por 9672.9 Kg y el resultado se divide entre 27260 kg
- **Calculo de la sacarosa total en magma B**  
Se multiplica la pureza del magma B por la masa de magma B y el resultado se divide entre cien
- **Calculo de sacarosa total en meladura**  
Se multiplica la masa de meladura por la pureza de la meladura
- **Calculo de la sacarosa total que entra al tacho A**  
Es la adición de la sacarosa total en magma B más la sacarosa total en meladura
- **Calculo de la sacarosa total en masa cocida A**  
Es la masa de la masa cocida A por la pureza de la masa en tacho A
- **Calculo del porcentaje de sacarosa promedio perdida en tacho A**  
Es la diferencia de la sacarosa total en tacho A y la sacarosa total en masa cocida A  
Y el resultado se divide entre la sacarosa total A y se multiplica por cien
- **Calculo de la sacarosa promedio perdida**  
Es la diferencia de sacarosa total en tacho A y la sacarosa total en masa cocida A
- **Calculo de la sacarosa total perdida**  
Es la sacarosa promedio perdida por el número de descargas del tacho A en el día
- **Calculo de la sacarosa total perdida en sacos**  
Es la sacarosa total perdida entre 50 kg

Las constantes utilizadas en este balance de materiales están plasmadas en la tabla No.4 y tabla No. 5, (Ver Anexos) de manera similar se calcula el balance de materiales para tachos B y C a diferencia de las purzas de los materiales que estos procesan y sus respectivas capacidades de trabajo.

### **Procedimiento de cálculo para balance de materiales en miel final**

#### **- cálculo de la sacarosa total perdida en miel final**

Es la diferencia de la sacarosa total en masa cocida C y la sacarosa total en magma C.

## Presentación de Resultados

### Calculo de sacarosa en cachaza

Datos:

$$\text{Área filtrante} = 337.60 \text{ pie}^2$$

$$\text{Revoluciones por día} = 436$$

$$\text{Peso/pie}^2 \text{ de torta} = 0.260 \text{ kg/pie}^2$$

$$\% \text{Pol en torta} = 2.52$$

$$\% \text{Pol en cachaza} = 11.32$$

$$\% \text{ Insolubles en cachaza} = 9.56$$

$$MT = \text{AFte} \times R/\text{día} \times P/\text{pie}^2\text{Tta}$$

$$MT = (337.60 \text{ pie}^2 \times 436 \times 0.260 \text{ kg/pie}^2)$$

**Ecuación 1**

Donde MT es la masa de torta, AFte es el área filtrante, R/día son las revoluciones por día  
P/Pie<sup>2</sup>Tta es el peso por pie<sup>2</sup> de torta

$$\text{SsaTta} = (MT \times \% \text{PolTta}) / 100$$

$$\text{SsaTta} = (38270.34 \text{ kg} \times 2.52) / 100 = 964.41 \text{ kg}$$

**Ecuación 2**

Donde SsaTta es la sacarosa en torta, MT (Ec. 1), %PolTta es el porcentaje de Pol en torta

$$\text{SdosTta} = MT - \text{SsaTta}$$

$$\text{SdosTta} = 38270.34 \text{ kg} - 964.41 \text{ kg} = 37305.93 \text{ kg}$$

**Ecuación 3**

Donde SdosTta son los sólidos en torta, MT (Ec. 1), SsaTta (Ec. 2)

$$\text{SdosCza} = \text{SdosTta}$$

$$\text{SdosCza} = 37305.93 \text{ kg}$$

**Ecuación 4**

Donde SdosCza son los sólidos en cachaza, SdosTta (Ec. 3)

$$\% \text{JCza} = 100 - \% \text{ insolubles en cachaza}$$

$$\% \text{JCza} = 100 - 9.56 = 90.44$$

**Ecuación 5**

Donde %JCza es el porcentaje de jugo en cachaza

$$JCza = (\%JCza \times SdosCza) / \% \text{ insolubles en cachaza}$$

$$JCza = (90.44 \times 37905.93 \text{ kg}) / 9.56 = 352923.46 \text{ kg}$$

**Ecuación 6**

Donde JCza es el jugo en cachaza %JCza (Ec. 5), SdosCza (Ec. 4)

$$MCza = JCza + SdosCza$$

$$MCza = 352923.46 \text{ kg} + 37305.93 \text{ kg} = 390229.39 \text{ kg}$$

**Ecuación 7**

Donde MCza es la masa de cachaza, JCza (Ec. 8), SdosCza (Ec. 4)

$$SsaCza = (\%Pol \text{ en cachaza} \times MCza) / 100$$

$$SsaCza = (11.32 \times 390229.39 \text{ k.o.}) / 100 = 44173.97 \text{ kg}$$

**Ecuación 8**

Donde Sacas es la sacarosa en cachaza MCza (Ec. 7)

### **Calculo para masa cocida de primera o MCA (Tacho #1)**

**Datos:**

**Pureza Magma B:= 89.08 %**

**Pureza Meladura = 86.18 %**

**Pureza MCA = 84.99 %**

**Descarga = 960 Pie<sup>3</sup>**

$$VMgB = 1/3 (D)$$

$$VMgB = 1/3 (960 \text{ pie}^3) = 320 \text{ Pie}^3$$

**Ecuación 9**

De donde VMgB es el volumen de magma B y D la descarga (pie<sup>3</sup>)

$$MMgB = (VMgB \times 39150) / 953.5$$

$$MMgB = (320 \text{ pie}^3 \times 39150 \text{ Kg.}) / 953.5 \text{ pie}^3 = 13138.96 \text{ Kg.}$$

**Ecuación 10**

De donde MMgB es la masa de magma B, VMgB (Ec. 9)

$$MMCA = (D \times 55474.2) / 1412.59$$

$$MMCA = (960 \text{ pie}^3 \times 55474.2 \text{ Kg.}) / 1412.59 \text{ pie}^3 = 37700.42 \text{ Kg.}$$

**Ecuación 11**

Donde MMCA es la masa de la masa cocida

$$MM = MMCA - MMgB$$

$$MM = 37700.42 \text{ Kg.} - 13138.96 \text{ Kg.} = 24561.46 \text{ Kg.} \quad \text{Ecuación 12}$$

De donde MM es la masa de meladura, MMCA (Ec. 11) y MMgB (Ec. 10)

$$AEvMgB = (MMgB \times 1262.90) / 39150$$

$$AEvMgB = (13138.96 \text{ Kg.} \times 1262.90 \text{ Kg.}) / 39150 \text{ Kg.} = 423.84 \text{ Kg.} \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde AEvMgB es el agua evaporada en magma B, MMgB (Ec. 10)

$$AEvM = (MM \times 9672.90) / 27260$$

$$AEvM = (24561.46 \text{ Kg.} \times 9672.90 \text{ Kg.}) / 27260 \text{ Kg.} = 8715.35 \text{ Kg.} \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde AEvM es el agua evaporada en meladura, MM (Ec. 12)

$$STMgB = (PzaMgB \times MMgB) / 100$$

$$STMgB = (89.08 \times 13138.96 \text{ Kg.}) / 100 = 11704.19 \text{ Kg.} \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde STMgB es la sacarosa total en magma B, PzaMgB es la pureza del magma B y MMgB (Ec. 10)

$$STM = (PzaM \times MM) / 100$$

$$STM = (86.18 \times 24561.46 \text{ Kg.}) / 100 = 21167.07 \text{ Kg.} \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde STM es la sacarosa total en meladura, PzaM es la pureza de la meladura y MM (Ec. 12)

$$STT1 = STMgB + STM$$

$$STT1 = 11704.19 \text{ Kg.} + 21167.07 \text{ Kg.} = 32871.26 \text{ Kg.} \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde STT1 es la sacarosa total en tacho 1, STMgB es (Ec. 15) y STM es (Ec. 16)

$$STMCA = (PzaMCA \times MMCA) / 100$$

$$STMCA = (84.99 \times 37700.42 \text{ Kg.}) / 100 = 32041 \text{ k.o.} \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde STMCA es la sacarosa total en masa cocida A, PzaMCA es la pureza de la masa cocida A y MMCA es (Ec. 11)

$$\%SPP = (STT1 - STMCA) / STT1 \times 100$$

$$\%SPP = (32871.26 \text{ Kg.} - 32041.59 \text{ k.o.}) / (32871.26) \times 100 = 2.52\% \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde % SPP es el porcentaje de sacarosa promedio perdida, STT1 es (Ec. 17) y STMCA es (Ec. 18)

$$SPP = STT1 - STMCA$$

$$SPP = 32871.26 \text{ Kg.} - 32041.59 \text{ Kg.} = 829.678 \text{ Kg.} \quad \text{Ecuación 20}$$

Donde SPP es la sacarosa promedio perdida, STT1 es (Ec. 17), STMCA es (Ec. 18)

$$STP = SPP \times \# D$$

$$STP = 826.67 \text{ Kg.} \times 7 = 5807.69 \text{ Kg.} \quad \text{Ecuación 21}$$

Donde STP es la sacarosa total perdida, SPP es (Ec. 20) y # D es el numero de descarga

$$STPS = STP/50$$

$$STPS = 5807.69 \text{ Kg.} / 50 = 116.15 \text{ Sacos} \quad \text{Ecuación 22}$$

Donde STPS es la sacarosa total perdida en sacos (50 Kg.) y STP es (Ec. 21)

De manera similar a este calculo, se calculan los demás tachos que producen masa cocida de primera o masa cocida A que son los tachos #, 3 y 5 para los 51 días restantes.

Los cálculos están reflejados, en el anexo D de los balances de materiales.

## Calculo para masa cocida de segunda o MCB (Tacho # 6)

**Datos:**

**Pureza de Magma C = 81.46 %**

**Pureza Miel A = 68.65 %**

**Pureza MCB = 67.89 %**

**Descarga = 1038 pie<sup>3</sup>**

$$VMgC = 1/3 (D)$$

$$VMgC = 1/3 (1038) = 346 \text{ pie}^3$$

**Ecuación 23**

Donde VMgC es, volumen de magma C y D la descarga.

$$MMgC = (MMgC \times 17400) / 423.78$$

$$MMgC = (346 \text{ pie}^3 \times 17400 \text{ kg}) / 423.78 \text{ pie}^3 = 14206.43 \text{ Kg.}$$

**Ecuación 24**

Donde MMgC es, masa de magma C, VMgC (Ec. 23)

$$MMCB = (D \times 44821.79) / 1145.61$$

$$MMCB = (1038 \text{ pie}^3 \times 44821.79 \text{ Kg.} / 1145.61 \text{ pie}^3 = 40611.57$$

**Ecuación 25**

Donde MMCB es, masa de masa cocida B y D, la descarga

$$MMA = MMCB - MMgC$$

$$MMA = 40611.57 \text{ Kg.} - 14206.43 \text{ Kg.} = 26405.14 \text{ Kg.}$$

**Ecuación 26**

Donde MMA, es masa de miel A, MMCB (Ec. 25), MMgC (Ec. 24)

$$AEvMgC = (MMgC \times 1108.11) / 17400$$

$$AEvMgC = (14206.43 \text{ Kg.} \times 1108 \text{ Kg.}) / 17400 \text{ Kg.} = 904.73 \text{ Kg.}$$

**Ecuación 27**

Donde AEvMgC, es el agua evaporada en magma C, MMgC (Ec. 24)

$$AEvMA = (MMA \times 13167.64) / 41697.54$$

$$AEvMA = (26405.14 \text{ Kg.} \times 13167.64 \text{ k.o.}) / 41697.54 \text{ Kg.} = 8338.46 \text{ Kg.} \quad \text{Ecuación 28}$$

Donde AEvMA, es el agua evaporada en miel A, MMA (Ec. 26)

$$STMgC = (PzaMgC \times MMgC) / 100$$

$$STMgC = (81.46 \times 14206.43 \text{ Kg.}) / 41697.54 \text{ kg} = 11572.56.46 \text{ kg} \quad \text{Ecuación 29}$$

Donde STMgC, es la sacarosa total en magma C, PzaMgC es la pureza de magma C, MMgC (Ec. 24)

$$STMA = (PzaMA \times MMA) / 100$$

$$STMA = (68.85 \times 26405.14 \text{ kg}) / 100 = 18179.94 \text{ kg} \quad \text{Ecuación 30}$$

Donde STMA, es la sacarosa total en miel A, PzaMA es la pureza de miel A, MMA (Ec. 26)

$$STT6 = STMgC + STMA$$

$$STT6 = 11572.56 \text{ kg} + 18179.94 \text{ kg} = 29752.50 \text{ kg} \quad \text{Ecuación 31}$$

Donde STT6, es la sacarosa total en tacho # 6, STMgC (Ec. 29) y STMA (Ec. 30)

$$STMCB = (PzaMCB \times MMCB) / 100$$

$$STMCB = (67.89 \times 40611.57 \text{ kg}) / 100 = 27571.19 \text{ kg} \quad \text{Ecuación 32}$$

Donde STMCB, es la sacarosa total en MCB, PzaMCB es la pureza de MCB

$$\%SPP = (STT6 - STMCB) / (STT6) \times 100$$

$$\%SPP = (29752.50 \text{ kg} - 27571.19 \text{ kg}) / (29752.50 \text{ kg}) \times 100 = 7.33 \% \quad \text{Ecuación 33}$$

Donde %SPP, es el porcentaje de sacarosa promedio perdida, STT6 (Ec. 31)

STMCB (Ec. 32)

$$SPP = STT6 - STMCB$$

$$SPP = 29752.50 \text{ kg} - 27571.19 \text{ kg} = 2181.31 \text{ kg} \quad \text{Ecuación 34}$$

Donde SPP, es la sacarosa promedio perdida, STT6 (Ec. 31), STMCB (Ec. 32)

$$STP = SPP \times \# D$$

$$SPP = 2181.31 \text{ kg} \times 12 = 26175.72 \text{ kg}$$

**Ecuación 35**

Donde STP, es la sacarosa total perdida, SPP (Ec. 5.26), # D es el numero de descarga

$$STPS = STP / 50$$

$$STPS = 26175.72 \text{ kg} / 50 = 523.51 \text{ sacos}$$

**Ecuación 36**

Donde STPS, es la sacarosa total perdida en sacos (50 kg) y STP (Ec. 25)

En anexo D, se muestran los resultados del balance para los otros días analizados

### **Calculo para masa cocida de tercera o MCC (tacho # 4)**

**Datos:**

$$\text{Pureza de miel B} = 47.76 \%$$

$$\text{Pureza meladura} = 85.18 \%$$

$$\text{Pureza MCC} = 52.69 \%$$

$$\text{Descarga} = 978 \text{ Pie}^3$$

$$VMB = 1/3 (D)$$

$$VMB = 1/3 (978 \text{ pie}^3) = 326 \text{ pie}^3$$

**Ecuación 37**

Donde VMB es volumen de miel B

$$MMB = (VMB \times 17400) / 353.15$$

$$MMB = (326 \text{ pie}^3 \times 17400 \text{ kg}) / 353.15 \text{ pie}^3 = 16062.30 \text{ kg}$$

**Ecuación 38**

Donde MMB es masa de miel B, VMB (Ec. 37)

$$MMCC = (D \times 38569.56) / 980.69$$

$$MMCC = (978 \text{ pie}^3 \times 38569.56 \text{ kg}) / 980.69 \text{ pie}^3 = 38463.76 \text{ kg}$$

**Ecuación 39**

Donde MMCC es masa de masa cocida C, D es la descarga

$$MM = (MMCC - MMB)$$

$$MM = (38463.76 \text{ kg} - 16062.30 \text{ kg}) = 22401.46 \text{ kg}$$

**Ecuación 40**

Donde MM es la masa de meladura, MMCC (Ec. 39), MMB (Ec. 38)

$$AEvMB = (MMB \times 848.47) / 17400$$

$$AEvMB = (16062.30 \text{ kg} \times 848.47 \text{ kg}) / 17400 \text{ kg} = 783.24 \text{ kg}$$

**Ecuación 41**

Donde AEvMB es el agua evaporada en miel B, MMB (Ec. 38)

$$AEvM = (MM \times 10839.64) / 32857.67$$

$$AEvM = (22401.46 \text{ kg} \times 10839.64 \text{ kg}) / 32857.67 \text{ kg} = 7390.17 \text{ kg}$$

**Ecuación 42**

Donde AEvM, es el agua evaporada en meladura, MM (Ec. 40)

$$STMB = (PzaMB \times MMB) / 100$$

$$STMB = (49.76 \times 16062.30 \text{ kg}) / 100 = 7992.60 \text{ kg}$$

**Ecuación 43**

Donde STMB es la sacarosa total en miel B, PzaMB es la pureza de miel B y MMB (Ec. 38)

$$STM = (PzaM \times MM) / 100$$

$$STM = (85.18 \times 22401.46 \text{ kg}) / 100 = 19081.56 \text{ kg}$$

**Ecuación 44**

Donde STM es la sacarosa total en meladura, PzaM es la pureza de meladura y MM (Ec. 40)

$$STT4 = (STMB + STM)$$

$$STT4 = (7992.60 \text{ kg} + 19081.56 \text{ kg}) = 27074.16 \text{ kg}$$

**Ecuación 45**

Donde STT4 es la sacarosa total en tacho 4, STMB (Ec. 43), STM (Ec. 44)

$$STMCC = (PzaMCC \times MMCC) / 100$$

$$STMCC = (52.69 \times 38463.76 \text{ kg}) / 100 = 20266.56 \text{ kg}$$

**Ecuación 46**

Donde STMCC es la sacarosa total en masa cocida C, PzaMCC es la pureza de la masa cocida C, MMCC (Ec. 39)

$$\%SPP = (STT4 - STMCC) / (STT4) \times 100$$

$$\%SPP = (27074.16 \text{ kg} - 20266.56 \text{ kg}) / 27074.16 \text{ kg} \times 100 = 25.14 \% \quad \text{Ecuación 47}$$

Donde %SPP es la sacarosa promedio perdida, STT4 (Ec. 45), STMCC (Ec. 46)

$$SPP = (STT4 - STMCC)$$

$$SPP = (27074.16 \text{ kg} - 20266.56 \text{ kg}) = 6807.60 \text{ kg} \quad \text{Ecuación 48}$$

Donde SPP es la sacarosa promedio perdida, STT4 (Ec. 45), STMCC (Ec. 46)

$$STP = (SPP \times \# D)$$

$$STP = (6807.60 \text{ kg} \times 5) = 34038.00 \text{ kg} \quad \text{Ecuación 49}$$

Donde STP, es la sacarosa total perdida, SPP (Ec. 48) # D, el numero de descarga

$$STPS = (STP / 50)$$

$$STPS = (34038.00 \text{ kg} / 50) = 680.76 \text{ sacos} \quad \text{Ecuación 50}$$

Donde STPS, es la sacarosa total perdida en sacos de 50 kg, STP (Ec. 49)

En anexo D, se muestran los resultados del balance para los otros días analizados

### **Calculo para miel final**

$$\text{SacTpMF} = \text{STMCC} - \text{SacTM}_g\text{C}$$

$$\text{SacTpMF} = 2266.56 \text{ Kg. Sac} - 11572.56 \text{ Kg. Sac} = 8694 \text{ Kg. Sac Perdida} \quad \text{Ecuación 51}$$

Donde SacTpMF, es la sacarosa total perdida en miel final, STMCC (Ec. 46)

SacTM<sub>g</sub>C (Ec. 29).

En anexo D, se muestran los resultados del balance para los otros días analizados

## Calculo de Perdidas Promedio de Sacarosa

$$\text{SacTeT1} = (\text{SacTMgB} + \text{SacTM}) \times \# D$$

$$\text{SacTeT1} = (11750.33 \text{ kg} + 20636.00 \text{ kg}) \times 5 = 161931.65 \text{ kg Sac} \quad \text{Ecuación 52}$$

Donde SacTeT1, es la sacarosa total entrante al tacho #1, SacTMgB, es la sacarosa total en magma B, SacTM, es la sacarosa total en meladura, # D, es el numero de descargas

$$\text{SacTsT1} = \text{SacTMCA} \times \# D$$

$$\text{SacTsT1} = 31094.26 \text{ kg} \times 5 = 15571.30 \text{ kg Sac} \quad \text{Equation 53}$$

Donde SacTsT1, es la sacarosa total saliente del tacho # 1, SacTMCA, es la sacarosa total en MCA

$$\text{SacTpT1} = \text{SacTeT1} - \text{SacTsT1}$$

$$\text{SacTpT1} = 161931.65 \text{ kg Sac} - 155471.30 \text{ kg Sac} = 6460.35 \text{ kg Sac} \quad \text{Ecuación 54}$$

Donde SacTpT1, es la sacarosa total perdida en tacho # 1, SacTeT1 (Ec. 52) SacTsT1 (Ec. 53)

$$\text{SacTeT2} = (\text{SacTMgB} + \text{SacTM}) \times \# D$$

$$\text{SacTeT2} = (7853.45 \text{ kg} + 13789.24 \text{ kg}) \times 5 = 108213.45 \text{ kg Sac} \quad \text{Ecuación 55}$$

Donde SacTeT2, es la sacarosa total entrante al tacho # 2, SacTMgB, es la sacarosa total en magma B, SacTM es la sacarosa total en meladura

$$\text{SacTsT2} = \text{SacTMCA} \times \# D$$

$$\text{SacTsT2} = 20817.37 \text{ kg} \times 5 = 104086.85 \text{ kg Sac} \quad \text{Ecuación 56}$$

Donde SacTsT2, es la sacarosa total saliente del tacho # 2, SacTMCA, es la sacarosa Total en MCA

$$\text{SacTpT2} = \text{SacTeT2} - \text{SacTsT2}$$

$$\text{SacTpT2} = 108213.45 \text{ kg Sac} - 104086.85 \text{ kg Sac} = 4126.60 \text{ kg Sac} \quad \text{Ecuación 57}$$

Donde SacTpT2, es la sacarosa total perdida en tacho # 2, SacTeT2 (Ec. 5.55), SacTsT2 (Ec. 56)

$$\text{SacTeT3} = (\text{SacTMgB} + \text{SacTM}) \times \# \text{ D}$$

$$\text{SacTeT3} = (9567.91 \text{ kg} + 16796.67 \text{ kg}) \times 6 = 158187.48 \text{ kg} \quad \textbf{Ecuación 58}$$

Donde SacTeT3, es la sacarosa total entrante al tacho # 3, SacTMgB, es la sacarosa total en magma B, SacTM, es la sacarosa total en meladura

$$\text{SacTsT3} = \text{SacTMCA} \times \# \text{ D}$$

$$\text{SacTsT3} = 25363.34 \text{ kg Sac} \times 6 = 152180.04 \text{ kg Sac} \quad \textbf{Ecuación 59}$$

Donde SacTsT3, es la sacarosa total saliente del tacho # 3, SacTMCA, es la sacarosa total en MCA

$$\text{SacTpT3} = \text{SacTeT3} - \text{SacTsT3}$$

$$\text{SacTpT3} = 158187.48 \text{ kg} - 152180.04 \text{ kg} = 6007.44 \text{ kg Sac} \quad \textbf{Ecuación 60}$$

Donde SacTpT3, es la sacarosa total perdida en tacho # 3, SacTeT3, (Ec. 58), SacTsT3 (Ec. 59)

$$\text{SacTeT5} = (\text{SacTMgB} + \text{SacTM}) \times \# \text{ D}$$

$$\text{SacTeT5} = (13052.58 \text{ kg} + 22880.68 \text{ kg}) \times 6 = 215599.56 \text{ Kg Sac} \quad \textbf{Ecuación 61}$$

Donde SacTeT5, es la sacarosa total entrante al tacho # 5, SacTMgB, es la sacarosa total en magma B, SacTM, es la sacarosa total en meladura.

$$\text{SacTsT5} = \text{SacTMCA} \times \# \text{ D}$$

$$\text{SacTsT5} = 34572.42 \text{ kg} \times 6 = 207434.52 \text{ kg Sac} \quad \textbf{Ecuación 62}$$

Donde SacTsT5, es la sacarosa total saliente del tacho # 5, SacTMCA, es la sacarosa total en MCA

$$\text{SacTpT5} = \text{SacTeT5} - \text{SacTsT5}$$

$$\text{SacTpT5} = 215599.56 \text{ kg Sac} - 207434.52 \text{ kg Sac} = 8165.04 \text{ kg Sac} \quad \textbf{Ecuación 63}$$

Donde SacTpT5, es la sacarosa total perdida en tacho # 5, SacTeT5 (Ec. 61) SacTsT5 (Ec. 62)

$$\text{SacTeTa} = \text{SacTeT1} + \text{SacTeT2} + \text{SacTeT3} + \text{SacTeT5} \quad \text{Ecuación 64}$$

$$\text{SacTeTa} = (161931.65 + 108213.45 + 158187.48 + 215599.56) \text{ kg Sac} = 643932.14$$

Donde SacTeTa es la sacarosa total entrante a tachos A, SacTeT1 (Ec. 52) SacTeT2 (Ec. 55), SacTeT3 (Ec. 58), SacTeT5 (Ec. 61)

$$\text{SacTsTa} = \text{SacTsT1} + \text{ScaTeT2} + \text{ScaTeT3} + \text{ScaTeT5} \quad \text{Ecuación 65}$$

$$\text{SacTsTa} = (161931.65 + 108213.45 + 158187.48 + 215599.56) \text{ kg Sac} = 643932.14$$

Donde SacTeTa, es la sacarosa total entrante a tachos A, SacTeT1 (Ec. 52), ScaTeT2 (Ec. 55) ScaTeT3 (Ec. 58), ScaTeT5 (Ec. 61)

$$\text{SacTpTa} = \text{SacTeTA} - \text{ScaTsTA} \quad \text{Ecuación 66}$$

$$\text{SacTpTa} = 643932.14 \text{ kg Sac} - 619172.71 \text{ kg Sac} = 24759.43 \text{ kg Sac}$$

Donde SacTpTa, es la sacarosa total perdida en tachos A, SacTeTA (Ec. 64), ScaTsTA (Ec. 65)

$$\text{SacTeT6} = (\text{SacTMgC} + \text{SacTMielA}) \times \# D \quad \text{Ecuación 67}$$

$$\text{SacTeT6} = (15788.32 \text{ kg} + 23520.70 \text{ kg}) \times 7 = 275163.14 \text{ kg Sac}$$

Donde SacTeT6, es la sacarosa total entrante al tacho # 6, SacTMgC, es la sacarosa total en magma C, SacTMielA, es la sacarosa total en miel A

$$\text{SacTsT6} = \text{SacTMCB} \times \# D$$

$$\text{SacTsT6} = 38512.85 \text{ kg} \times 7 = 269589.95 \text{ kg Sac}$$

$$\text{Ecuación 68}$$

Donde SacTsT6, es la sacarosa total saliente de tacho # 6, SacTMCB, es la sacarosa Total en MCB

$$\text{SacTpT6} = \text{SacTeT6} - \text{SacTsT6}$$

$$\text{SacTpT6} = 275163.14 \text{ kg Sac} - 269589.95 \text{ kg Sac} = 5573.19 \text{ kg Sac} \quad \text{Ecuación 69}$$

Donde SacTpT6, es la sacarosa total perdida en el tacho # 6, SacTeT6 (Ec. 67), SacTsT6 (Ec. 68)

$$\text{SacTeT4} = (\text{SacTMielB} + \text{SacTM}) \times \# D$$

$$\text{SacTeT4} = (8612.19 \text{ kg} + 19318.22 \text{ kg}) \times 5 = 139652.05 \text{ kg Sac} \quad \textbf{Ecuación 70}$$

Donde SacTeT4, es la sacarosa total entrante en tacho # 4, SacTMielB, es la sacarosa total en miel B, SacTM, es la sacarosa en meladura.

$$\text{SacTsT4} = \text{SacTMCC} \times \# D$$

$$\text{SacTsT4} = 23035.33 \text{ kg} \times 5 = 115176.65 \text{ kg Sac} \quad \textbf{Ecuación 71}$$

Donde SacTsT4, es la sacarosa total saliente de tacho # 4, SacTMCC es la sacarosa total en MCC

$$\text{SacTpT4} = \text{SacTeT4} - \text{SacTsTa}$$

$$\text{SacTpT4} = 139652.05 \text{ kg Sac} - 115176.65 \text{ kg Sac} = 24475.40 \text{ kg Sac} \quad \textbf{Ecuación 72}$$

Donde SacTpT4, es la sacarosa total perdida en tacho # 4, SacTeT4 (Ec. 70), SacTsTa (Ec. 71)

$$\text{SacTpMF} = \text{SacTsT4} - (\text{SacTMgC} \times \# D)$$

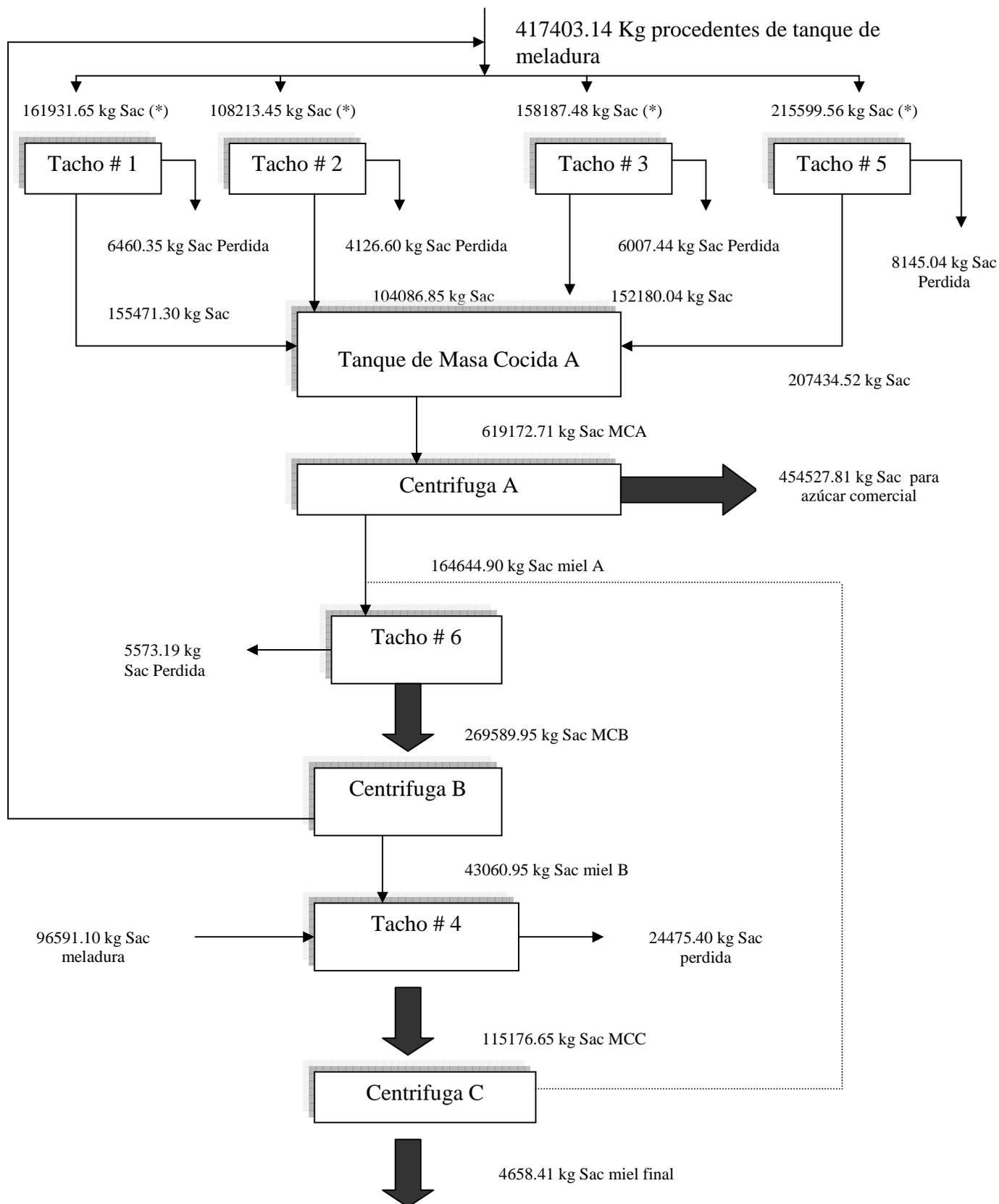
$$\text{SacTpMF} = 115176.65 \text{ kg} - (15788.32 \times 7) = 4658.41 \text{ kg Sac} \quad \textbf{Ecuación 73}$$

Donde SacTpMF, es la sacarosa total perdida en miel final, SacTsT4, es la sacarosa total saliente de tacho # 4, SacTMgC es la sacarosa total en magma C, y # D, es el número de descarga en tachos # 6

En el anexo D, están reflejadas las tablas de estos cálculos

A continuación, esta reflejado el diagrama 1.1 de flujo de sacarosa para periodo evaluado

Los datos de flujos totales de sacarosa, son un promedio de los 51 días analizados



**Diagrama 1.1 Flujo promedio de sacarosa perdida en cristalización durante el periodo evaluado**

## **Simbología de Diagrama de Flujo Promedio de Sacarosa**

- Corrientes de sacarosa que forman masa cocida A, al igual que la sacarosa que sale en azúcar comercial y la que sirve como pie de templa en tacho # 4.
- Corrientes de sacarosa que forma masa cocida B, al igual que la MCB
- Corriente de sacarosa que forma MCC, al igual que la masa MCC
- Corriente de sacarosa que pierde en tachos al igual que la que sale en miel final

(\* Es el resultado de la sacarosa total en magma B mas la sacarosa total en meladura que forma MCA

(.....) la corriente de magma C, representada por línea punteada, se reflejo de esta forma, debido a la variabilidad en el porcentaje de la desviación estándar

## Calculo del porcentaje de sacarosa perdida en cada equipo a partir de la sacarosa total perdida en el proceso

$$\text{SacTpProc} = \text{SacTpT1} + \text{SacTpT2} + \text{SacTpT3} + \text{SacTpT5} + \text{SacTpT6} + \text{SacTpT4} + \text{SacTpMF}$$

$$\text{SacTpProc} = (6460.35 + 4126.60 + 6007.44 + 8165.04 + 5573.19 + 24475.40 + 4658.41) \text{ kg}$$

$$\text{SacTpProc} = 59466.43 \text{ kg Sac}$$

**Ecuación 74**

Donde SacTpProc, es la sacarosa total perdida en proceso, SacTpT1, (Ec. 54), SacTpT2 (Ec. 57) SacTpT3 (Ec. 60) SacTpT5 (Ec. 63) SacTpT6 (Ec. 59) SacTpT4 (Ec. 72) SacTpMF (Ec. 73)

$$\% \text{SacpT1} = (\text{SacTpT1} / \text{SacTpProc}) \times 100$$

$$\% \text{SacpT1} = (6460.35 / 59466.43 \times 100 = 10.86\%$$

**Ecuación 75**

Donde %SacpT1 es el porcentaje de sacarosa perdida en tacho # 1, SacTpT1 (Ec. 54), SacTpProc (Ec. 74)

$$\% \text{SacpT2} = (\text{SacTpT2} / \text{SacTpProc}) \times 100$$

$$\% \text{SacpT2} = (4126.60 / 59466.43) = 6.94 \%$$

**Ecuación 76**

Donde %SacpT2, es el porcentaje de sacarosa perdida en tacho # 2, SacTpT2 (Ec. 57), SacTpProc (Ec. 74)

$$\% \text{SacpT3} = (\text{SacTpT3} / \text{SacTpProc}) \times 100$$

$$\% \text{SacpT3} = (6007.44 / 59466.43) \times 100 = 10.10 \%$$

**Ecuación 77**

Donde %SacpT3, es el porcentaje de sacarosa perdida en tacho #3, SacTpT3 (Ec. 60), SacTpProc (Ec. 74)

$$\% \text{SacpT5} = (\text{SacTpT5} / \text{SacTpProc}) \times 100$$

$$\% \text{SacpT5} = (8165.04 / 59466.43) \times 100 = 13.73\%$$

**Ecuación 78**

Donde %SacpT5, es el porcentaje de sacarosa perdida en tacho # 5, SacTpT5 (Ec. 63), SacTpProc (Ec. 74)

$$\% \text{SACP}T6 = (\text{SACP}T6 / \text{SACP}P\text{Proc}) \times 100$$

$$\% \text{SACP}T6 = (5573.19 / 59466.43) \times 100 = 9.37 \%$$

**Ecuación 79**

Donde %SACP<sub>T6</sub>, es el porcentaje de sacarosa perdida en tacho # 6, SACP<sub>T6</sub> (Ec. 69), SACP<sub>Proc</sub> (Ec. 74)

$$\% \text{SACP}T4 = (\text{SACP}T4 / \text{SACP}P\text{Proc}) \times 100$$

$$\% \text{SACP}T4 = (24475.40 / 59466.43) \times 100 = 41.16 \%$$

**Ecuación 80**

Donde %SACP<sub>T4</sub>, es el porcentaje de sacarosa perdida en tacho # 4, SACP<sub>T4</sub> (Ec. 72), SACP<sub>Proc</sub> (Ec. 74)

$$\% \text{SACP}MF = (\text{SACP}MF / \text{SACP}P\text{Proc}) \times 100$$

$$\% \text{SACP}MF = (4658.41 / 59466.43) \times 100 = 7.83 \%$$

**Ecuación 81**

Donde %SACP<sub>MF</sub>, es el porcentaje de sacarosa perdida en miel final, SACP<sub>MF</sub> (Ec.73), SACP<sub>Proc</sub> (Ec. 74)

**Por lo tanto  $(100 - 7.83) / 7.83 = 11.77$  Esto significa que el porcentaje de perdidas de sacarosa que se pierde en el proceso de cristalización, es aproximadamente 12 veces mayor que la sacarosa que se pierde en miel final.**

## Calculo del porcentaje de sacarosa perdida en cada equipo a partir de la sacarosa que entra a cada uno

$$\% \text{SACP}\#1 = (\text{SACP}\#1 / \text{SACP}\#1) \times 100$$

$$\% \text{SACP}\#1 = (6460.35 / 161931.65) \times 100 = 3.99 \%$$

**Ecuación 82**

Donde %SACP#1, es el porcentaje de sacarosa perdida en tacho # 1, SACP#1 (Ec. 54), SACP#1 (Ec. 52)

$$\% \text{SACP}\#2 = (\text{SACP}\#2 / \text{SACP}\#2) \times 100$$

$$\% \text{SACP}\#2 = (4126.60 / 108213.45) \times 100 = 3.81 \%$$

**Ecuación 83**

Donde %SACP#2, es el porcentaje de sacarosa perdida en tacho # 2, SACP#2 (Ec. 57), SACP#2 (Ec. 55)

$$\% \text{SACP}\#3 = (\text{SACP}\#3 / \text{SACP}\#3) \times 100$$

$$\% \text{SACP}\#3 = (6007.44 / 158187.48) \times 100 = 3.80 \%$$

**Ecuación 84**

Donde %SACP#3, es el porcentaje de sacarosa perdida en tacho # 3, SACP#3 (Ec. 60), SACP#3 (Ec. 67)

$$\% \text{SACP}\#5 = (\text{SACP}\#5 / \text{SACP}\#5) \times 100$$

$$\% \text{SACP}\#5 = (8165.04 / 158187.48) \times 100 = 3.79\%$$

**Ecuación 85**

Donde %SACP#5, es el porcentaje de sacarosa perdida en tacho # 5, SACP#5 (Ec. 63), SACP#5 (Ec. 62)

$$\% \text{SACP}\#6 = (\text{SACP}\#6 / \text{SACP}\#6) \times 100$$

$$\% \text{SACP}\#6 = (5573.19 / 275163.14) \times 100 = 2.03 \%$$

**Ecuación 86**

Donde %SACP#6, es el porcentaje de sacarosa perdida en tacho # 6, SACP#6 (Ec. 69), SACP#6 (Ec. 67)

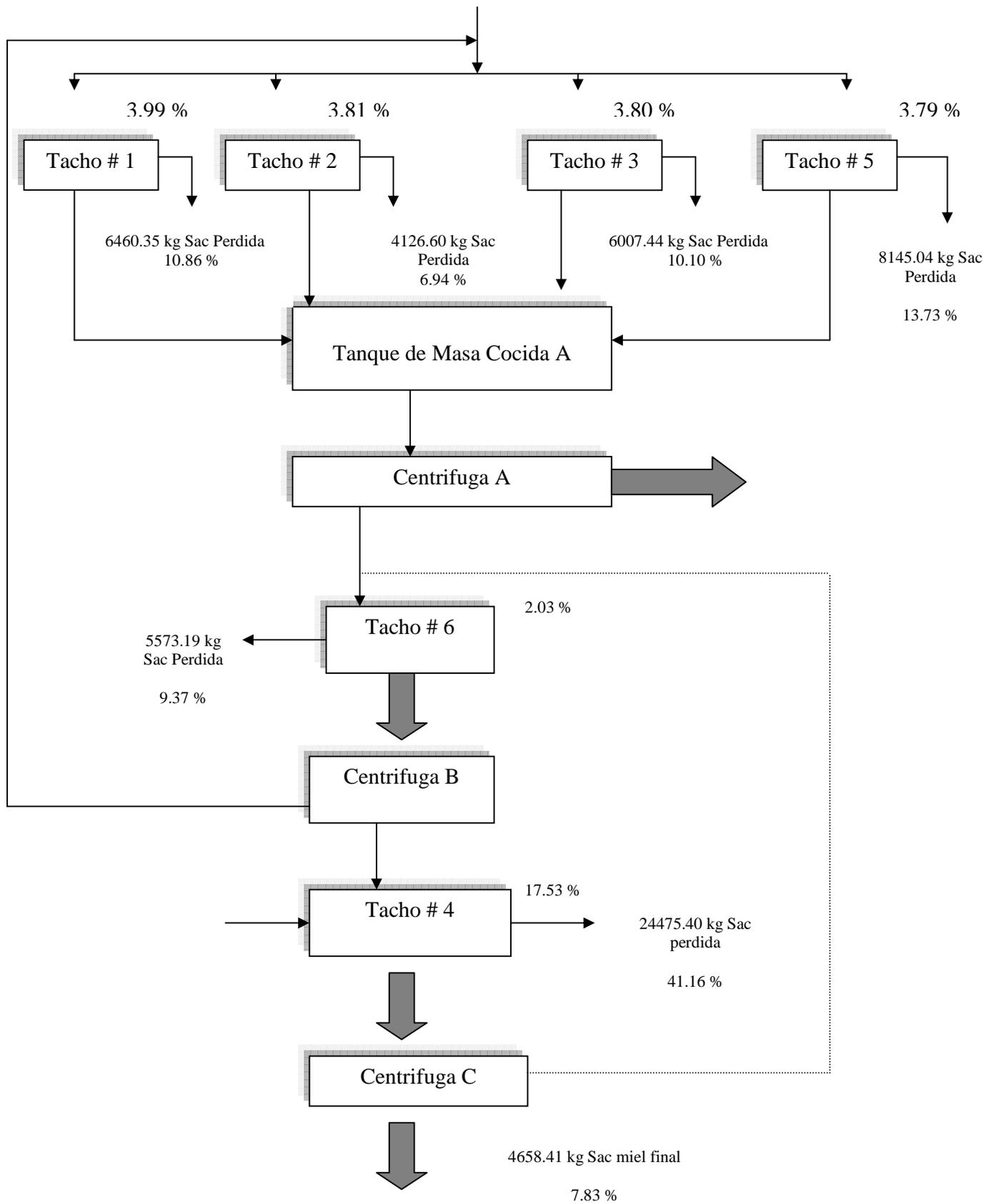
$$\% \text{SACP}\#4 = (\text{SACP}\#4 / \text{SACTE}\#4) \times 100$$

$$\% \text{SACP}\#4 = (24475.40 / 139652.05) \times 100 = 17.53 \%$$

**Ecuación 87**

Donde %SACP#4, es el porcentaje de sacarosa perdida en tacho # 4, SACP#4 (Ec. 72), SACTE#4 (Ec. 70)

**A continuación, se detalla en el diagrama 1.2 de flujo de sacarosa, los respectivos porcentajes de perdidas para el periodo evaluado.**



**Diagrama 1.2 Flujo promedio de sacarosa perdida en cristalización durante el periodo evaluado**

## Simbología de diagrama de flujo de sacarosa

- Representa el porcentaje de sacarosa perdida en cada equipo, a partir de la sacarosa que entró a cada uno de ellos.

Interpretación: Ejemplo (Tacho #1) De toda la sacarosa entrante al tacho #1 (161931.65 kg) el 3.99 % (6460.35 kg Sac) se pierde en el equipo y el 96.01 % (155471.30 kg Sac) sale en forma de MCA.

- Representa el porcentaje de sacarosa perdida a partir del 100 % de sacarosa que se pierde en todo la etapa de cristalización. La sacarosa total perdida en toda la etapa de cristalización es de 59466.43 kg de sacarosa.

Interpretación: Ejemplo (Tacho # 1) De toda la sacarosa que se pierde en la etapa de cristalización (59466.43 kg Sac), el 10.86 % (6460.35 kg Sac) se pierde es este equipo.

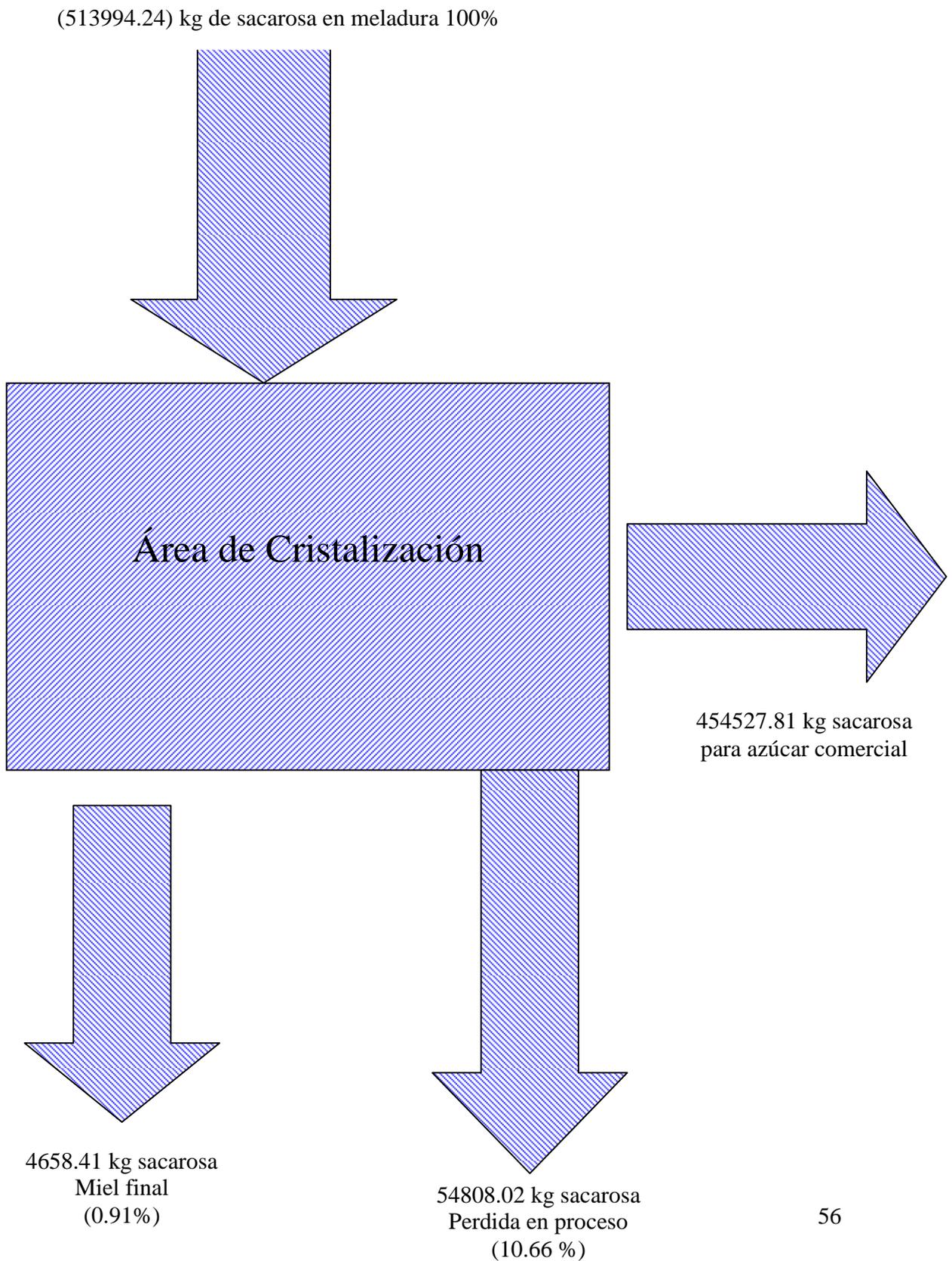
No existe ningún parámetro establecido, que rija el porcentaje permitido de perdidas de sacarosa en tachos, ya sean éstos, de primera, segunda o tercera.

Los porcentajes de perdidas, representados en el diagrama anterior, servirá de guía para posteriores estudios de perdidas en estos equipos. Estos porcentajes, se podrían disminuir en cuanto se controle mejor los parámetros de operación de estos.

Los parámetros de operación de estos equipos, determinaran un trabajo mas eficiente de estos, y a su vez provocar menores perdidas de sacarosa.

En el acápite de discusión de resultados, están reflejados los análisis de los parámetros de operación de estos equipos y el porque se sus problemas.

**Diagrama 1.3 Balance General de sacarosa en área de cristalización en periodo evaluado**



## Discusión de los resultados

Las pérdidas que ocurren en el procesamiento del jugo durante su transformación en azúcar se reportan principalmente como mieles finales (melaza), torta de filtro (cachaza) e indeterminados, según cita el manual para control químico del ingenio monte rosa 1999.

El área de cristalización es una de las más sensibles en aspectos de pérdidas de sacarosa, siendo una de las principales fuentes de pérdida, la producción de masa cocidas, en el Ingenio Monte Rosa, la masa cocida A es producida por los tachos 1, 2, 3 y 5 para los cuales, se hizo un análisis de pérdidas de sacarosa durante 51 días de la zafra 2003-2004.

En los equipos involucrados en este estudio están los filtros rotatorios y los tachos, en referencia a los filtros rotatorios al vacío, están provistos de manómetros de presión absoluta con rango entre (0 – 30) pulg Hg, para la medición del alto vacío y bajo vacío, termómetro con rango entre (0 – 150) °C para medir la temperatura del agua de lavado de la torta y un manómetro con rango entre (0 – 50) Puig para medir la presión del agua, las especificaciones de los filtros rotatorios al vacío están en la tabla No.2 ( ver anexos B).

Los diferentes tachos analizados, que procesan masas los tachos No 1, 2, 3,5 trabajan con los mismos parámetros de operación, ya que están destinados a trabajar con masa cocida de primera o A y sus parámetros son: presión de vapor (psi) 4 – 6, Presión de vacío (pulg. Hg) (25 – 26), Temperatura (°C) (60 – 65), Tiempo de cocción (hrs.) (2:00 – 2:30), como se puede corroborar en la tabla No.6 (ver Anexo B). Mientras que el tacho No 6 es el único provisto para operar con masas cocidas de B o masas de segunda y sus especificaciones de trabajo son: Presión de vapor (Psi) (4 – 6), Presión de vacío (pulg. Hg) (25 – 26), Temperatura (°C) (60 – 65), Tiempo de cocción (hrs.) (2:30 – 3:00) como se puede corroborar en la tabla No. 7 (ver Anexo B), y por fin el tacho No 4 que es el único que opera con masas de tercera o masas C y sus parámetros de operación son: Presión de Vapor (Psi) (4 – 6), Presión de Vacío (pulg. Hg) (25- 26), Temperatura (°C) (63 – 65), Tiempo de Cocción (Hr)) (4:00 – 4:30) como se puede corroborar en la tabla No. 8 (ver Anexo B).

Estos tachos se encuentran provistos de termómetros de esfera con rango entre (0 – 100) °C, para medir temperatura, manómetros de presión con rango entre (0 – 20) Lb.f./pulg<sup>2</sup> para la medición de la cantidad de vapor que se le suministra y manómetro de presión absoluta con rango entre (0 – 30) pulg. hg para medir el vacío de estos. En la tabla No. 5 (ver Anexo B) se presentan la clasificación de los tachos, al igual que sus dimensiones y el tipo de material que procesan.

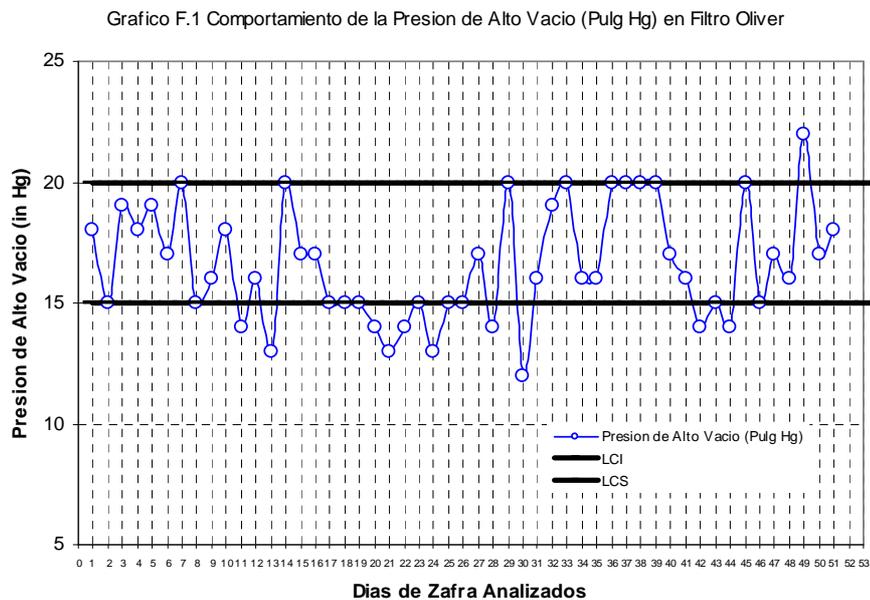
Los tachos son evaporadores de simple efecto que cristalizan la sacarosa y son calentados con vapor (manual para control químico del ingenio monte rosa 1999.), las especificaciones de los tachos están en la tabla No.5 (ver anexos B)

La evaluación de pérdidas de los equipos involucrados, permitió determinar los principales factores que influyeron de manera directa en las pérdidas de sacarosa que estos generan.

## Evaluación de pérdidas en la operación de filtración

### Filtro Oliver

Los parámetros de operación para filtros rotatorios al vacío que se utilizaron en el Ingenio durante la zafra 2003-2004, son valores establecidos por la gerencia de fábrica del ingenio (ver tabla No. 3, anexos B).



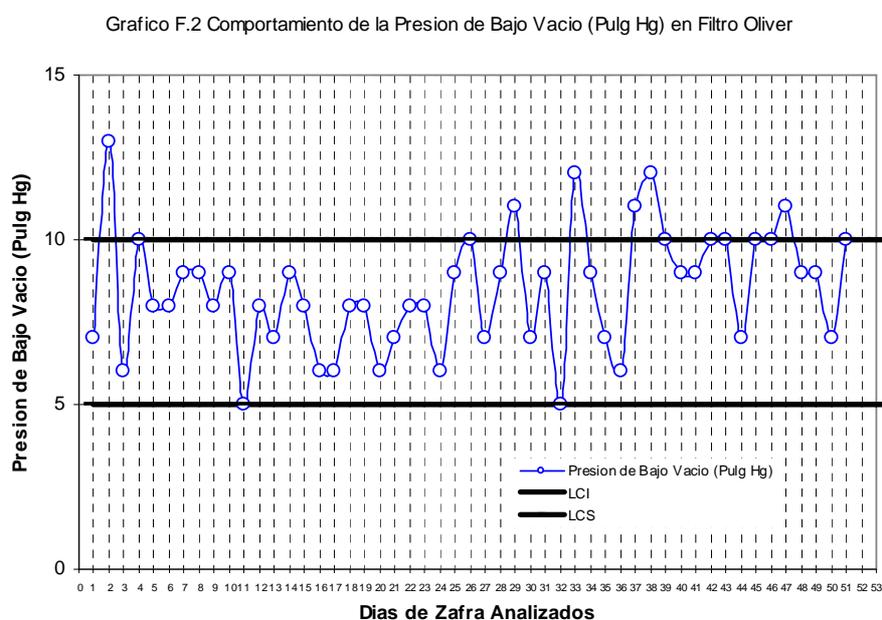
1.- En el monitoreo los datos de presión de alto vacío se mantuvieron dentro y por debajo de los límites de control establecidos, los cuales son de 15 – 20 pulg. hg respectivamente (ver tabla No.3, anexos B). Los resultados reflejan que el 94.12 % se encontraron dentro de estos límites y solo un 5.88 % están por debajo de los límite permitido encontrado. Este comportamiento puede apreciarse en el grafico F.1

Los datos encontrados por debajo del límite con un valor mínimo de 12 pulg. hg esto se considera problemas específicamente en el lavado de la torta del filtro y según Arca Tomo I 1984, las posibles causas que generaron esta situación son:

- Rotura de la Malla de Filtro
- Desperfecto en la bomba de vacío

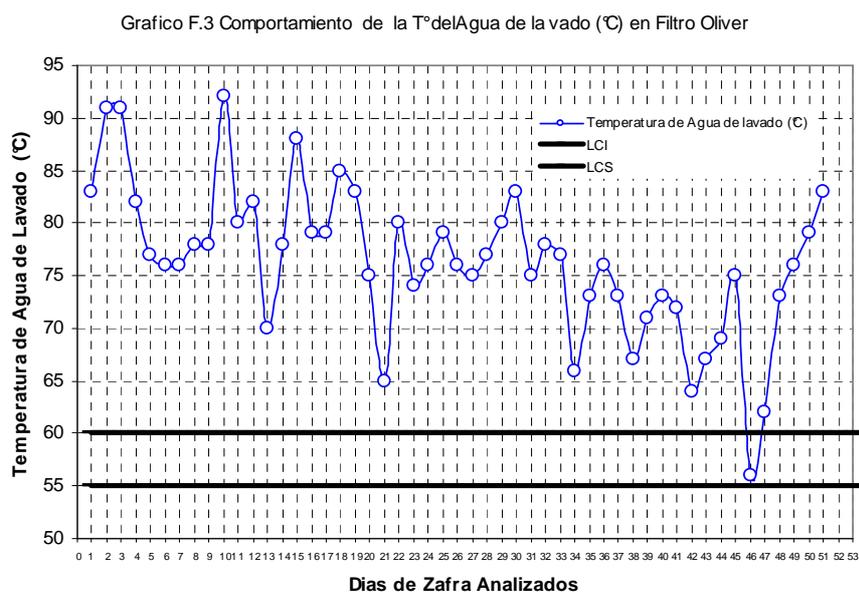
Se constató en el departamento de mantenimiento del ingenio que las bajas sufridas en el alto vacío, encontrando que este desperfecto se debió al desajuste de los conos de la bomba. Esto ocasionó un mal agotamiento de la sacarosa en la filtración de la torta.

2.- El comportamiento de la presión de bajo vacío cuyos límites de control son de 5 - 10 pulg. hg reflejo que el 11.76 % de los valores estuvieron por encima del límite superior representando valores que van desde los 10 y los 13 pulg. hg teniendo como máximo un valor de 13 pulg. hg y el 88.24 % de éstos estuvo dentro de los límites establecidos obteniendo un valor mínimo de 5 pulg. hg. (ver tabla No. 3, anexo B). Se puede apreciar en el grafico F.2 que este parámetro, no presentó problemas durante los días de análisis.



Según (Arca 1984), los límites de presión de bajo vacío para formar una torta (1/4, 1/2) pulgadas de espesor, están en rango de (10 – 15) pulg Hg, pero mediante la practica se comprobó que para obtener el grosor requerido de la torta, se necesitó presiones de bajo vacío entre (5 – 10) pulg Hg, (tabla No. 4, anexo B)

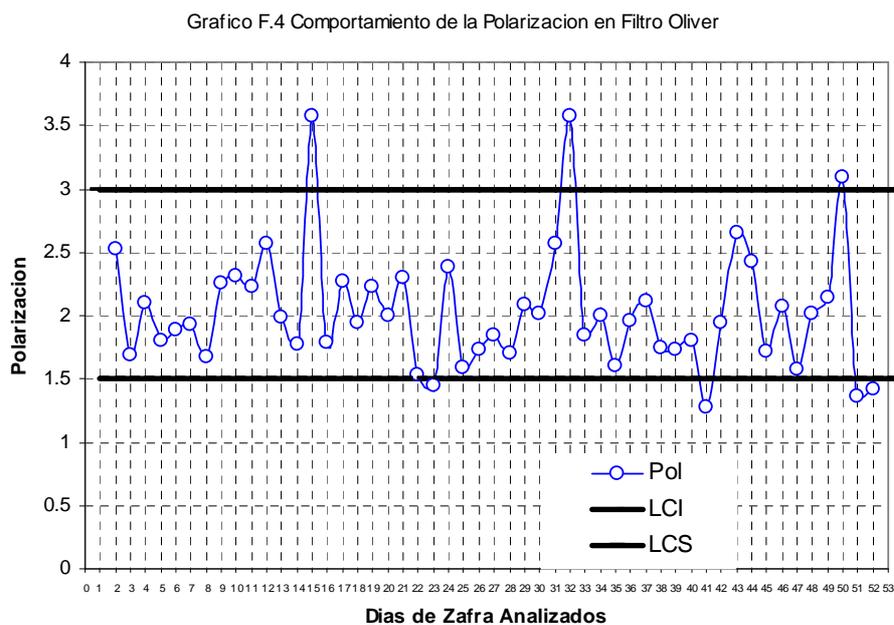
3.- Los valores de temperatura de agua de lavado, cuyos límites de operación son de 55 y 60°C (ver tabla No. 4, anexo B), se comportaron de forma tal, que el 98.04 % de los valores, representados con valores que van desde los 60 hasta los 92 °C como máximo, estuvieron por encima de los límites establecidos y solamente el 1.96 % representado por una temperatura de 56 °C se comportó dentro de ellos.



Los valores que están por encima del límite superior (98.04%), tuvieron su ventaja en que a una temperatura mayor de 60°C, la solubilidad de la sacarosa aumenta y por consiguiente se da un mejor agotamiento y la desventaja es que la cera de la caña se funde, provocando que áreas en las telas o mallas no se cubran de cachaza, debido a la alta concentración de ceras (Arca 1984).

Por lo otro lado, con temperatura por encima de 60 °C se extrae mayor cantidad de impurezas indeseables que afectaron todo el proceso de fabricación de azúcar (Manual de control general químico azucarero, ingenio Monte Rosa 1999).

4.- El comportamiento de la Pol, mostró que el 5.88 %, con 3 valores que van desde los 3.0 hasta un valor máximo de 3.6 de pol, se encontraron por encima, el 86.27%, con valores que van desde los 1.5 hasta 3 de pol se encontraban en los límites adecuados de pol, y el 7.84 %, con 4 valores de 1.4 y 1.5 de pol se encontraban por debajo de los límites establecidos respectivamente (ver tabla No. 3, anexo B)



Como puede verse en el grafico F.4, la polarización no presentó muchos problemas, ya que como muestra, solamente el 5.88 % estuvo por encima del límite de control.

El porcentaje que se comportó por encima del límite, fue causado por la baja que tuvo la presión de alto vacío en esos días, lo cual provocó un mal agotamiento de sacarosa en cachaza.

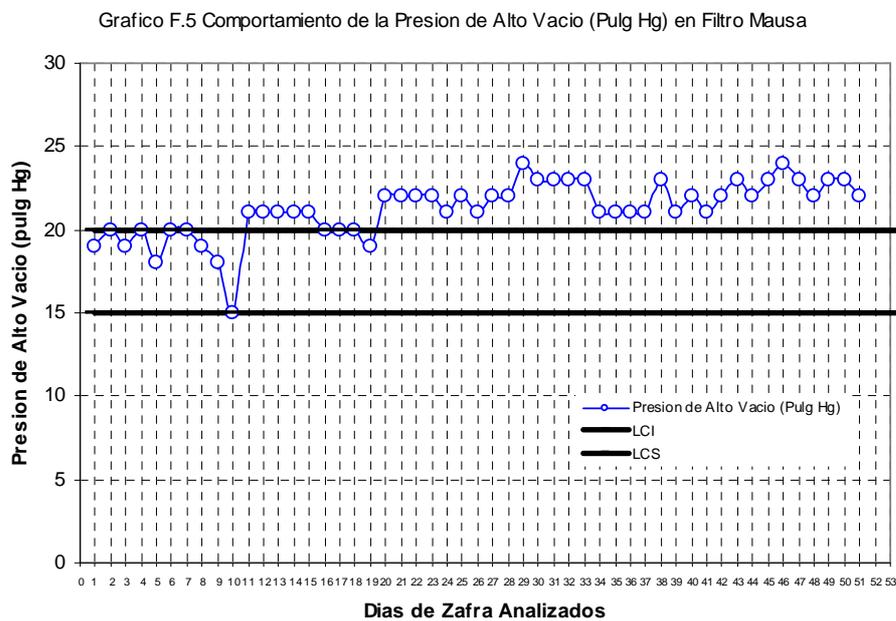
En general, el análisis de los principales parámetros de operación, para el filtro Oliver, se obtuvieron distintos comportamientos, de los cuales los que causaron un mal agotamiento fueron:

- La temperatura de agua de lavado
- Desperfectos mecánicos en la bomba de vacío

## Filtro Mause

El análisis de las condiciones de operación para el filtro Mause mostró lo siguiente:

1.- El comportamiento de la presión de alto vacío, mostró que el 66.67 %, 27.45 % y el 5.88 % se comportaron por encima, dentro y por debajo de los límites establecidos (ver tabla No. 3, anexo B).

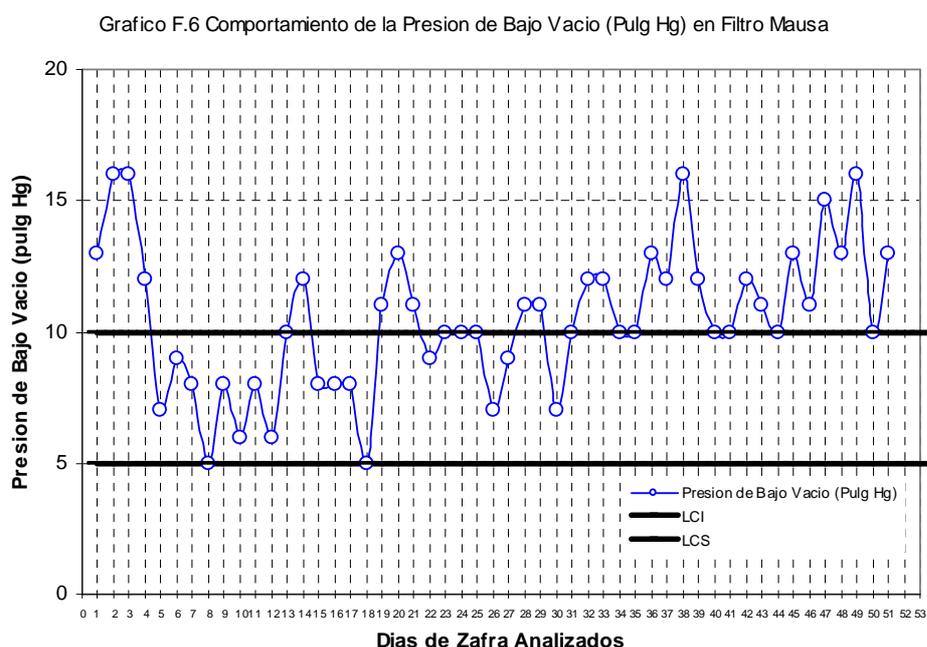


Al igual que en el filtro Oliver, el 5.88 % de los valores que se encontraron por debajo de los límites de control, se debió a los desperfectos de la bomba de vacío, causado por el desajuste de los conos, obsérvese grafico F.5.

Esta bomba cera el alto vacío para ambos filtros, de ahí la similitud en la caída del alto vacío.

2.- Los valores de la presión de bajo vacío se comportaron de tal forma, que el 47.06 % se encontró por encima del límite superior y el 52.94 % estuvo dentro de los límites establecidos (ver tabla No. 3, anexo B)

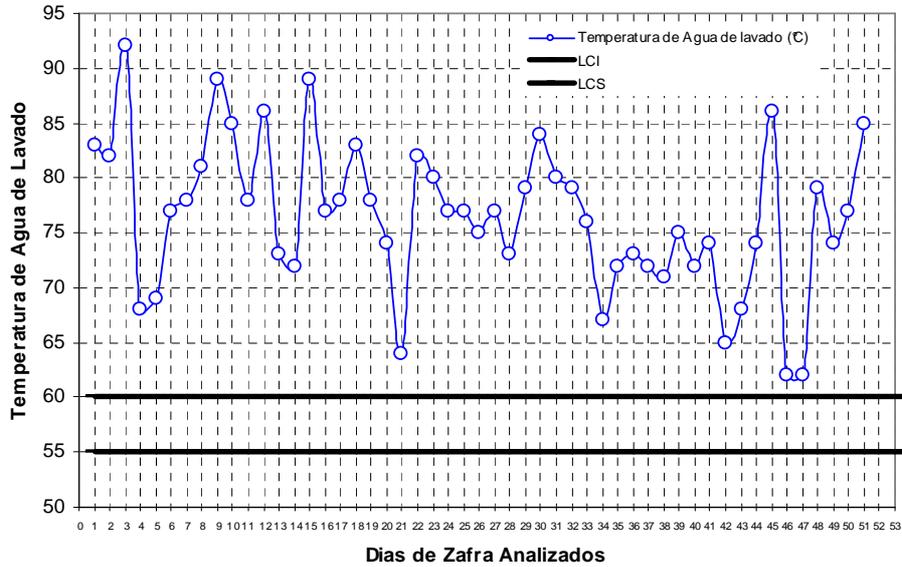
Como se aprecia en el grafico F.6, este parámetro no presento ningún tipo de problemas, porque opero de manera normal.



3.- El comportamiento de la temperatura de agua de lavado, mostró que el 100 % de los valores obtenidos se encontraron por encima del límite superior de control (ver tabla No. 3, anexo B)

Como puede apreciarse en el grafico F.7, este parámetro fue el que presento más problemas, debido a que la temperatura se comporto por encima del límite superior de control (60 °C)

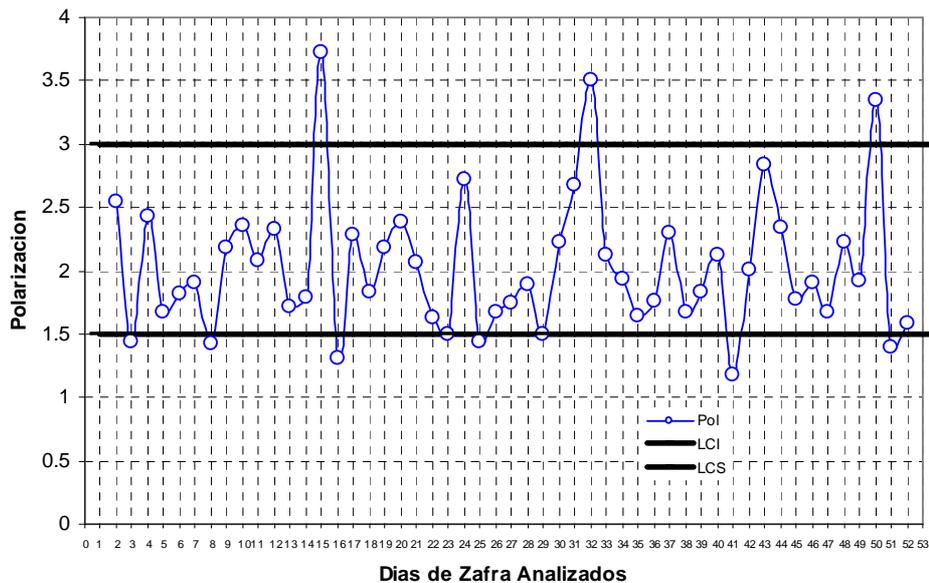
Grafico F.7 Comportamiento del Agua de lavado (°C) en Filtro Mausa



La explicación a este fenómeno, es similar a la del grafico F.3 para el filtro Oliver.

4.- El comportamiento de la polarizacion, mostró que el 5.88 %, 82.36 % y el 11.76 % se encontraron por encima, dentro y por debajo de los limites establecidos (ver tabla No. 3, anexo B)

Grafico F.8 Comportamiento de la Polarizacion en Filtro Mausa



En el grafico F.8 es evidente que la polarizacion, no presento muchos problemas, a excepcion el porcentaje que refleja por encima del límite superior de control (ver tabla No. 3, anexo B).

Esto fue causado por la baja que sufrió la presión de alto vacío, dando como resultado un mal agotamiento de la sacarosa en cachaza.

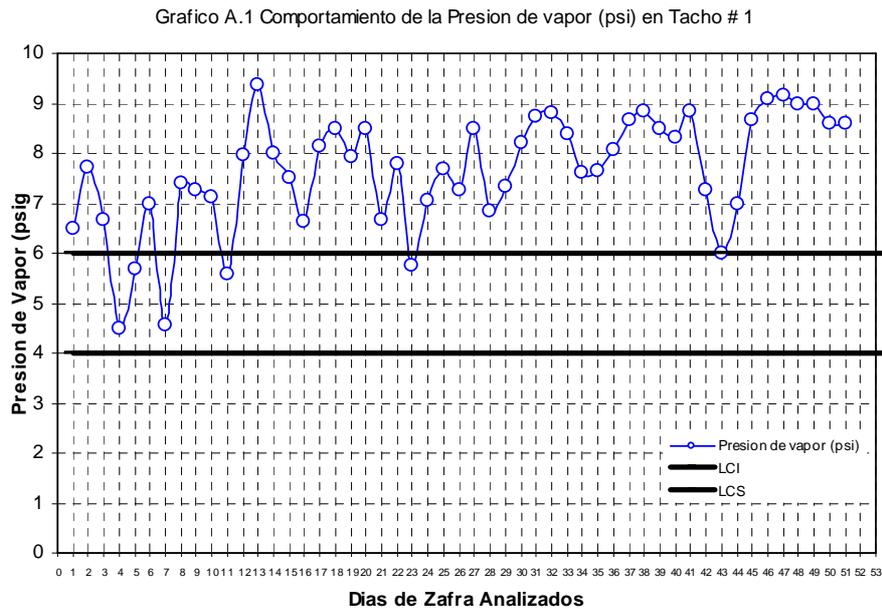
En general, el análisis de los parámetros de operación para este filtro, reflejo que los principales problemas de operación fueron: la temperatura de agua de lavado, al igual que los desperfectos mecánicos en la bomba de vacío.

De manera general, el análisis de los principales parámetros de operación, tanto para el filtro Oliver como para el Mause, evidenciaron que los más frecuentes problemas fueron: la temperatura del agua de lavado y los desperfectos mecánicos en la bomba de vacío. Estos trajeron como consecuencia problemas en el agotamiento de sacarosa en cachaza.

## Masa cocida A

### Tacho # 1

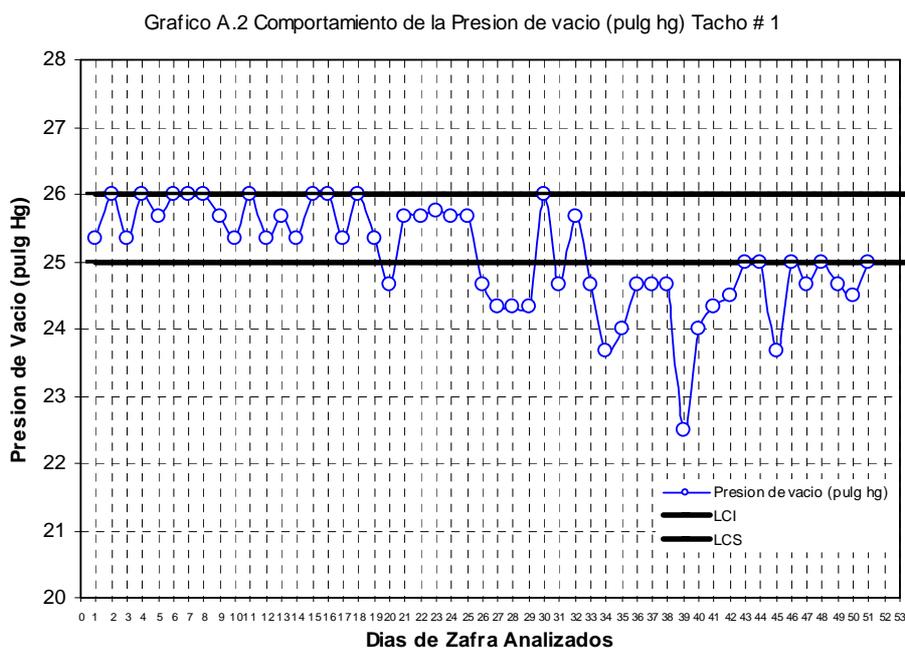
El análisis de las condiciones de operación del tacho # 1 mostró lo siguiente:



1.- Los datos de presión de vapor en los 51 días analizados durante la zafra 2003-2004 se mantuvieron por encima de los límites de control establecidos (ver tabla No.6, anexo B). El 88.24 % de los datos se mantuvieron por encima del límite de control superior, estos están representando un total de 45 datos de los cuales el mas alto es de 9.5 psig, y solo el 11.76 %, que representan solo 6 datos que se mantuvieron dentro de los límites de control, los cuales son 4 – 6 psig.

El comportamiento de estos datos se muestra en el grafico A.1, siendo este parámetro el que menos presentó problemas, ya que la generación de vapor vegetal produjo presiones por encima de lo establecido.

2.- En el grafico A.2 se presenta el comportamiento de la presión de vacío, para los días de muestreo analizados, dando como resultado que el 60.78 % de los valores que este representan 31 datos que se mantuvieron en el rango establecido que son de 25 – 26 pulg. Hg (ver tabla No. 6, anexo B) y el 39.22 % de los valores que representan 20 datos están debajo de los límites de control de trabajo.



La variación en la presión de vacío es un problema en la fabricación de azúcar debido a que una variación de ½ pulgadas en este es suficiente para causar la formación de falso grano, además provoca un recalentamiento en el tacho, disminución en la velocidad de evaporación y variación en el tiempo de cocción (Arca 1984).

Las posibles causas que provocan una baja en la presión de vacío según (Arca 1984) son:

- Temperatura del agua de inyección muy alta.
- Poco agua de inyección en el condensador.
- Entrada de aire en el tacho, tubos de vacío y condensador.
- Bomba de vacío defectuosa.
- Válvula de descarga del tacho defectuosa

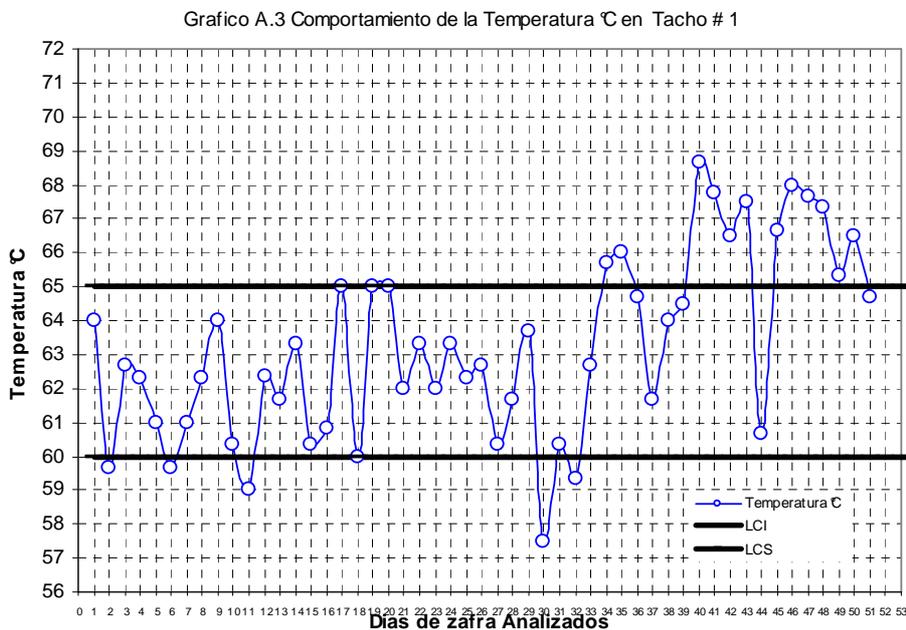
- Válvula de romper vacío defectuosa

De estas, las que mas influyeron en la caída de la presión de vacío fue:

- Poco agua de inyección en el condensador, debido a la poca capacidad de bombeo.

Todo esto provoco que el agotamiento de sacarosa dentro del tacho sea menor.

3.- En el grafico A.3, el análisis de los datos de temperatura, reflejo que el 39.22 % de los valores analizados representados por 15 datos dentro de los cuales el de mayor relevancia fue de 69 °C se encuentran por encima de los límites de control establecidos, los cuales pertenecen a 60 y 65° C. El 50.98 %, representado por 30 datos se encontró dentro de los parámetros y el 9.8 %, que representan tan solo 6 datos de los cuales el valor mas bajo que se obtuvo fue de 57.5 ° C por debajo de estos. (ver tabla No. 6, anexo B)



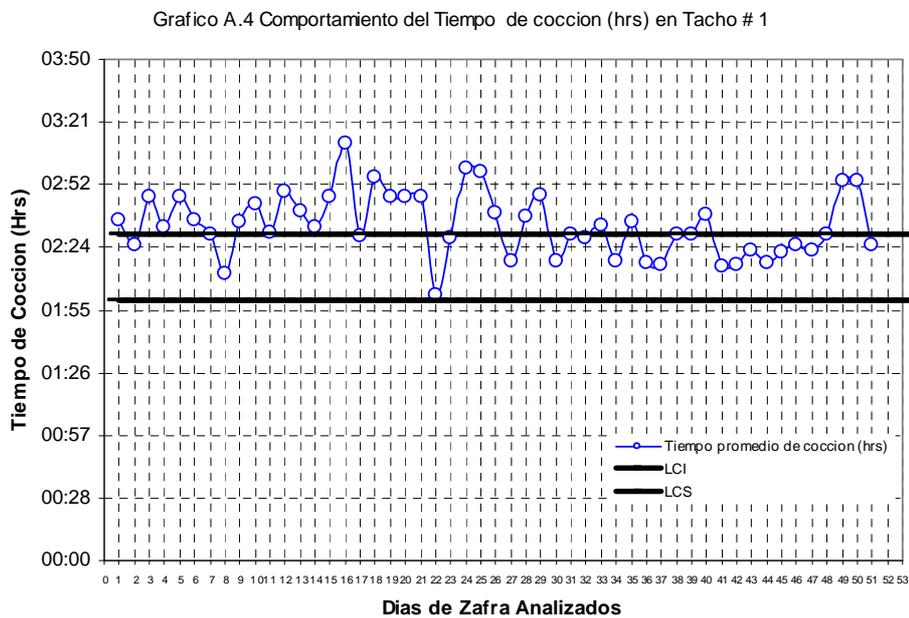
En la operación de tachos, la presión de vacío juega un papel fundamental es el factor que tiene mayor influencia en la temperatura de la masa cocida, ya que la presión de vacío, es

inversamente proporcional a la temperatura. A vacío mas bajo, la temperatura de la masa cocida aumenta y a vacío mas alto, la temperatura de la masa cocida disminuye (arca 1984).

El porcentaje que se encontró por encima del limite superior (39.22%) se debió al aumento de la temperatura, producto de una baja en la presión de vacío. La causa de esta baja en la presión de vacío, se debió a la poca agua de inyección en el condensador.

Estos problemas traen consecuencias, la fundición del grano, inversión del mismo y esto genera un mal agotamiento de la sacarosa.

4.- Otro parámetro analizado fue el tiempo de cocción, se puede observar en el grafico A.4 , que el 50.98 %, representado por 26 datos de los cuales el valor mas alto obtenido fue de 03 Horas con 12 min. De los valores se encuentran por encima de los límites establecidos por el ingenio y el 49.02%, representado por 25 datos de los cuales se encontraron dentro de dichos limites (ver tabla 8, anexo B)



El porcentaje que se encontró por encima del límite de control superior (50.98%), tuvo sus causas en:

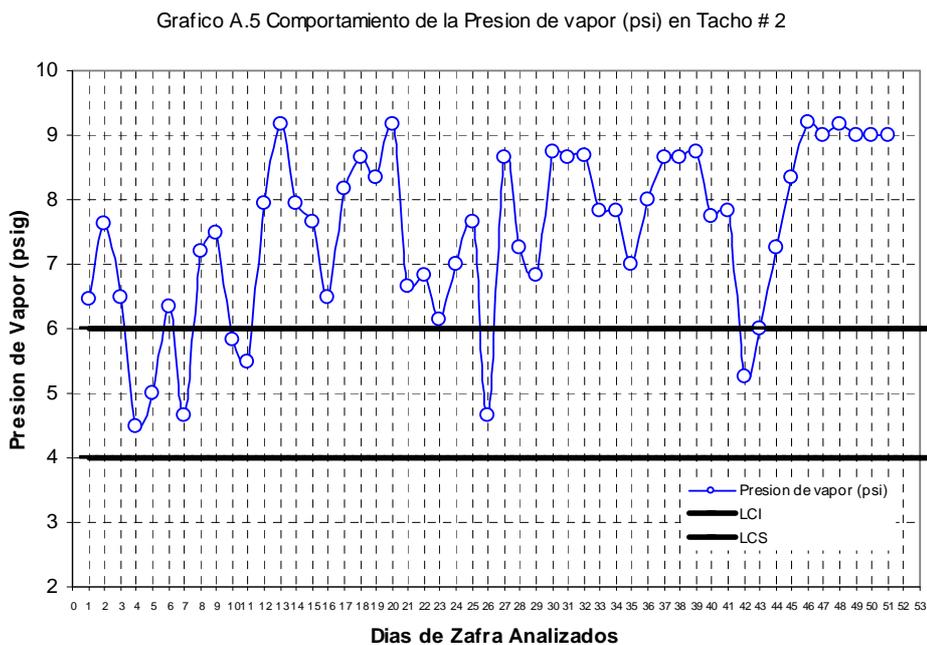
- Pesadez del tacho: La pesadez del tacho se aprecia cuando en él a pesar de buenas condiciones de presión de vacío, presión de vapor y temperatura, su operación es lenta, debido a incrustaciones que presenta en su interior. Estas incrustaciones son películas de caramelo transparente o materias extrañas de meladura (arca 1984).
- Baja pureza en los materiales alimentados al tacho (meladura, pie de templa). La baja pureza provoca que la templa se torne floja (exceso de agua), provocando un aumento en el tiempo de cocción.

En síntesis los problemas de operación que presentó este tacho fueron:

- Falta de agua de inyección
- Pesadez del tacho
- Alta temperatura
- Bajas purzas en los materiales alimentados

## Tacho # 2

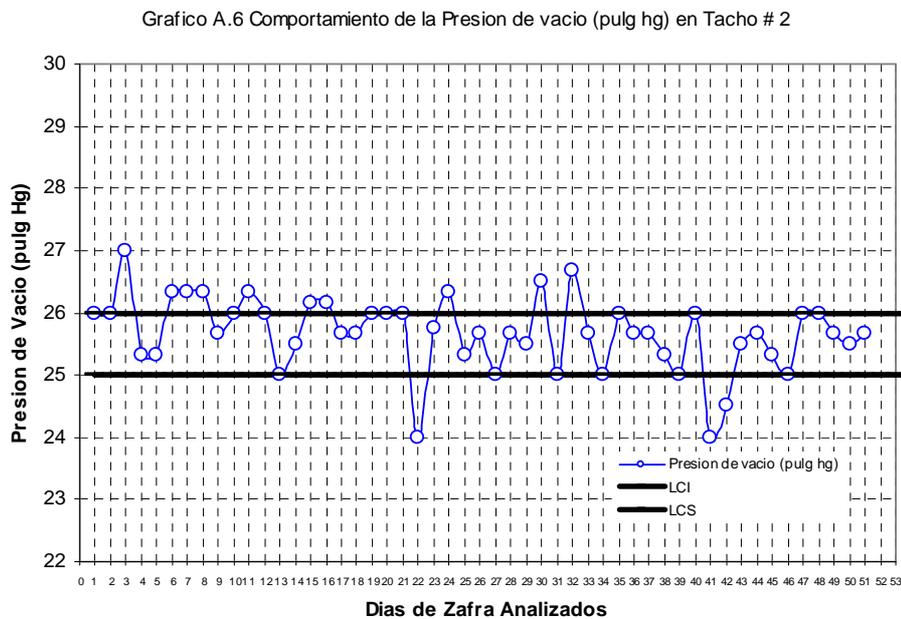
El análisis de los parámetros de operación del tacho # 2 mostró:



1.- Los datos de presión de vapor, estuvieron por encima y dentro de los límites establecidos que son de 4 – 6 psig, según los parámetros de operación del ingenio (ver tabla No. 6, anexo B)

Obsérvese en el grafico A.5 que el 84.51 % de los valores, representado por 43 datos de los cuales se encontró que el de mayor relevancia fue de 9.2 psig, se encuentran por encima del limite superior de control y el 15.69 %, que corresponden a 8 datos están dentro de los limites.

Este parámetro al igual que el tacho # 1, fue el que presento menos variación.



2.- El comportamiento de la presión de vacío dio como resultado, que el 74.51 % de los valores que corresponden a 38 datos estuvieron dentro de los limites establecidos, el 19.61% por encima, representado por 10 datos de los cuales se encontró un valor máximo de 27 pulg. hg y el 5.88 % por debajo de ellos de los cuales solo eran 3 datos encontrando un valor importante ya que fue el mas bajo con un 24 pulg. hg (ver tabla No. 6, anexo B).

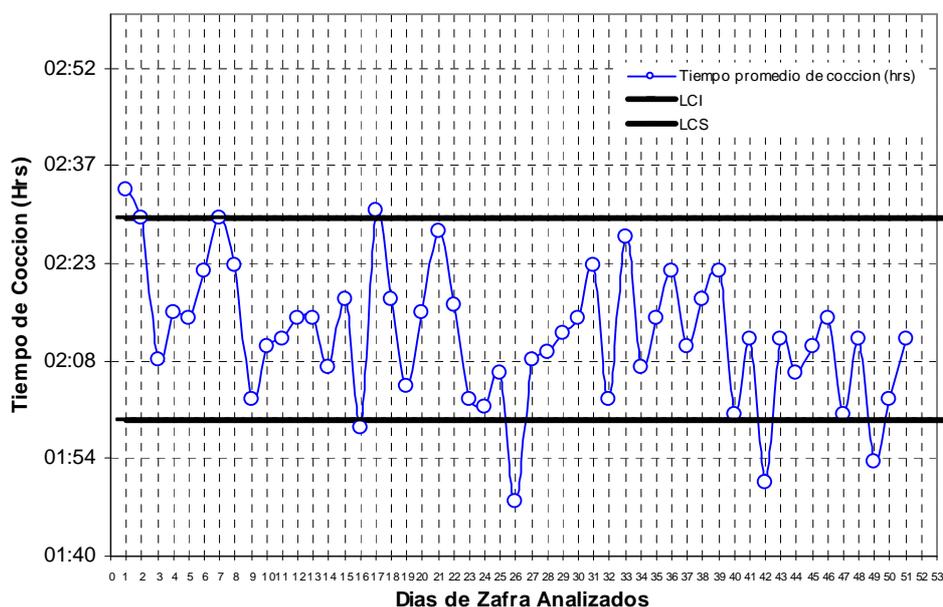
Estos porcentajes se pueden apreciar en el grafico A.6, la caída en la presión de vacío (5.88 %), se debió a la poca agua de inyección.

3.- En relación al tacho No.2, el análisis del comportamiento de la temperatura, no se llevo a efecto, debido a que los valores obtenidos no fueron confiables, ya que a presiones de 25-26 pulg Hg le corresponde una temperatura entre 60 - 65°C. Esta incongruencia se debió a la mala calibración del Termómetro por lo cual reportó lecturas falsas.

La mala calibración del Termómetro se constató en el departamento de mantenimiento del ingenio, por tanto no se presentaron ni discutieron esos datos.

4.- El Tiempo de cocción en los días analizados, grafico A.7, se comportó con un 5.88 %, representado por 3 datos de los cuales el mayor fue de 2.34 horas se encontraron por encima de los limites de procesos que corresponden a 2.00 y 2.30 horas. El 88.24 % que corresponden a 45 datos se encontraron dentro de dichos limites y un 5.88 % y por debajo de los limites de control respectivamente con otros 3 datos de los cuales el menor dato corresponde a 1.48 horas de proceso de dicho tacho. (ver tabla 6, anexo B)

Grafic A.7 Comportamiento del Tiempo de coccion (hrs) en Tacho # 2



Como puede observarse, el 5.88 % de los valores se encuentra por encima del límite superior, esto se debió a la baja presión en el tacho. Esto hizo demorar el tiempo de cocción. Este aumento en el tiempo provocó la fundición de granos de sacarosa, y a su vez provocó un mal agotamiento de la misma.

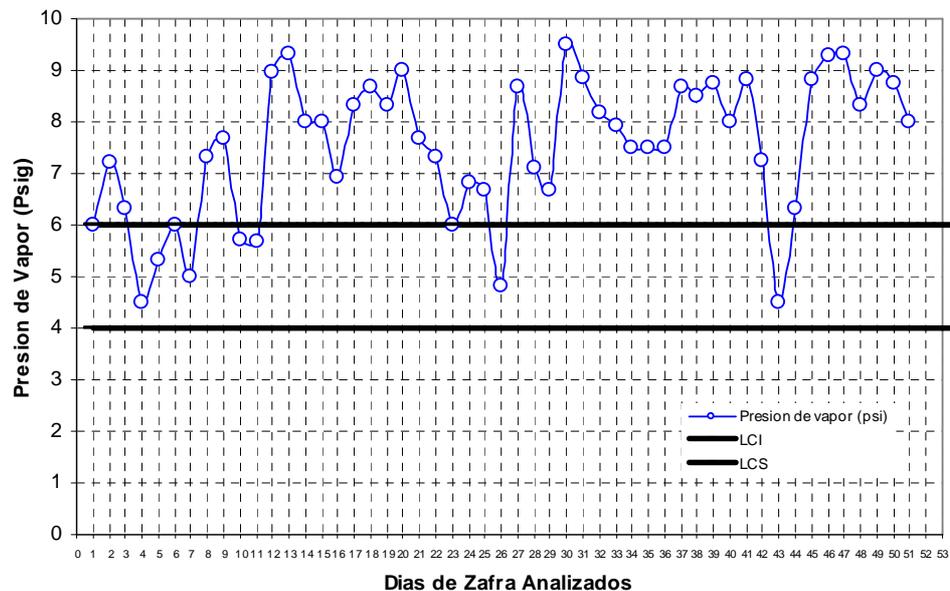
En resumen, el análisis de las condiciones de operación del tacho # 2, reflejaron que los principales problemas que se presentaron durante su operación fue:

- La mala lectura del Termómetro, el cual no fue cambiado durante los días analizados.
- La falta de agua de inyección para los días 22/02/04, 18/03/04 y 21/03/04
- La baja pureza de los materiales alimentados al tacho

### Tacho # 3

El análisis de los parámetros de operación del tacho # 3 durante los días de análisis mostró:

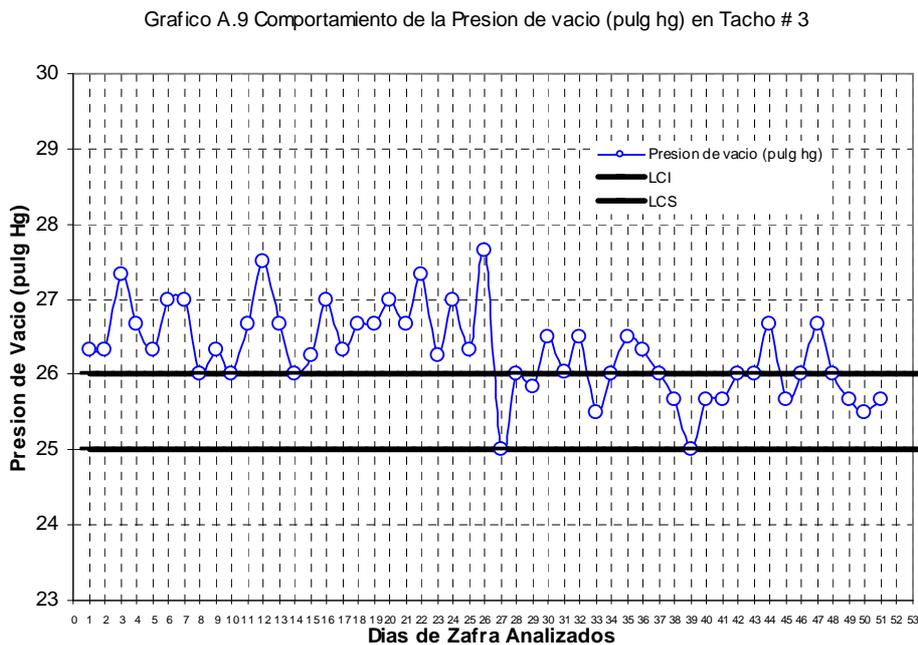
Grafico A.8 Comportamiento de la Presion de vapor (psi) en Tacho # 3



1. Obsérvese en el grafico A.8, el comportamiento de la presión de vapor, lo cual mostró que el 80.39 %, representado por 44 datos de los cuales el de mayor valor fue de 9.5 Psig se comportó por encima y el 19.61 % que refleja a 7 datos de los que se encuentran dentro de los límites de control que son de 4 – 6 Psig respectivamente (ver tabla 6, anexo B).

Este parámetro, no presentó ningún tipo de problema. Hubo excelente generación de vapor vegetal.

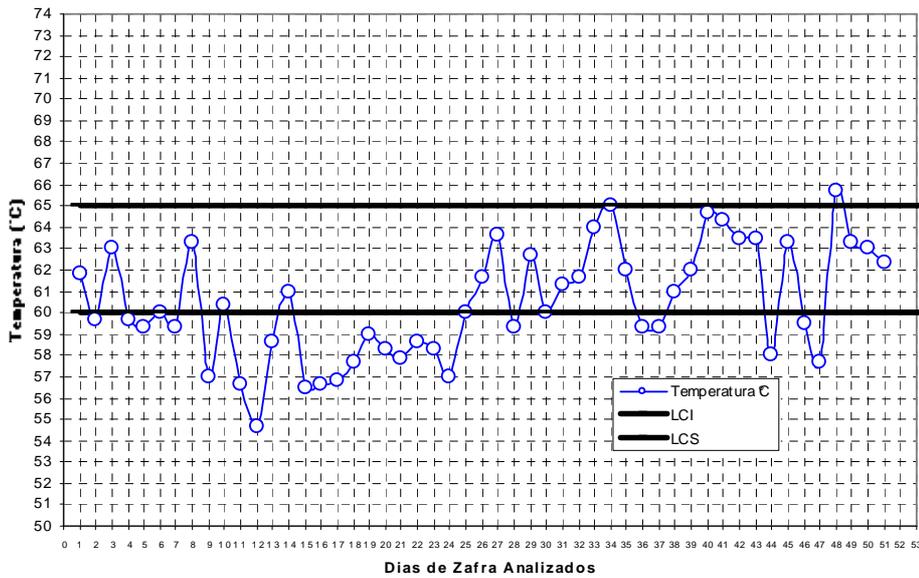
2.- Como puede apreciarse en el grafico A.9, la presión de vacío, tuvo un comportamiento tal que el 56.86 % de los valores que representan 29 datos de los cuales el de mayor valor fue de 27.65 pulg. Hg estuvo por encima de los límites de control que son de 25 – 26 pulg. hg (ver tabla 6, anexo B), y el 43.14 % se comportó dentro de ellos.



El porcentaje por encima del limite de control (56.86 %), mostró que este parámetro trabajó muy bien, es decir que el equipo no presentó problema con el agua de inyección

3.- En el grafico A.10, se observó que el análisis de los valores de temperatura reflejaron que el 1.96 %, que representa un único valor de 65.67 °C estuvo por encima, el 50.98 %, que representan a 26 datos que se comportaron dentro de los limites y 47.06 % que representan a 24 datos de los cuales el de menor valor fue de 54.67 °C se comportaron, por debajo de los limites de control establecidos que son de 60 – 65 °C respectivamente (ver tabla 6, anexo B)

Grafico A.10 Comportamiento de la Temperatura °C en Tacho # 3

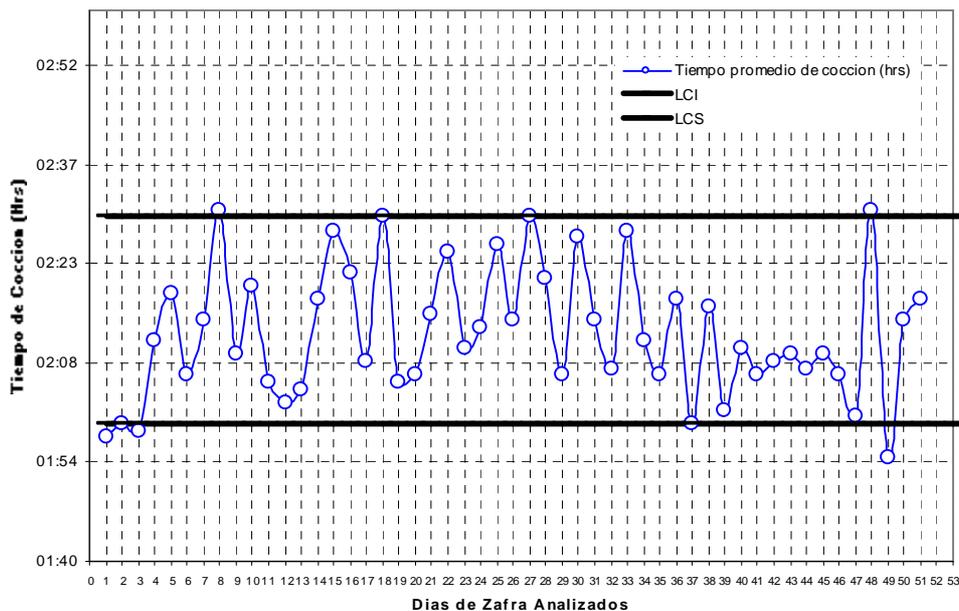


El porcentaje por debajo del limite inferior (47.06 %) es una muestra del comportamiento de la presión de vacío. Es decir que ésta es inversamente proporcional a la temperatura.

Este equipo no presentó problemas de temperatura en los días de análisis.

4.- Se puede observar en el gráfico A.11, que la mayoría de los valores analizados, para el tiempo de cocción de este tacho se comportaron dentro de los límites establecidos por el ingenio que son de 2:00 y 2:30 horas (ver tabla 6, anexo B).

Grafico A.11 Comportamiento del Tiempo de coccion (hrs) en Tacho #3



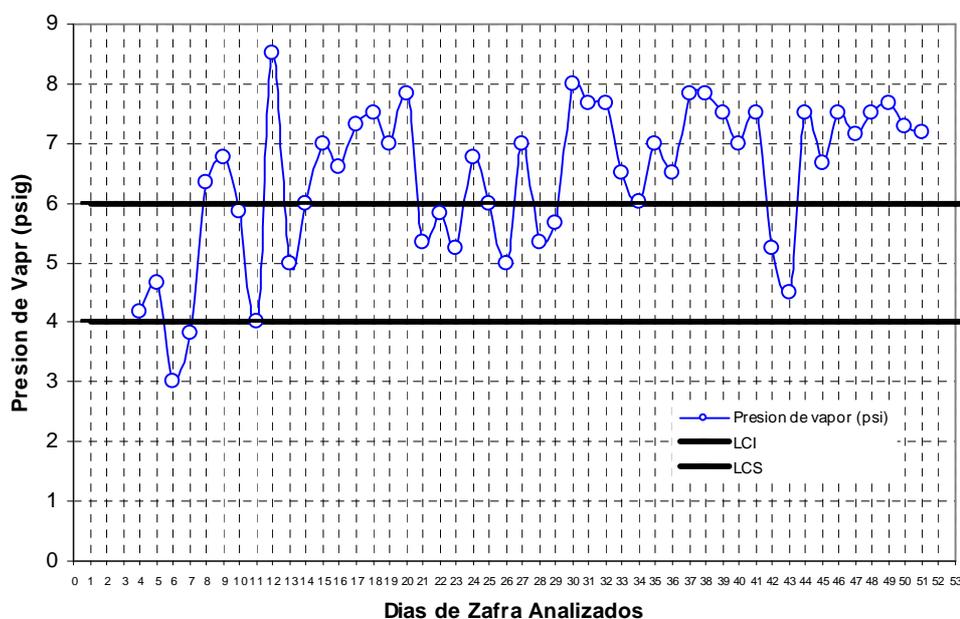
En síntesis, el análisis de los datos para este equipo, reflejaron que no presentó ningún problema de operación, siendo este tacho el que presentó el mejor agotamiento de sacarosa para tachos de masa cocida A.

### Tacho # 5

El análisis de los parámetros de operación para este tacho, se realizó en 48 días y no en 51, como los otros equipos, esto se debió a desperfectos mecánicos internos del mismo.

El análisis de estos parámetros se muestra a continuación:

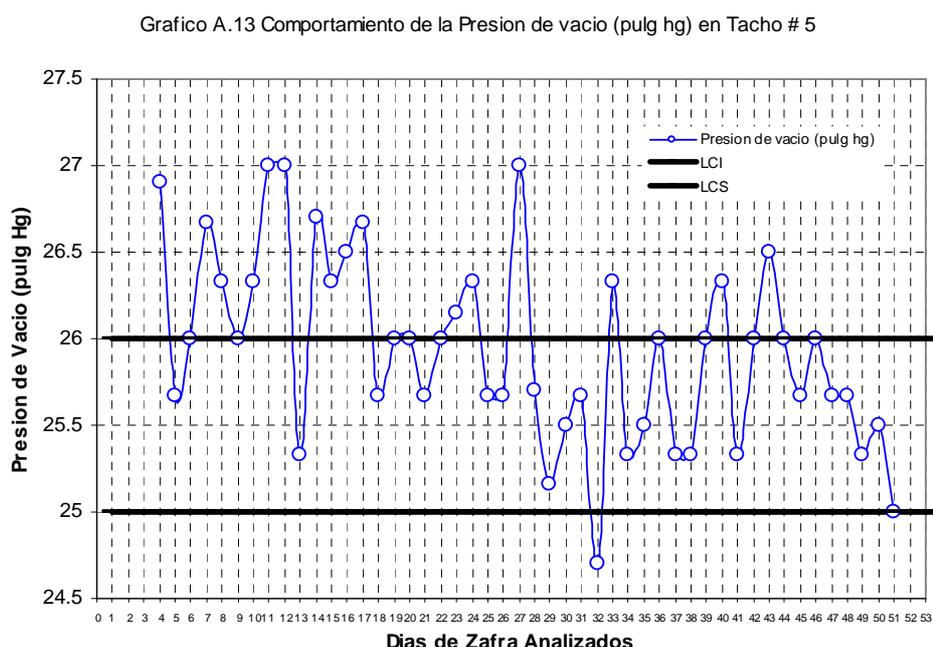
Grafico A.12 Comportamiento de la Presion de vapor (psi) en Tacho # 5



1.- En el grafico A.12, se puede observar que el 60.42 % que representan 30 datos de los cuales el de mayor valor fue 8.5 Psig, se encontraron por encima de los límites establecidos que son de 4 – 6 Psig y el 35.19 %, representado por 16 datos se encontró dentro de ellos y solo el 4.39 % que representa a dos datos se encontró por debajo de los límites (ver tabla 6, anexo B).

Se puede apreciar que este parámetro no presentó problemas por tener excelente generación de vapor vegetal.

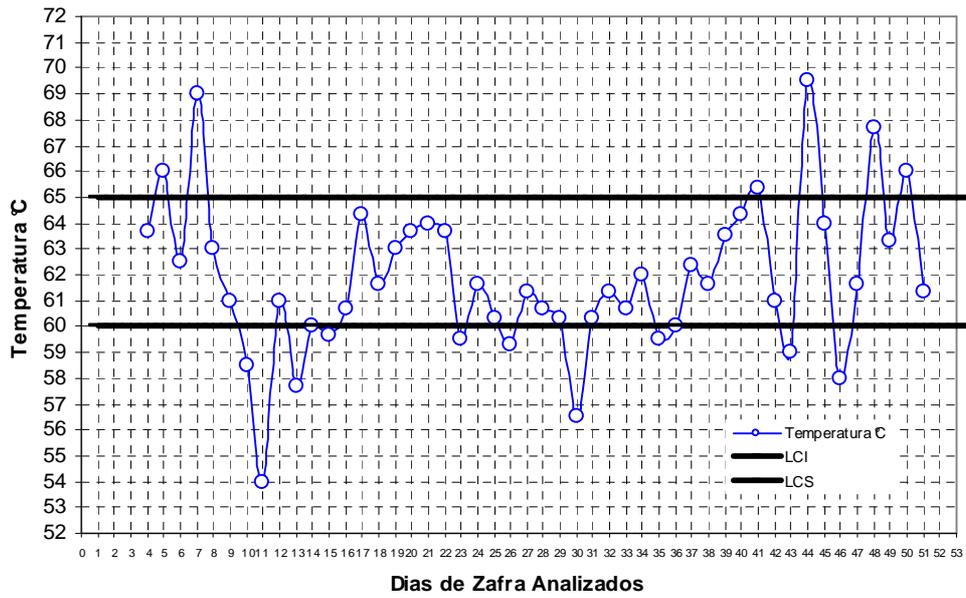
2.- El comportamiento de la presión de vacío, grafico A.13, mostró que el 33.33 % representado por 16 datos de los cuales el de mayor valor fue de 27 pulg. Hg se encontró por encima de los límites de operación que corresponden a 25 – 26 pulg. Hg, 64.58 % representado por 31 datos estuvieron dentro de los parámetros de operación y el 2.08 %, que representa un único dato con valor de 24.7 pulg. hg se comportó por debajo de los límites respectivamente (ver tabla 6, anexo B)



Este equipo no trabajó con agua de inyección para formar vacío, sino que trabajó con una bomba de vacío. Su funcionamiento consiste en extraer el vapor generado de la cocción de la masa o templa. Esta no presentó problemas durante los días analizados.

3.- El análisis de la temperatura, grafico A.14, que los porcentajes 12.5 %, que representan a 6 datos de los cuales el de mayor valor es de 69.5°C se encontró por encima de los límites de control que son de 60 – 65°C, el 66.66 % que representan a 32 datos se encontraron dentro de los límites de operación y el 20.83 % que representan a 10 datos de los cuales el valor mas bajo fue de 54°C se encontraron por debajo de los límites de operación (ver tabla 6, anexo B)

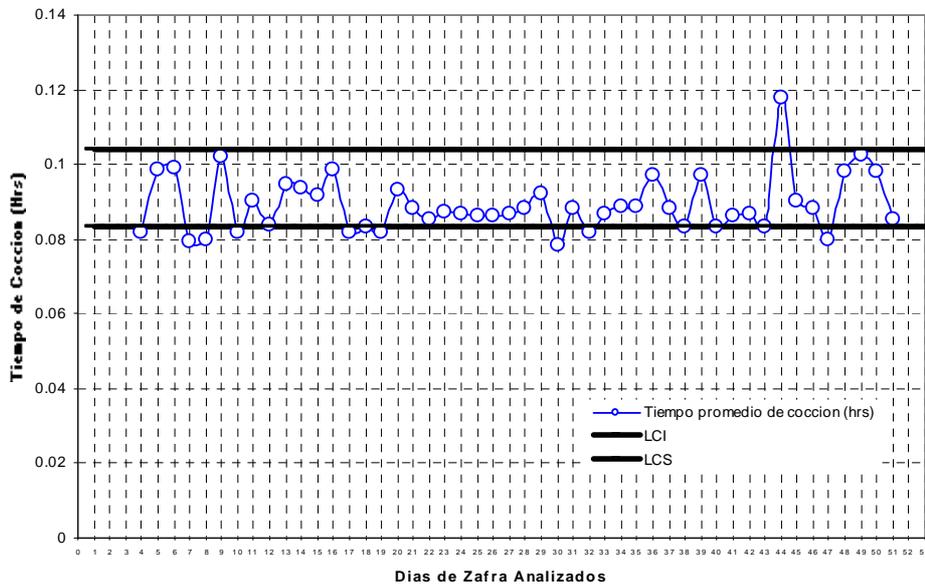
Grafico A.14 Comportamiento de la Temperatura °C en Tacho # 5



Este parámetro no presentó problemas, debido al buen comportamiento de la presión de vacío en el equipo.

4.- El comportamiento del tiempo de cocción se puede observar en el grafico A.15, este comportamiento reflejo que el 2.08 %, representado por un valor de 2:50 horas se comportó por encima de los límites de operación que son de 2:0 y 2:30 horas, el 79.17 %, que representa a 38 datos de los cuales están dentro de los parámetros de operación y el 18.75 % representado por 9 datos de los cuales se encontró un valor menor de 1:53 horas estaban por debajo de estos.

Grafico A.15 Comportamiento del Tiempo de coccion (hrs) en Tacho # 5



Como se observa en el grafico, el 2.08 % de los valores estuvo por encima del limite de control. Este problema tuvo sus causas en el fenómeno conocido como pesadez del tacho.

De manera general, el análisis de los parámetros de operación para este tacho, el que presentó poco problema fue el tiempo de cocción. De tal forma, el análisis de los tachos que producen masa cocida A, demostraron que los principales problemas que presentaron fueron:

- La baja presión de vacío, provocada por la falta de agua de inyección, lo que a su vez generó altas temperaturas en tachos.
- Pesadez del tacho
- Aumento del tiempo de cocción

### **Masa Cocida B**

Dado que el ingenio trabaja con un sistema de 3 masas, también se analizó el tacho # 6, el cual produjo masa cocida de segunda o masa cocida B.

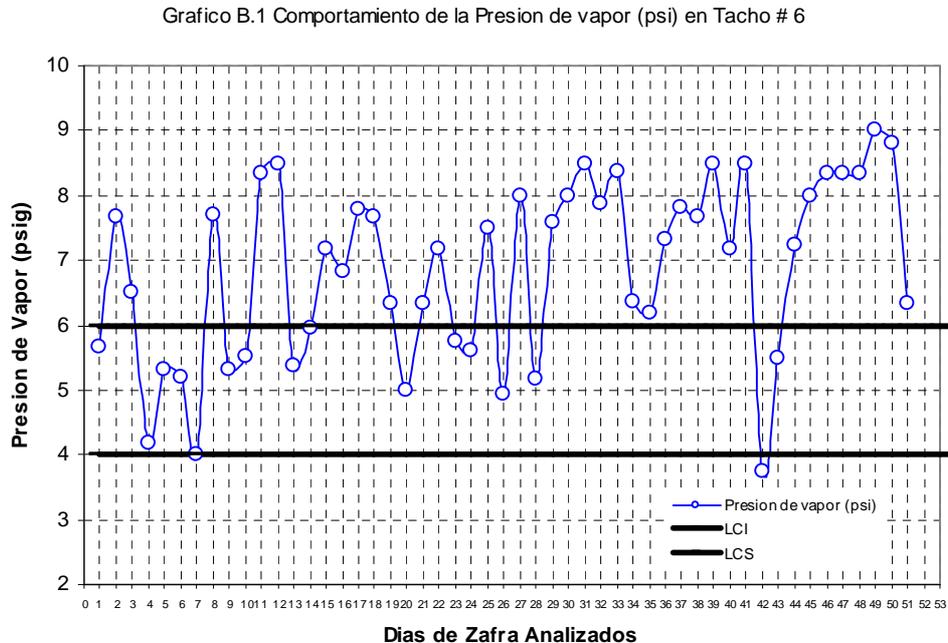
La masa cocida de segunda, es el producto del cocimiento de la mezcla de magma C y miel A, siendo estas el producto de las purgas de masa cocida C y masa cocida A respectivamente.

En la tabla No.7 (anexo B) se presentan los parámetros de operación para masa cocida B, durante los 51 días de análisis durante la zafra 2003 – 2004.

De manera similar, como se analizaron los datos de la masa cocida A, también se analizaron los parámetros de operación de masa cocida B en los días de análisis.

## Tacho # 6

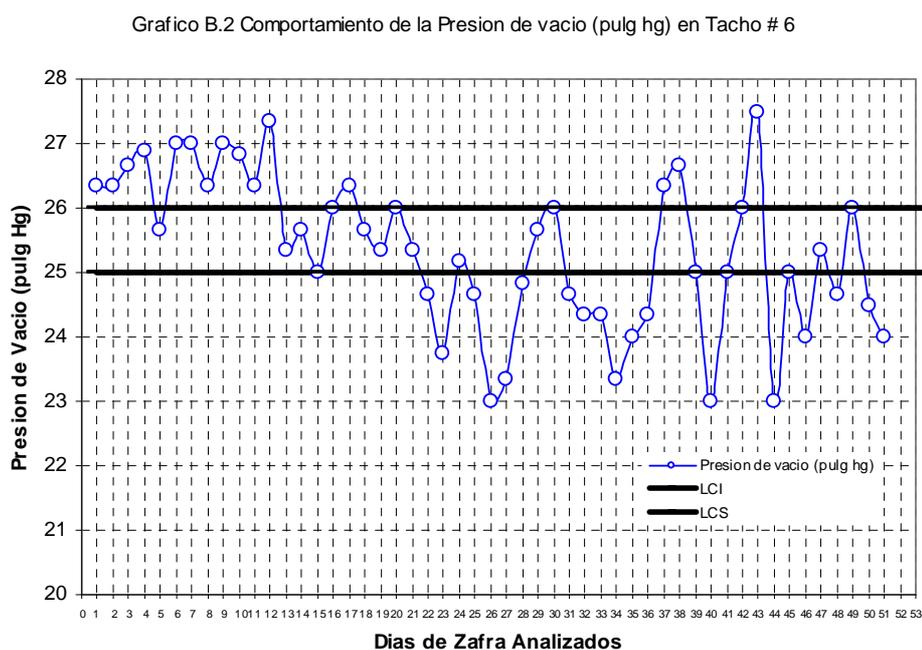
El análisis de las condiciones de operación del tacho # 6, durante los días de análisis reflejó:



1.- El comportamiento de la presión de vapor se mostró de forma tal que el 68.63 %, que representan a 35 datos estuvieron por encima de los límites de control que corresponden a 4 – 6 psi, de los cuales el de mayor valor obtenido corresponde a 9 psi y el 31.37 %, que representan al restante de los 51 datos que son 16 datos, de los cuales el de menor valor es de 3.75psi y además fue el único valor que estuvo por debajo del límite de control por lo cual no tuvo relevancia y se toman los 16 datos dentro de los límites establecidos respectivamente (ver tabla 7, anexo B)

Este comportamiento no presentó ningún tipo de problema, debido a que la generación de vapor vegetal, produjo presiones por encima de lo establecido, como se observa en el grafico B.1

2.- El comportamiento de la presión de vacío fue de forma tal que el 29.41 %, representado por 14, datos de los cuales el de mayor valor fue de 27.5 Pulg. Hg, estuvieron por encima de los límites de operación que corresponden a 25 – 26 Pulg. Hg, el 35.29 %, representado por 18 datos se encontraron dentro de los límites, y el 37.25 %, representados por 19 datos de los cuales el de menor valor obtenido fue de 23 pulg. hg se encontraron por debajo de estos límites (ver tabla 7, anexo B)



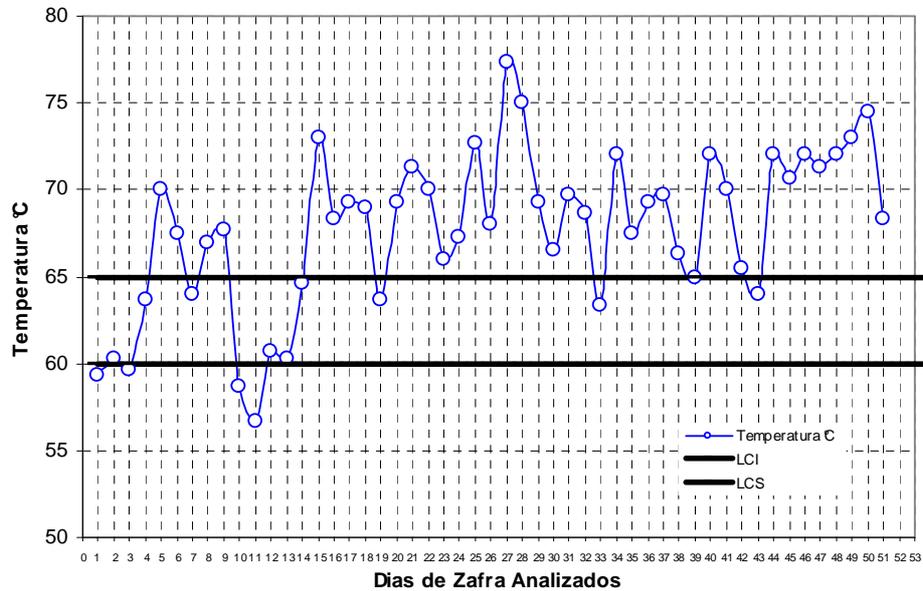
Este comportamiento puede apreciarse en el grafico B.2. Este mostró que el porcentaje que estuvo por debajo, presentó problemas y fueron ocasionados por:

- Falta de agua de inyección: Este problema se debió a los desperfectos mecánicos que presentaron las bombas de inyección, los desperfectos fueron constatados por el departamento de mantenimiento del Ingenio.

3.- El comportamiento de la temperatura, mostró que el 43.14 %, representado por 22 datos de los cuales el de mayor valor encontrado fue de 77.33 ° C, se encontraron por encima de los límites de operación establecidos que son de 60 – 65 ° C, el 49.02 %, que representa a 25 datos se encuentran dentro de los límites de operación, y el 7.84 %, representado por 4

datos de los cuales el de menor valor obtenido corresponde a 56.67 °C se encontraron por debajo de los límites establecidos respectivamente (ver tabla 7, anexo B)

Grafico B.3 Comportamiento de la Temperatura °C en Tacho # 6

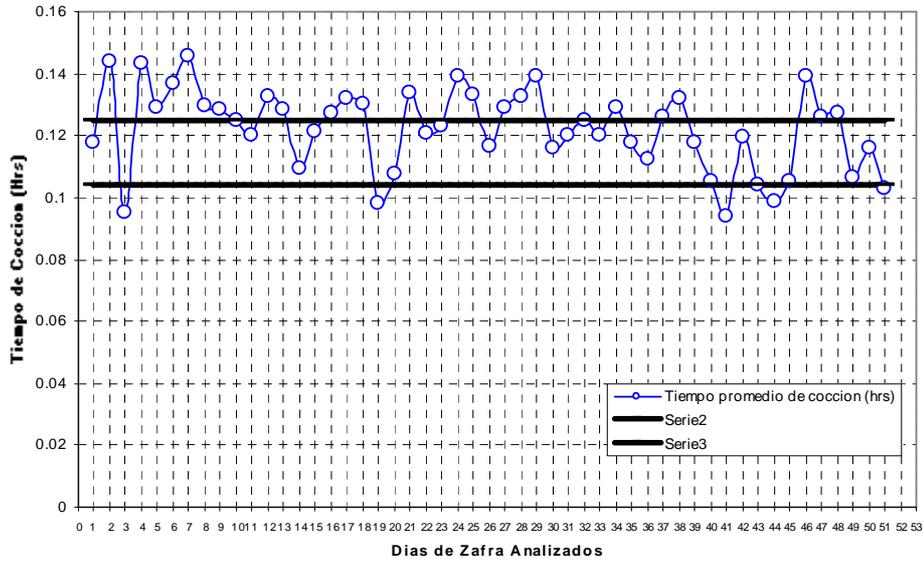


Este comportamiento puede apreciarse en el grafico B.3 y a su vez mostró que el 43.14 % fue un problema para este tacho, producto de la caída de la presión de vacío.

Este problema generó un recalentamiento en el equipo, y a su vez, la fundición de granos de sacarosa y por consiguiente un mal agotamiento de la misma.

4.- El comportamiento del tiempo de cocción, grafico B.4, se pudo observar que el 47.05 %, representado por 24 datos de los cuales el de mayor valor obtenido fue de 03:30 horas, se encontraron por encima de los límites de operación que corresponden a 2:30 – 3:00 horas. Mientras que el 43.17 %, representado por 22 datos se encontraron dentro de los límites y el 9.8 %, que representan los últimos 5 datos restantes del total de 51 se encontraron por debajo de estos límites obteniendo el valor mas bajo de 02:15 horas (ver tabla 7, anexo B)

Garfico B.4 Comportamiento del Tiempo de coccion (hrs) en Tacho # 6



El porcentaje que se encontró por encima de los límites presento problemas, debido a la pesadez del equipo.

Este problema trajo como consecuencia, fundición del grano de sacarosa y esto conlleva al mal agotamiento de la misma.

En general los parámetros que afectaron este equipo durante los días de análisis fueron la baja presión en el vacío, que trajo como consecuencia un aumento en la temperatura y la pesadez del equipo, lo que a su vez generó un aumento en el tiempo de cocción.

## Masa Cocida C

Como se ha mencionado anteriormente, el ingenio trabaja con un sistema de 3 masas. A continuación se presenta el análisis de los parámetros de operación para producir masa cocida C o masa de tercera.

La masa cocida C es el producto del cocimiento de la mezcla de meladura y miel B, siendo esta última, el producto de la purga de la masa cocida B o masa de segunda.

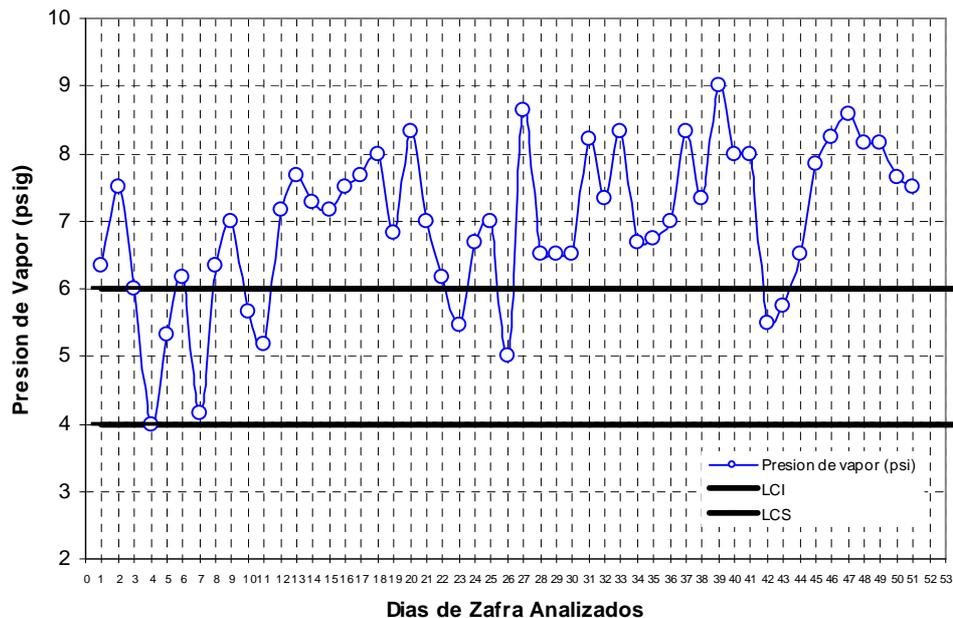
La masa cocida C es producida por el tacho # 4.

En la tabla No. 8 (anexo B), se presentan los parámetros para masa cocida C, que fueron analizados durante 51 días de la zafra 2003-2004

El análisis de las condiciones de operación para el tacho # 4 durante los 51 días de zafra analizado reflejó:

## Tacho # 4

Grafico C.1 Comportamiento de la Presion de vapor (psi) en Tacho #4



1.- El comportamiento de la presión de vapor, Ver grafico C.1, reflejó que el 80.39 %, representado por 41 datos de los cuales el de mayor valor es de 9 psi, estuvo por encima de los limites de operación que es de 4 – 6 psi. Y el 19.61 %, representado por 10 datos estuvieron dentro de los parámetros establecidos (ver tabla 8, anexo B)

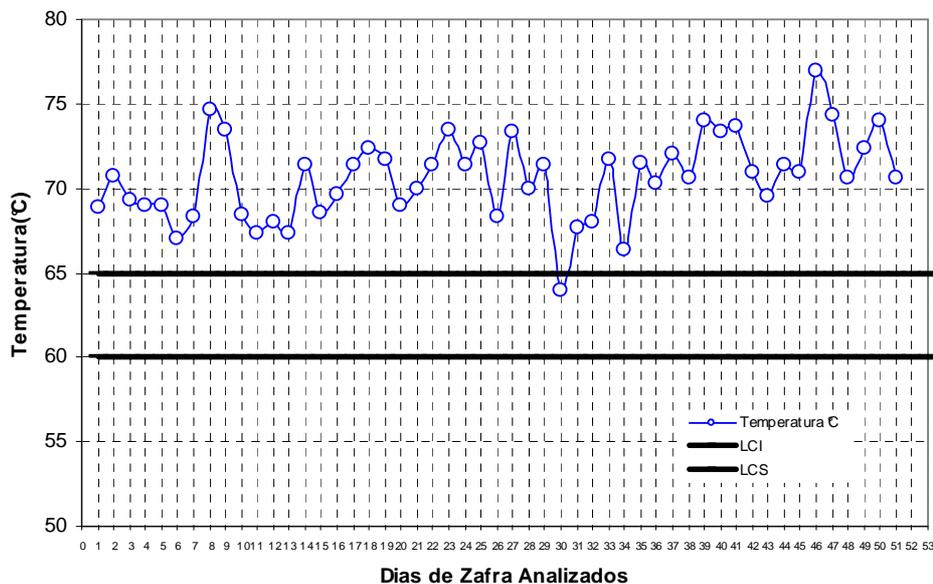
Este parámetro fue el mejor que se comportó, debido a que la generación de vapor vegetal produjo presiones dentro y por encima de lo establecido.

2.- En relación al tacho # 4, el análisis de los datos de la presión de vacío no se llevó a efecto, debido a que presiones entre (25 – 26 pulg Hg) le corresponde una temperatura entre (60 – 65 °C) esto se debió a la mala calibración del Termómetro. Esto fue constatado en el departamento de mantenimiento del ingenio.

Por lo tanto estos datos no se presentaron, ni fueron objeto de discusión.

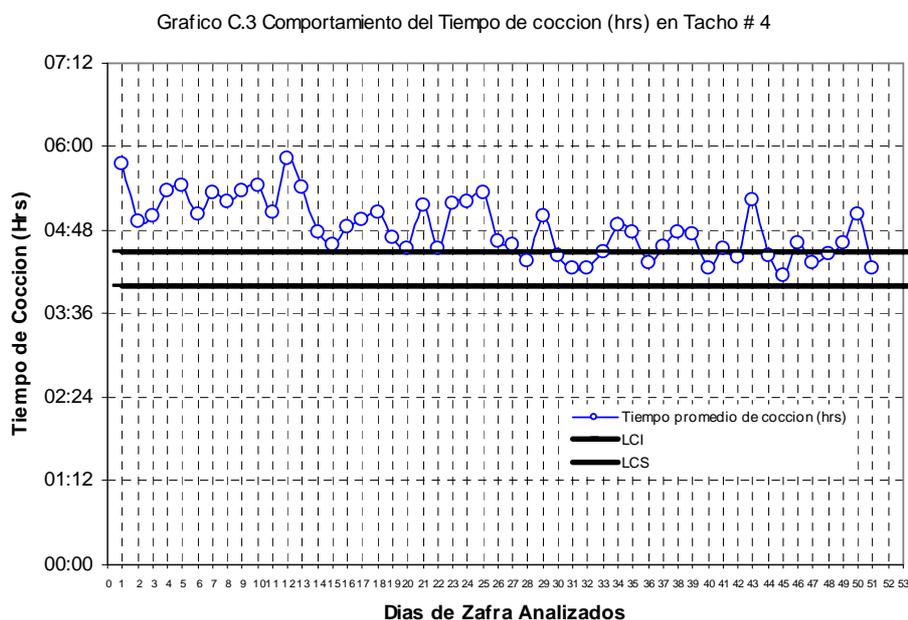
3.- El comportamiento de la temperatura, Ver grafico C.2, dio como resultado que el 98.04 % que representa a 50 de los 51 datos, de los cuales el de mayor valor encontrado fue de 77 °C, se encontraron por encima de los limites de operación que corresponden a 63 – 65 °C y el 1.96 %, que corresponde a 1 dato se encontró dentro de los límites establecidos respectivamente (ver tabla 8, anexo B)

Grafico C.2 Comportamiento de la Temperatura °C en Tacho # 4



La alta temperatura de la masa fue problema para este equipo, ya que trajo como consecuencia el recalentamiento del equipo y por consiguiente la fundición del grano de sacarosa. Esto provocó un mal agotamiento de la misma.

4.- El análisis del comportamiento del tiempo de cocción, reflejó que el 74.51 %, representado por 38 datos de los cuales el de mayor tiempo fue de 05. 50 horas estuvieron por encima de los parámetros establecidos que son de 04.00 – 04.30 horas. Y el 25.49 %, representado por 13 datos que se encontraron dentro de los límites de operación de manera respectiva (ver tabla 8, anexo B)



El comportamiento de este análisis puede apreciarse en el grafico C.3, como puede verse el mayor porcentaje reflejó problemas para el equipo debido a la pesadez del tacho, esto provocó la fundición del grano de sacarosa y la caramelización de la misma. Esto trajo como consecuencia el mal agotamiento de sacarosa en dicho equipo.

Del análisis del comportamiento de los parámetros de operación para el tacho # 4, se logró determinar que los parámetros que presentaron problemas fueron:

- La alta temperatura en dicho equipo
- Aumento en el equipo de cocción

## Conclusiones

Al analizar el presente estudio, sobre las pérdidas totales de sacarosa en miel final y cachaza en el ingenio monte rosa durante la zafra 2003-2004, en el cual se evaluó, los parámetros de operación de los equipos involucrados en el área de filtrado y cristalización, se llegó a la siguiente conclusión:

En el área de filtrado, los filtros rotatorios al vacío, presentaron problemas que asediaron durante todo el proceso evaluativo, estos fueron las roturas en las mallas, producto de los desajustes en el raspador, los desperfectos mecánicos de las bombas de vacío y la elevada temperatura del agua de lavado.

En el área de cristalización, en los tachos A, los parámetros que afectaron, fueron la baja en la presión de vacío, que se debió a la poca agua de inyección en el condensador, producto de la baja capacidad de bombeo de las bombas inyectoras. El aumento del tiempo de cocción, el cual fue provocado por la pesadez del tacho, la alta temperatura producto del escaso vacío que existió, la mala calibración de los instrumentos de medición (termómetros y manómetros) esto trajo como consecuencia, la mala lectura y a su vez un mal manejo de los parámetros.

En el tacho B, al igual que los tachos A, el problema se centró, en la baja presión de vacío, que originó un aumento de la temperatura. La pesadez del equipo, provocada por incrustaciones dentro de los tubos internos del equipo (calandria).

El tacho C, el principal problema que presentó durante el periodo de evaluación, fue la alta temperatura; originada por la falta de agua de inyección al sistema. Otro factor influyente fue el aumento del tiempo de cocción, originado por lo antes mencionado (pesadez de tacho).

En conclusión, todos los parámetros de operación analizados, tanto para el área de cristalización como para el área de filtrado y que presentaron problemas de operación generaron pérdidas de sacarosa en sus equipos.

En el área de cristalización, la mayor cantidad de pérdidas de sacarosa estuvieron reflejadas durante el proceso de cristalización y no en la miel final. El balance de materiales es concluyente, al demostrar que las mayores pérdidas se dan en los equipos de cristalización y principalmente en el tacho #4, es decir que el 100 % (59466.43 kg) de sacarosa que se pierden en toda la etapa de cristalización, el 92.17 % (54808.02) se pierde en los equipos cristalizadores y el 7.83 % (4685.41 Kg. Sac) se pierde en miel final.

El balance general de sacarosa en el área de cristalización, mostrado en el diagrama 5.1, el flujo total de meladura que representa el 100 %, es el resultado de la suma de la meladura entrante a los tachos de primera y la meladura entrante al tacho #4.

De toda la sacarosa en meladura que entró al proceso para su agotamiento, en el área de cristalización, se perdieron aproximadamente 60000 kg de sacarosa. Esto equivale a perder 15 kg de sacarosa por tonelada de caña molida por día.

## Recomendaciones

Con los diferentes análisis hechos a los distintos parámetros de operación de los equipos que involucran el área de filtrado y cristalización y con lo concluido por éstos, se proponen las siguientes recomendaciones para reducir las pérdidas de sacarosa y a su vez reducir las pérdidas de dinero.

- Cambiar las bombas existentes por bombas de mayor capacidad para mantener una fluidez basta de agua de inyección en los condensadores de los tachos.
- Darle una calibración sistemática a los termómetros y manómetros.
- Lavar el tacho o hervirlo con el tiempo requerido.
- Tener un mayor control sobre los parámetros de operación
- Implementar supervisiones sistemáticas
- Implementar una corriente alterna de agua fría para reducir la temperatura de agua de lavado o elevar los atomizadores.
- Darle un tratamiento a la cachaza para su aprovechamiento.

## Bibliografía

Álvarez S Alejandro, **Las pérdidas de Sacarosa en la fabricación de Azúcar de caña**, San Miguel de Tucumán, Argentina, 1980.

Arca P Manuel, **Haciendo Azúcar, Filtros de Cachaza**, Volumen I, Acra Corporación, Miami Florida; USA, 1983.

Arca P Manuel, **Tachos Volumen II**, Acra Corporación, Miami Florida, USA, 1986

Arca P Manuel, Haciendo Azúcar, **Cristalizadores, Volumen IV**, Acra Corporación, Miami Florida, USA, 1988

Acra Corporación, **Las pérdidas de Azúcar son dinero**, Miami Florida, USA 1986

Buenaventura E. Carlos, **Manual de Laboratorio para la industria Azucarera**, Primera Edición, Cali, Colombia, TECNICAÑA, 1989

Batole Eduardo, **La cristalización del Azúcar**, compañía azucarera Salvadoreña, S.A Abril 1996.

Chen CP James, **Manual del Azúcar de Caña**, XI Edición, Editorial Limusa, S. A, México, 1991

Clark J A, **El Proceso de Fabricación de Azúcar Crudo en los tachos** , editorial Pueblo y Educación , Primera Edición, La Habana Cuba, 1970.

Coultate Tom, **Manual de Química y Bioquímica de los Alimentos**, Segunda Edición, Editorial Acribia, S.A, España, 1996.

FAO/OMS, **Los Carbohidratos en la Nutrición Humana**; Ginebra, 1979.

Hugot E, **Manual para Ingenieros Azucareros**, Compañía Editorial S. A Quinta Edición, México, 1978.

Hugot E, **Handbook of Cane Sugar Engineering**, Tercera Edition, Elsevier Science Publishes, N Y USA, 1986.

Robienson David, **Bioquímica y Valor Nutritivo de los alimentos**, Editorial Acribia, España, 1991

Valiente Barderas Antonio, **Diccionario de Ingeniería Química**, Editorial Alambra, Primera Edición, México, 1990.

# **Anexo “A”**

**Descripción de los Métodos de análisis  
Efectuados en el Departamento de Control  
de Calidad**

## **Descripción de los Métodos de Análisis Efectuados en los Dpto. de Control de Calidad**

### **Determinación de sólidos solubles totales (°Brix) para masas cocidas, magma y mieles A y B**

- Hacer dilución de 1 a 1 en peso (agua y masa cocida)
- Agitar la solución durante 5 Minutos
- Vertir la solución en una probeta de 1000 ml e introducir hidrometro
- Leer °Brix

### **Determinación de sólidos solubles azúcares (Pol) para masa cocidas, Magmas y Miel A y B**

- Pesar 26 g de solución
- Vertir la solución en un balón de 200 ml
- Agregar sub acetato de plomo (3-5 ml)
- Aforar hasta los 200 ml
- Filtrar la solución
- Introducir la solución en el polarímetro
- Leer el pol (°Sacarimetro)

### **Determinación de (°Brix) para Meladura**

Se lee directamente del refractómetro, que es el equipo utilizado para medir la cantidad de sólidos presentes en una solución.

### **Determinación de Pol en meladura**

Se determina de manera similar a magmas y mieles

### **Determinación de °Brix y Pol en miel final**

- Hacer dilución 1 a 1 en peso (Agua Y miel Final)
- Agitar durante 10 minutos
- Verter solución en probeta de 250 ml e introducir hidrometro
- Leer °Brix
- Aforar a 200 ml y agregar 3 ml de sub acetato de plomo
- Filtrar solución
- Tomar 50 ml y añadir 5 ml de ácido acético
- Agitar y dejar en reposo durante 5 minutos
- Leer Pol Sacarímetro

### **Determinación de pureza para masas, magma, meladura y mieles**

#### **Refractómetro**

$$\text{°Brix Corregido} = (\text{°Brix}) + ((\text{Temperatura} - 20) (0.03)) \quad \text{Ecuación A.1}$$

$$\text{Pol Corregido} = (\text{Pol})((1 + 0.000255) (\text{Temperatura} - 20)) \quad \text{Ecuación A.2}$$

$$\text{Pureza} = \frac{\text{Pol Corregido}}{\text{°Brix Corregido}} \quad \text{Ecuación A.3}$$

## **Hidrometro**

$$^{\circ}\text{Brix Corregido} = (^{\circ}\text{Brix}) + ((\text{Temperatura} - 20)) * 0.067 \quad \text{Ecuación A.4}$$

Pol Corregido = Igual que el refractómetro

Pureza = Igual que el refractómetro

El procedimiento antes descrito, al igual que las ecuaciones de corregido están dadas Por (ICUMSA 1984) Comisión Internacional para Métodos Uniformes de Análisis de Azúcar.

### Determinación de Pol en Cachaza

- Pesar 25 g de cachaza
- Agregar 3 gotas de subacetato de plomo
- Aforar hasta 100 ml
- Filtrar la solución
- Introducir muestras al polarímetro
- Leer Pol

La Ecuación para calcular el Pol corregido es la Ecuación A.2 dada por (ICUMSA 1984)

# **Anexo “B”**

**Tablas de característica y parámetros de  
operación de equipos**

**Tabla 1: Características de equipos en estudio**

<b>EQUIPOS</b>	<b>PARAMETROS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>NO. DE DATOS</b>
Filtros Rotatorios	Presión Alto Vacío	Puig	Cada 4 horas	573
	Presión Bajo Vacío	Puig		
	T° Agua Lavado	°C		
Tachos A, B, C	Presión de vapor	psig	Cada descarga	1179
	Presión de vacío	Pulg. de Hg.		
	Temperatura	°C		
<b>MUESTRA</b>	<b>PARAMETROS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>No. DE DATOS</b>
Masa Cocida A	°Brix, Pol, Pureza	°Brix, Pol, Pureza	Cada descarga	1195
Masa Cocida B				351
Masa Cocida C				233
Miel A	°Brix, Pol, Pureza	°Brix, Pol, Pureza	Cada 4 horas	289
Miel B				322
Miel Final				289
Magma B				270
Magma C				290
Cachaza				Pol

**Tabla 2: Características, dimensiones y superficies de filtros rotatorios al vacío**

<b>Filtros</b>	<b>Características</b>		<b>Dimensiones tambor (pie)</b>		<b>Superficie filtrante (pie<sup>2</sup>)</b>
	<b>Cantidad de Telas</b>	<b>Tamaño de Telas (pulg)</b>	<b>Diámetro Del tambor</b>	<b>Longitud Del tambor</b>	
Oliver	32	19.75*84.75	8	14	337.6
Mausa	32	19.75*96.75	8	16	386.3

**Tabla 3: Parámetros de operación para filtros rotatorios al vacío**

PARÁMETROS	FILTRO OLIVER Y MAUSA
Presión de alto vacío (pulg Hg)	15 – 20
Presión de bajo Vacío (pulg Hg)	5 – 10
Temperatura de agua de lavado (°C)	55 – 60
Polarizacion (Pol)	1.5 - 3

**Tabla 4: Presiones de bajo vacío**

PRESION DE BAJO VACIO (PULG HG)	ESPESOR DE TORTA (PULGADA)
7.5	0.31
10	0.50
8	0.38
9.3	0.44

**Tabla 5: Especificaciones de tachos**

Equipos	Número	Capacidad de trabajo (pie <sup>3</sup> )	Masa obtenida	Diseño de calandria	Nº de tubos	Diámetro del cuerpo (pie)	Diámetro de calandria (pie)
Tacho	1	960	A	Flotante	498	12.5	8.66
Tacho	2	660	A	Fija	488	11	9.16
Tacho	3	900	A	Flotante	498	12.5	8.66
Tacho	4	700	C	Fija	683	13	12
Tacho	5	1038	A	Fija	578	14	12.33
Tacho	6	1500	B	Fija	810	17.5	14.25

**Tabla 6: Parámetros de operación para tachos de MCA**

PARAMETROS	TACHO # 1	TACHO # 2	TACHO # 3	TACHO # 5
Presión de vapor (psi)	4 – 6	4 – 6	4 – 6	4 – 6
Presión de vacío (pulg.Hg)	25 – 26	25 – 26	25 – 26	25 – 26
Temperatura (°C)	60 – 65	60 – 65	60 – 65	60 – 65
Tiempo de cocción (hrs.)	2:00 – 2:30	2:00 – 2:30	2:00 – 2:30	2:00 – 2:30

**Tabla 7: Parámetros de operación para el tacho # 6 de MCB**

PARAMETROS	TACHO # 6
Presión de vapor (Psig)	4 – 6
Presión de vacío (pulg Hg)	25 – 26
Temperatura (°C)	60 – 65
Tiempo de Cocción (Hr)	2:30 – 3:00

**Tabla 8: Parámetros para masa cocida C**

PARAMETROS	TACHO # 4
Presión de Vapor (Psig)	4 – 6
Presión de Vacío (pulg Hg)	25 – 26
Temperatura (°C)	63 – 65
Tiempo de Cocción (Hr)	4:00 – 4:30

**Tabla 9: Datos de entrada para tachos A, B, C**

DATOS DE ENTRADA	MCA	MCB	MCC
1. Volumen Inicial del pie (pie <sup>3</sup> )	953.50	423.78	355.15
2. Volumen Final de Templa (pie <sup>3</sup> )	1412.59	1145.61	980.69
3. Tiempo de Cocción (horas)	2:00 – 2:30	2:30 – 3:00	4:00 – 4:30
4. Presión de Vapor (Puig)	4 - 6	4 – 6	4 – 6
5. Presión de Vacío (pulg Hg)	25 - 26	25 - 26	25 - 26

MCA. Masa cocida A

MCB: Masa cocida B

MCC: Masa cocida C

**Tabla 10: Algoritmo de Calculo para MCA, MCB, MCC**

BASE DE CALCULO	MCA	MCB	MCC
1. Peso de Materiales Inicial (kg)	39150	17400.00	17400.00
2. Agua evaporada en materiales inicial (kg)	1262.90	1108.11	848.47
3. Peso final de la Templa (kg)	55474.20	44821.79	38569.56
4. Peso del Material Alimentado (kg)	27260.00	41697.54	32857.67
5. Agua Evaporada en Material Alimentado (kg)	9672.90	13167.64	10839.64