

UNIVERSIDAD DEL VALLE
DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

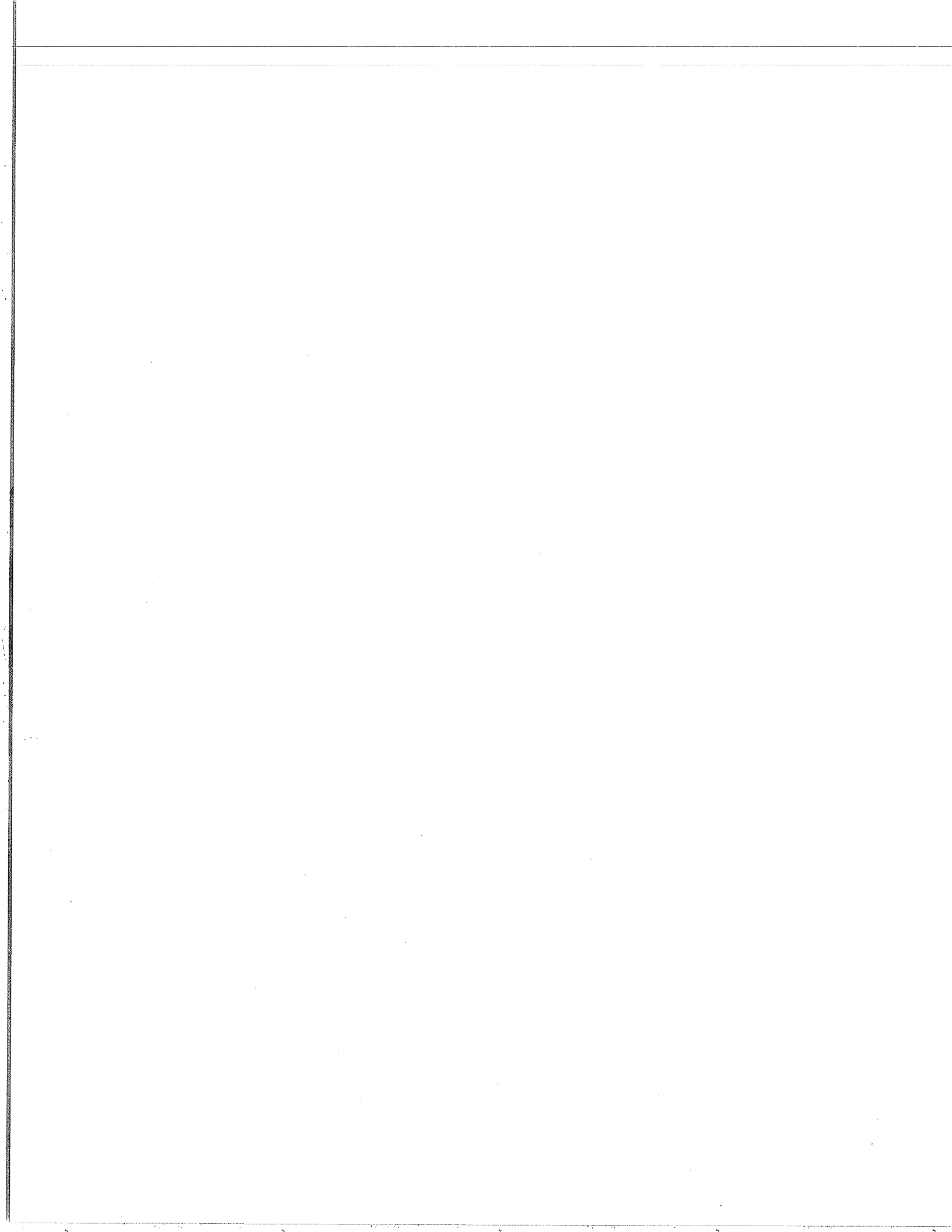


Excolencia que trasciende

**Descripción y análisis desde el punto de vista
de automatización y modelos de control
de los procesos involucrados
en la producción del azúcar**

Trabajo de investigación presentado por
Julio Ismael Vásquez Vargas
para optar al grado académico de
Licenciado en Ingeniería Electrónica

Guatemala
1998



**Descripción y análisis desde el punto de vista de
automatización y modelos de control de los procesos
involucrados en la producción del azúcar**

UNIVERSIDAD DEL VALLE
DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades



Excelencia que trasciende

**Descripción y análisis desde el punto de vista
de automatización y modelos de control
de los procesos involucrados
en la producción del azúcar**

JULIO ISMAEL VÁSQUEZ VARGAS

Guatemala
1998

Vo. Bo.:

(f) Manuel A. López V.
Dr. Ing. Manuel Antonio López Valdés

Tribunal Examinador

(f) Manuel A. López V.
Dr. Ing. Manuel Antonio López Valdés

(f) 
Ing. Víctor Hugo Véliz Méndez

(f) 
Ing. Rodolfo Koenisberger Badrian

Fecha de aprobación: Guatemala, 10 de diciembre del 2009

PREFACIO

Conforme pasan los años de todo estudiante, mucho del esfuerzo de la mente y el cuerpo se concentran en poder absorber de nuestro medio, clases, profesores, actividades y compañeros todas aquellas experiencias y conocimiento académico que en la vida nos servirán para hacer de nosotros profesionales de éxito que contribuyan en parte al desarrollo de nuestra nación. Una vez terminada esta etapa tan importante en la vida, es deseo de todo graduando dejar alguna huella en la institución que lo forjó, ya sea directamente como catedrático o indirectamente como un buen profesional, siguiendo siempre los valores de ética y excelencia académica que fueron inculcados desde el primer día.

Este trabajo de graduación es resultado del esfuerzo conjunto de la Universidad del Valle de Guatemala y el Ingenio Santa Ana, en el cual mediante un intercambio de conocimientos se dio la oportunidad de hacer un estudio bajo el punto de vista de sistemas de control de los procesos que componen la producción de azúcar. Este esfuerzo también incluyó varios aportes académicos y capacitación a varios profesionales de esta institución. En mi caso, el aporte final fue un documento que fue entregado al Ingenio Santa Ana cuyo objetivo era la documentación de sus procesos. Todos estos documentos son parte fundamental de este Trabajo de Graduación. El estudio fue hecho en sitio, en el cual con la guía de los diferentes supervisores de producción se fueron estudiando todos los procesos desde el ingreso de los camiones con Caña de Azúcar hasta el empaque final.

Adicionalmente quiero agradecer, primero a Dios por haberme permitido terminar este trabajo de graduación, a mis padres por apoyarme durante toda mi carrera y haberme enseñado todos los valores y guías para haberme convertido en la persona que soy hoy, a mi esposa, entonces novia, que me apoyó durante los últimos años de mi carrera y durante el tiempo que duró el trabajo de graduación, a mis hijas que me llenan de felicidad cada día y me motivan a ser cada vez mejor. Adicionalmente quiero agradecer a las autoridades de la Universidad del Valle de Guatemala por haber confiado en mí para este trabajo, en especial al Doctor Ing. Manuel López que fue mi guía, asesor y mentor, tanto como catedrático de la Universidad como durante el desarrollo de mi trabajo de graduación y por último, pero no por eso menos importante, por haberme permitido hacer el estudio dentro de sus instalaciones, así como haberme dado los recursos tanto de personal como de infraestructura para el éxito de este Trabajo de Graduación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

PREFACIO	v
LISTA DE CUADROS	vi
LISTA DE GRÁFICOS	vii
RESUMEN.....	ix
CAPITULOS	
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES TEÓRICOS	4
III. ANÁLISIS GENERAL.....	8
IV. ANÁLISIS DESDE EL PUNTO DE VISTA DE CONTROL	22
V. CONCLUSIONES DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	54
VI. BIBLIOGRAFÍA.....	55

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
1. RESUMEN DEL ANÁLISIS DE AZÚCAR	19
2. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AZÚCAR	20
3. CLASIFICACIÓN DEL AZÚCAR DE ACUERDO A SU COLOR	20
4. CARGA NOMINAL EN AMPERIOS DE LAS CENTRIFUGADORAS	50

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

DIAGRAMA	PÁGINA
1. PROCESO DE CONTROL	4
2. SISTEMA DE CONTROL DE CIRCUITO ABIERTO.....	4
3. SISTEMA DE CONTROL SIMPLE DE CIRCUITO CERRADO.....	5
4. EJEMPLO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CIRCUITO CERRADO	5
5. CONTROL DEL PATIO DE CAÑA.....	26
6 MOLINO.....	28
7. CONTROL DEL MOLINO NO. 1.....	29
8. CONTROL DEL MOLINO NO. 1.....	30
9. CONTROL DE LA TEMPERATURA DEL AGUA DE IMBIBICIÓN.....	30
10. CONTROL DEL FLUJO DE CAÑA.....	30
11. CONTROL DE LA FRECUENCIA DE LOS MOLINOS	31
12. CONTROL DEL VACÍO EN LA TORRE DE SULFATACIÓN	32
13. CONTROL DE PROCESO DE ALCALIZADO	33
14. CONTROL DEL PROCESO DE CLARIFICACIÓN DE JUGO	34
15. CONTROL DE LOS TANQUES DE CACHAZÓN.....	35
16. EVAPORADOR.....	37
17. MELADOR	38
18. CONTROL DEL NIVEL DE LOS EVAPORADORES	39
19. CONTROL DE LA CONCENTRACIÓN DE LOS EVAPORADORES.....	39

DIAGRAMA	PÁGINA
20. CONTROL DE LA PRESIÓN DE VAPOR EN LOS EVAPORADORES	39
21. TACHO	40
22. TACHO CONTÍNUO	46
23. MÁQUINA CENTRIFUGADORA AUTOMÁTICA DE PRIMERA	48
24. MÁQUINA CENTRIFUGADORA DE SEGUNDA O TERCERA	50
25. CONTROL DE LAS CENTRÍFUGAS CONTINUAS	51
26. CONTROL DEL TANQUE DE JUGO CLARO	51

RESUMEN

Este trabajo de graduación es el resultado del estudio del proceso de producción del azúcar en el Ingenio Santa Ana bajo el punto de vista de sistemas de control. Esto significa que los procesos son modelados mediante gráficos que relacionan las variables importantes para cada uno de los mismos y modeladas mediante lazos de control. Para facilitar este estudio se agruparon los procesos y lazos de control en las siguientes áreas:

Patio de caña y molinos

En esta área del control de la producción, se controlará la velocidad con que se está ingresando material (en este caso caña) a la fábrica. La velocidad de ingreso de caña a la fábrica es importante, porque al tener controlado el flujo no hay problemas de falta o exceso de producto en las diferentes áreas que siguen el proceso. Además al controlar las variables en los molinos se obtiene una máxima extracción de azúcar de la caña, que se traduce en un mejor aprovechamiento de la misma. También en los molinos se controla el flujo de jugo que ingresa a la fábrica. Si la molienda es demasiado rápida, al igual que la cantidad de caña que ingresa al ingenio, entonces la cantidad de jugo que se extrae es mucha para el procesamiento de la planta. Igual pasa si se produce el efecto inverso.

Procesos de fábrica. Tratamiento del jugo

Esta área de control es importante, porque aquí se controlan los parámetros y procesos que influyen en la calidad del producto final, que es el azúcar. En esta área se controlan los niveles de sulfatado, alcalizado y calentado del jugo, para que los niveles de cada uno de los anteriores tengan los valores óptimos para obtener azúcar de buena calidad. Al tener identificados los diferentes puntos de control en esta área general, a los supervisores se les hará más fácil manejarlos y obtener resultados muy provechosos en el producto final. Además se obtendrá una mayor extracción de azúcar del jugo.

Evaporadores, tachos y centrifugas

En el área de evaporadores, se controla la obtención de una concentración de azúcar óptima del jugo. Al tener la meladura la concentración deseada, el proceso de tachos será eficiente, pues el tiempo que durará la generación de las masas será el óptimo. También si se tienen las concentraciones deseadas, el tiempo que se necesitará para formar el grano del tamaño deseado será el más eficiente posible. Esto influirá en el proceso de centrifugación, pues el azúcar que se obtendrá en las centrifugas de primera será de tamaño óptimo y se obtendrá la mayor cantidad posible. Estos procesos, por ser secuenciales, se optimizan minimizando el tiempo en que se obtiene el producto deseado. Al optimizar el tiempo, se podrá procesar más jugo para obtener la mayor cantidad de azúcar posible.

Tanque de jugo claro

El control de nivel del tanque de jugo claro es un parámetro indicador importante. Si el nivel del mismo se mantiene dentro de los niveles óptimos, indica que el proceso está transcurriendo de manera normal, por lo que la producción no tendrá problemas de tener que procesar más despacio, o tener que aumentar el flujo de material que ingresa a la fábrica, dependiendo de la diferencia entre el valor óptimo y el valor real. El control del nivel del tanque de jugo claro, por lo tanto, influirá en las demás áreas mencionadas anteriormente. El control se basa únicamente en el flujo de material entre los diferentes puntos y procesos de la empresa. Los procesos encargados de mejorar la calidad del producto, tienen una influencia secundaria. Si el flujo de material aumenta, se vuelve más difícil controlar las cantidades de

los diferentes químicos que se le agregan al jugo. Por esta razón mantener el flujo de materiales en la empresa controlado y con valores óptimos es indispensable.

Es importante para el ingenio que sus supervisores conozcan a profundidad el proceso. Además este documento es importante, porque describe y gráfica el flujo de materiales en la empresa. Además analiza las diferentes variables importantes para el proceso, y cómo se afectan una a otra.

Actualmente el proceso de producción de azúcar se realiza en un porcentaje alto con controles independientes y de una manera altamente manual. Al tener un documento que contenga las bases y los controles de manera integrada, será una referencia muy importante y valiosa para desarrollar proyectos que mejoren la eficiencia de los diferentes procesos que se llevan a cabo en el ingenio, para beneficio no solo del ingenio, sino de todos sus trabajadores. Muchos de los procesos que actualmente se realizan se pueden automatizar completamente o parcialmente. Además es importante integrar todos los datos de las diferentes variables descritas en los grupos de control anteriores en un lugar centralizado, para que el control sea lo más eficiente y fácil posible. Al existir varias islas con instrumentos de medición, la integración de los datos es difícil y nunca se puede llegar a obtener un valor simultáneo de todos los valores para detectar posibles fallas en los parámetros de calidad del proceso.

La información que se obtenga de este documento puede servir de base para desarrollar programas de automatización en otros ingenios del país, elevando la calidad de la producción del azúcar a nivel nacional.

I. INTRODUCCIÓN

A. PREÁMBULO

La industria azucarera en Guatemala ha ido creciendo de una manera bastante rápida en los últimos años, hasta convertirse en una de las industrias más fuertes en el país. La mayoría de los ingenios que actualmente operan en Guatemala, usan los mismos métodos que se usaban desde que fueron inaugurados. Algunos han crecido tanto que los métodos tradicionales requieren de una cantidad bastante grande de personas supervisando constantemente cada uno de los procesos. De aquí la necesidad de tener equipo más sofisticado que ayude a mantener un control más preciso de lo que está pasando en cada proceso. Este documento, basado en un estudio de campo en uno de los ingenios más grandes de Guatemala, el ingenio Santa Ana, presenta un estudio de los procesos que intervienen en cada uno de los micro procesos que componen la elaboración del azúcar, así como las diferentes variables que intervienen en cada uno. De cada proceso se describe los subproductos, las variables que se miden, así como el control de calidad tanto de entrada como de salida.

Teniendo ya este marco de referencia, se elaboraran modelos de control de cada uno de los procesos. Se explicará la relación entre cada uno de estos y cómo uno afecta a los demás, para poder así identificar puntos críticos de control y hacer más eficiente el proceso de la elaboración del azúcar como un todo. Además se definirá cada uno de los procesos como automático, manual o semiautomático (una combinación de los dos primeros).

El trabajo se enfoca principalmente en el proceso de fábrica, desde el ingreso de la caña al ingenio hasta la producción del azúcar. Las demás áreas del ingenio solo se mencionan de manera descriptiva.

El ingenio Santa Ana tiene una de las tasas de producción más altas de Guatemala. En este ingenio se pueden observar todos los procesos típicos que intervienen en la producción del azúcar, procesos similares a los que se tienen en otros ingenios de Guatemala y del mundo. Este ingenio cuenta con personal con bastante experiencia en el proceso de producción de azúcar, experiencia que fue de mucha utilidad en la elaboración de este documento.

La cantidad de productos que se obtienen en un ingenio son muy variados, siendo el principal el azúcar. Entre otros productos que se obtienen de un ingenio se encuentra la melaza, que es materia prima en la producción de licor, y electricidad, la cual no solo es producida para satisfacer las necesidades internas del ingenio, sino que también se vende electricidad al INDE, el cual la distribuye entre las poblaciones cercanas.

Por éstas y otras razones, la industria del azúcar es vital, y es importante que se vaya desarrollando tecnológicamente para el bienestar de Guatemala.

B. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

Como se mencionó anteriormente, la industria azucarera tiene mucha importancia en nuestro medio. Este trabajo es de gran importancia en esta industria, pues actualmente no existe ningún otro documento que describa con detalle las variables y cómo se pueden realizar modelos de control para mejorar los procesos involucrados. Este trabajo estudia y analiza el procedimiento que se lleva a cabo en el

Ingenio Santa Ana para la producción del azúcar. Por lo tanto, es de gran importancia su elaboración, pues de este trabajo se pueden derivar una gran cantidad de proyectos, no solamente de automatización y control, sino que también en otras áreas. También es importante crear una relación de confianza y de beneficio mutuo entre el ingenio Santa Ana y la Universidad, pues el ingenio estará ganando mucho teniendo gente capaz que conozcan y puedan optimizar los diferentes procesos, y con esto mejorando la calidad de los productos, y la universidad se estará reafirmando como una de las mejores universidades del país, además de ganar experiencia para todos en esta rama de la industria en el país. Este documento también puede servir de base para que otros ingenios realicen trabajos similares.

C. METODOLOGÍA

El estudio se llevó a cabo en las instalaciones del Ingenio Santa Ana, Km 62.5 carretera a Santa Lucía Cotzumalguapa. Comenzando el 3 de febrero de 1997 y terminado el 26 del mismo mes. Actualmente el ingenio Santa Ana ocupa uno de los primeros lugares en cantidad de azúcar que se produce al año. Esto hace que el ingenio se mantenga a la vanguardia en los adelantos tecnológicos que se tienen a la mano para mejorar la calidad de la producción del azúcar. Para esto cuenta con programas de automatización y con personal calificado.

El estudio se dividió en tres fases. Una en la que se estudió el proceso a nivel general, de la cual se obtuvo una descripción de todo el proceso y la definición de los diferentes micro procesos que intervienen en la producción del azúcar. Aquí se contó con la ayuda de los supervisores de producción y se identificaron los diferentes subproductos tanto de entrada como de salida de cada proceso.

La siguiente fase constó del estudio de cada uno de los microprocesos de forma separada, en la cual se determinó qué variables afectaban en los mismos. En esta fase se contó con la ayuda de los diferentes operadores encargados en cada uno.

La última fase constó del estudio de las formas de medición de cada uno de las variables, así como los planes de automatización de los mismos.

Terminado el trabajo de campo, el siguiente paso es la elaboración del documento, dentro del cual se incluyen los diagramas y explicaciones de los diferentes modelos de control, además de explicar la relación que tienen entre sí.

A raíz del estudio se propondrán modelos de automatización y posibles mejoras a los ya existentes que ayudarán a optimizar o mejorar la producción, además que el documento será de gran importancia para la capacitación de los nuevos técnicos que se integren al ingenio Santa Ana.

D. OBJETIVOS

1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo general del trabajo es el siguiente:

- Hacer una investigación desde el punto de vista de modelos de control de la producción de azúcar para poder identificar las variables que intervienen en el proceso y la interrelación que hay entre ellas en la fábrica.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos del trabajo son los siguientes:

- Conocer el alcance de la tecnología que tiene la producción azucarera en el ingenio Santa Ana.
- Describir los procesos que se utilizan en el Ingenio Santa Ana para la elaboración del azúcar.
- Analizar, en forma separada, cada uno de los procesos de fábrica en forma separada y estudiar las diferentes variables que intervienen en el mismo.
- Proponer un modelo de lazo de control de cada uno de los procesos.
- Explicar cómo interactúa cada uno de los diferentes subsistemas en el ingenio y como se afectan entre sí.
- Estudiar los diferentes factores de calidad y los puntos críticos de medición.
- Estudiar la tecnología con que cuenta el ingenio y los medios de control que utilizan.
- Preparar un documento que sirva como referencia para futuros proyectos que se desprendan del tema.
- Ayudar al ingenio en el proceso de capacitación del personal técnico nuevo en el ingenio.

E. PERSPECTIVAS DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

Este trabajo fue elaborado con el propósito de sentar las bases para trabajos de graduación futuros en donde estuviera relacionado el Ingenio Santa Ana y la Universidad del Valle. Su importancia radica en el detalle con que se trató el trabajo, pues hasta el momento no se había realizado un estudio de este tipo en la industria.

La identificación de las variables importantes en los procesos, así como los métodos que el ingenio tiene para la producción del azúcar. Los trabajos de graduación con temas más específicos pueden tomar este trabajo como una referencia muy valiosa.

El trabajo de graduación también tiene como propósito ayudar a identificar cómo se debe desarrollar un control general para aumentar la eficiencia de la producción del azúcar, pues este documento describe la relación que existe entre los diferentes procesos y como unas variables afectan a las demás.

Este trabajo también es importante para desarrollar un entrenamiento técnico al personal de nuevo ingreso a la empresa, con el propósito de que este personal tenga una visión más amplia de la empresa, conocer a profundidad el proceso. Esto les representará una mayor formación dentro de la empresa, y además les ampliará la conciencia de como su posición dentro del ingenio afectará o se verá afectada por las demás áreas de la empresa.

Es importante que se profundice más en las diferentes áreas de control, para poder implementar las diferentes ideas que se dan en este trabajo. Muchos de los lazos de control son bastante complejos, que necesitarían mucho estudio estadístico y analítico para poder llevar a cabo el control sobre las diferentes variables. Este trabajo contiene la información básica e identificación de los lazos necesarios para el control del ingenio.

II. ANTECEDENTES TEÓRICOS

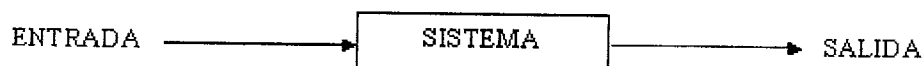
El objetivo principal del trabajo consiste en realizar modelos de control para los diferentes procesos que están involucrados en la fabricación del azúcar. En este capítulo se describirán de forma teórica que son los modelos de control y cuál es su función.

Además otra parte importante del estudio consiste en los factores de calidad que se toman en cuenta en los diferentes procesos. Se hará una descripción de cuáles son los parámetros y una breve descripción de ellos.

A. SISTEMAS DE CONTROL

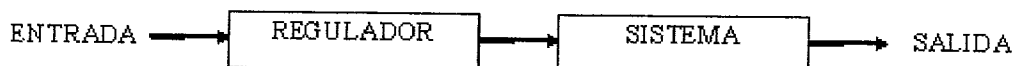
Un sistema de control es una interconexión de componentes que forman una configuración del sistema que proporcionará una respuesta deseada del sistema. La base para el análisis de un sistema es el fundamento proporcionado por la teoría de los sistemas lineales, la cual supone una relación de causa-efecto para los componentes de un sistema. Por lo tanto, un componente o proceso que vaya a ser controlado puede representarse mediante un bloque de la siguiente manera (Dorf, 1989):

Gráfica No. 1 Diagrama de un proceso de control



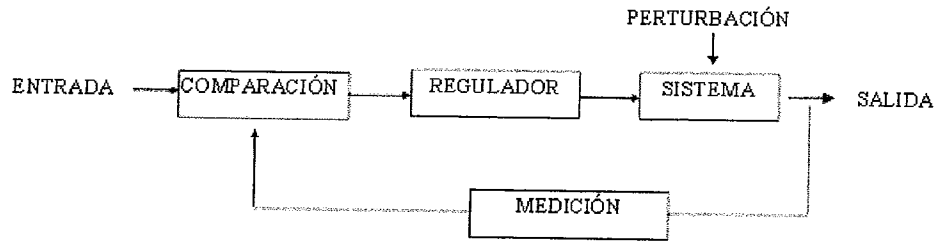
La relación entrada-salida representa la relación de causa y efecto del proceso, la cual a su vez representa el procesamiento de la señal de entrada para proporcionar una variable de señal de salida, frecuentemente con una amplificación de potencia. Un sistema de control de circuito abierto utiliza un regulador o actuador de control con el fin de obtener la respuesta deseada como se muestra en la siguiente figura (Dorf, 1989):

Gráfica No. 2 Diagrama de un sistema de control de circuito abierto



En contraste con un sistema de control de circuito abierto, el de circuito cerrado utiliza una medición adicional de la salida real, para compararla con la respuesta de salida deseada. A este sistema se le conoce con el nombre de control simple de circuito cerrado con retroalimentación. La definición estándar de un sistema de control con retroalimentación es aquel que tiende a mantener una relación prescrita de una variable del sistema con otra, comparando funciones de estas variables y usando las diferencias como medio de control. Un sistema de control simple de circuito cerrado tiene la siguiente configuración (Dorf, 1989):

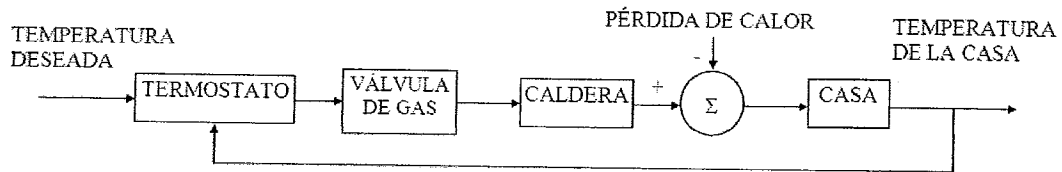
Grafica No. 3 Diagrama de un sistema de control simple de circuito cerrado



Para controlar un proceso, un sistema de control con retroalimentación suele emplear una función de una relación prescrita entre la salida y la entrada de referencia. A menudo, la diferencia del proceso bajo control y la entrada de referencia se amplifican y se emplea para controlar el proceso, de manera que esta diferencia se reduce continuamente. El concepto de retroalimentación es fundamental para el análisis y diseño de sistemas de control. (Dorf, 1989).

Este principio se ilustra fácilmente con un sistema común, la temperatura de una casa controlada por un termostato. Una descripción de los componentes aparece en el dibujo de la figura siguiente:

Gráfica No. 4 Ejemplo de un sistema de control de circuito cerrado



Este diagrama identifica los principales componentes como bloques en el sistema, omitiendo detalles y mostrando la dirección principal de la información y flujo de energía desde un componente a otro. (Franklin y otros, 1991)

Se realiza fácilmente un análisis cualitativo de la operación de este sistema. Supóngase que la temperatura en la casa donde el termostato está localizado y la temperatura exterior está muy por debajo de la temperatura deseada, cuando se aplica la energía. El termostato estará en activo, transmitiendo energía a la válvula de gas de la caldera, que se abrirá, haciendo que se encienda la caldera, que funcione el ventilador y que entre calor en la casa. Este proceso continuará hasta la que temperatura de la sala sea un poco mayor que la deseada. En este momento se apagará la caldera y la temperatura de la sala tenderá a tomar el valor externo. Cuando ésta baja un poco por debajo del punto de operación del termostato, éste se activa de nuevo y el ciclo se repite. (Franklin y otros, 1991)

El componente central es el proceso o planta cuya variable será controlada. En el ejemplo, la planta es la sala. La señal de salida es la temperatura de la sala y la señal de perturbación es el flujo de calor de la sala debido a la conducción a través de las paredes a la temperatura exterior más baja. El actuador es el dispositivo que puede influir en el proceso, en este caso el actuador es la caldera de gas. El componente designado termostato en este caso se compone de un sensor de referencia, sensor de salida y el comparador. Para propósitos de control hay que medir la variable de salida (temperatura de la sala), medir la variable de referencia (temperatura deseada de la sala) y compararlas, para tomar una decisión y una acción a tomar. (Franklin y otros, 1991)

B. ANALISIS QUÍMICO EN LA PRODUCCIÓN DEL AZÚCAR

Esta información es provista con el fin de dar una descripción de la química envuelta en la producción de azúcar. Primero se hará una descripción de la producción de azúcar granulada y la producción de dióxido de cal y carbón. Después se explicará tres aspectos del proceso de control, que son el pH, medición de la alcalinidad y la medición del porcentaje de azúcar en una solución. (www.monitorsugar.com, 1998)

El azúcar granulada consiste en un 99.9 % de sacarosa, conocida como azúcar de mesa. Ésta ha sido producida desde 2000 BC, del jugo de la caña de azúcar y más recientemente, aproximadamente en los principios de los años 1800, de la remolacha de azúcar. El azúcar de caña y de remolacha son conocidas como sacarosa. La sacarosa es una molécula compuesta de 20 átomos de carbón, 22 átomos de hidrógeno y once átomos de oxígeno (C₁₂H₂₂O₁₁) (www.monitorsugar.com, 1998)

El objetivo de cualquier proceso para extraer azúcar, ya sea de caña o de remolacha es la separar la sacarosa de la pulpa insoluble, de los azúcares no solubles y del agua. La separación del azúcar de los azúcares no solubles es hecha añadiendo cal al jugo. Además se necesitan varios procesos para obtener el azúcar de la caña. (www.monitorsugar.com, 1998)

Los análisis de laboratorio en una fábrica donde se produce azúcar deben trabajar 24 horas al día, todos los días de la semana durante la época de producción. Se deben de tomar muestras de la planta a diferentes intervalos. Algunos de las variables que se deben de medir durante los diferentes procesos de la producción del azúcar son las siguientes: (www.monitorsugar.com, 1998)

1. **Medición de pH.** El pH es una expresión de la acidez o alcalinidad de una solución. Esta es medida en una escala de 1 a 14. Los ácidos tienen un pH de 1 a 7, siendo el menor número el ácido más fuerte. Algunos ácidos son livianos como lo es el vinagre y otros fuertes como lo son el ácido sulfúrico. Las bases tienen un pH de 7 a 14, siendo el número más alto la base más fuerte. Las bases pueden ser livianas como la leche de magnesia o fuertes como algunos limpiadores de hornos. El agua es neutral, es decir tiene un pH de 7.0. Desde el punto de vista de química, el pH es la medida de la actividad del ion hidrógeno. Se basa en una escala de logaritmo base 10. La fórmula para el pH es la siguiente:

$$\text{pH} = -\log (\text{H})$$

donde (H) es la medida de la actividad del ion hidrógeno

El pH de una solución se mide usualmente usando un pH metro. Éste es un dispositivo electrónico con una punta que se puede insertar en la solución del pH desconocido. Esta punta contiene una solución ácida acuosa, encerrada por una membrana especial de vidrio, que permite la migración de iones hidrógeno. Si la sustancia con pH desconocida tiene un pH diferente al de la solución, se obtendrá como resultado un potencial eléctrico. Este potencial se traduce a una medición de pH. (www.monitorsugar.com, 1998)

2. **Alcalinidad.** Una reacción de neutralización es aquella en donde un ácido o un óxido ácido reaccionan con una base o con un óxido básico. En la mayoría de las reacciones uno de los productos es agua. La formación de agua actúa como la fuerza productora detrás de la neutralización. Esta reacción se utiliza para calcular la concentración de una sustancia desconocida haciendo una reacción con otra sustancia, conocida como solución estándar, la cual se añade a la otra por medio de un aparato llamado bureta, la cual mide el volumen de la sustancia con bastante precisión. Para saber cuándo se ha añadido

suficiente solución estándar se utiliza un indicador, el cual cambia de color cuando la mezcla se neutraliza. (www.monitorsugar.com, 1998)

Uno de los test más importantes que se llevan a cabo en el laboratorio es la medición de la alcalinidad. La alcalinidad se determina añadiendo a una cantidad dada de solución filtrada una solución ácida estándar en presencia del indicador fenol, el cual cambia de color cuando se ha alcanzado un pH de 8.0. El pH del ácido está calculado de tal forma que el número de milímetros usados es una indicación directa de la alcalinidad. Por conveniencia la alcalinidad es expresada en gramos de óxido de calcio por 100 ml de jugo filtrado. (www.monitorsugar.com, 1998)

3. **Azúcar en una solución.** La sacarosa, o azúcar de mesa, es un sólido cristalino que es ópticamente activo, y tiene una rotación específica de 66.53 para 26 gramos de sacarosa en 100 ml. de solución (solución normal). Glucosa y Fructuosa son los bloques que construyen la molécula de sacarosa. Sacarosa es un disacárido compuesto de glucosa D y fructuosa D. Esta es fácilmente soluble en agua y la solubilidad aumenta con la temperatura. (www.monitorsugar.com, 1998)

El método usado más comúnmente de análisis de la solución de azúcar es el de polarización directa. Este método usa la lectura de un polarímetro para 26.0 gramos de una muestra disuelta en 100 ml de una solución a 20 °C, con solo las sustancias removidas por la clarificación que impiden que pase la luz. El método de clarificación depende de la naturaleza y cantidad de impurezas presentes. Se usa esta medición como parámetro comparativo de la cantidad de azúcar en la solución. (www.monitorsugar.com, 1998)

El control de calidad del azúcar es esencial en los esfuerzos de producir azúcar de alta calidad y sus subproductos. Los clientes demandan ciertas especificaciones que deben de ser observadas. El azúcar debe de ser extremadamente pura, un 99.9 % de sacarosa, que hace que las mediciones de las impurezas sean muy sensitivas tanto en los métodos como en los equipos de laboratorio. (www.monitorsugar.com, 1998)

Los parámetros más importantes de la calidad del azúcar granulado son, tanto para el cliente como para el productor, el color, la humedad y el contenido de cenizas. (www.monitorsugar.com, 1998)

Todos los azúcares contienen cierta cantidad de humedad. El agua se muestra en el azúcar en tres formas básicas. Estas son agua libre o agua de superficie, Agua debajo de la superficie y agua inherente o interna del azúcar. El agua libre existe en las superficies del cristal. El agua debajo de la superficie es encontrada cerca de la superficie del cristal y ha sido sellada dentro del mismo debido al secado tan rápido a la que se expone el cristal. En condiciones normales, el agua debajo de la superficie tarda 24 horas en soltarse. Así un periodo de acondicionamiento de 24 horas es necesario para empacar y vender el azúcar. El agua interior es completamente dentro del cristal y usualmente no es un problema. (www.monitorsugar.com, 1998)

Las cenizas son las sales solubles e insolubles de componentes orgánicos e inorgánicos. Los materiales que vienen con la caña, las que son añadidas en el proceso o provenientes de la oxidación de los equipos pueden convertirse en parte del contenido de las cenizas del azúcar. Por ejemplo se tiene como cationes inorgánicos al sodio, potasio y calcio. Como aniones inorgánicos se tienen al nitrato, el cloro y el carbonato. Como materiales insolubles se tienen filtros y arena. También hay algunos metales y sales orgánicas como carboxilato de calcio. (www.monitorsugar.com, 1998)

III. ANÁLISIS GENERAL

A. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

A continuación se describe en forma general los diferentes procesos que intervienen en la producción del azúcar desde que entra hasta la obtención de los diferentes productos del ingenio.

1. **ETAPAS DE PRODUCCIÓN.** La fábrica en un ingenio azucarero es la encargada de procesar la caña de azúcar que viene del campo y sacarle la mayor cantidad de azúcar posible. El proceso de fabricación del azúcar se puede dividir en varias etapas:

- Patio de caña
- Picadoras y molinos
- Sulfatación
- Alcalizado
- Calentamiento
- Clarificación
- Evaporadores
- Tachos
- Centrifugas
- Refinería

Además se cuenta con un estricto control de calidad, el cual se lleva a cabo en cada uno de los diferentes procesos mencionados anteriormente.

a. **PATIO DE CAÑA.** Aquí es donde todo el proceso de fabricación del azúcar comienza. Los camiones que van llegando se pesan en unas básculas, las cuales registran el peso total del transporte (vehículo + caña).

De una manera aleatoria se escogen para pasar al laboratorio del patio de caña, donde se toman muestras y se determina la calidad de la caña que viene en ese lote.

Posteriormente los camiones pasan por unas duchas para limpiar, en la medida de lo posible, la caña que traen. Una vez que pasan por las duchas pasan a los viradores de caña. Estos son 4 en total. Tienen la función de vaciar la caña que viene en los camiones en las mesas alimentadoras de caña o sobre el suelo. Los viradores 1 y 4 vacían la caña sobre las mesas y el 2 y 3 vacían la caña en el suelo.

Las mesas alimentadoras de caña sirven para vaciar la caña de forma uniforme sobre un conductor, que recibe el nombre de conductor auxiliar. Las mesas están dispuestas en parejas, donde la primera arroja la caña, junto con un chorro de agua sobre la segunda y esta sobre el conductor. Este chorro de agua sirve para hacerle un último lavado a la caña.

La caña que se vacía en el suelo se lleva hasta el conductor auxiliar por medio de unos tractores. Esta caña no se lava.

El conductor auxiliar es una faja de lámina, la cual se encuentra en el fondo de una zanja. Éste tiene una parte que se encuentra horizontal y otra que está inclinada. En la parte horizontal recibe la caña

lavada de las mesas y los tractores se encargan de vaciar caña en las partes donde falte con el propósito que el colchón de caña que va a entrar a la siguiente etapa sea lo más uniforme posible, ayudado también por un nivelador, que se encuentra en el principio de la parte inclinada.

El conductor auxiliar lleva el colchón de caña hacia una serie de cuchillas rotativas que se conocen con el nombre de pre cuchillas o pre picadora. Esta corta la caña, que viene en piezas largas en piezas más cortas, pero sin sacarle el jugo.

La caña pre picada cae en otro conductor, el cual lleva la caña hacia las picadoras y los molinos.

b. PICADORAS Y MOLINOS. Ésta es la etapa encargada de picar la caña lo más fino posible para que después los molinos se encarguen de exprimirla y sacarle la mayor cantidad de azúcar posible.

Después que la caña sale de la pre picadora, ésta se deposita sobre el conductor No. 1. Éste es un conductor similar al conductor auxiliar descrito anteriormente.

En el inicio de éste se encuentra un nivelador, que consiste en un eje con aspas, el cual es hecho girar por un motor a una velocidad constante. Éste ayuda a que el colchón que sale pasa por el conductor No. 1 sea de un grosor constante. Este conductor lleva el colchón de caña hacia la picadora No. 1.

Las picadoras consisten en ejes con cuchillas. Son tres en total. Cada picadora tiene más cuchillas que su antecesora. La función de las picadoras es dejar lo más finamente picada la caña antes de sacarles el jugo. La picadora 1 es accionada por un motor eléctrico, mientras que las picadoras 2 y 3 son accionadas por turbinas, las cuales tienen de respaldo un motor eléctrico, en caso de falla.

La picadora 1 se encuentra al final del conductor No. 1 y las picadoras 2 y 3 se encuentran en el recorrido del conductor No. 2. Este conductor es el que recoge la caña que pasa por la picadora No. 1.

Después que la caña pasa por la picadora No. 3, cae en una banda de hule, la cual pasa la caña por un electroimán. Éste captura la mayor cantidad de objetos metálicos que puedan ir entre el colchón de caña.

Al salir de esta banda de hule, el colchón de caña cae en una serie de molinos. Estos son 7 para el caso del Ingenio Santa Ana, pero el número puede ser variable.

Cada molino consiste en una serie de rodillos, los cuales exprimen el colchón de caña para sacarle la mayor cantidad de jugo posible.

Al salir de cada molino, la caña se lleva a la entrada del siguiente molino por unos elevadores llamados Donnelly's. Estos son transportadores hechos de cadenas, tablillas y engranajes.

Al jugo que se extrae del Molino 1 se le conoce con el nombre de jugo primario, y al que se extrae del resto de molinos se le conoce con el nombre de jugo mezclado. Al jugo que se extrae del último molino se le conoce con el nombre de jugo residual.

Al residuo de caña que se extrae del molino No. 7 se le conoce con el nombre de bagazo. Parte de este bagazo se lleva por medio de transportadores de tablillas hacia las calderas. Un poco se va por tuberías a procesos posteriores, que se explicarán después. El resto es almacenado en las afueras del ingenio para uso en caso de un paro del mismo.

c. TRATAMIENTO DEL JUGO. Ésta es la etapa del proceso donde el jugo se trata químicamente para quitarle las impurezas y agregarle lo necesario para que el azúcar producido sea de la mejor calidad posible.

1) SULFATACIÓN. Después de salir de los molinos, el jugo se lleva por unas bombas hacia la fábrica. Al entrar a la fábrica, el jugo pasa por el proceso de Sulfatación. Este proceso consiste en agregarle Azufre al jugo. Para esto el azufre es quemado en un horno. El vapor generado en este horno sube por una torre donde el jugo va cayendo. El vapor con el jugo se mezclan. Al jugo resultante de este proceso se le conoce con el nombre de jugo sulfatado. El objetivo de mezclar azufre con el jugo es para que el azúcar resultante sea lo más blanca posible.

El jugo sulfatado cae después por gravedad a un tanque, conocido con el nombre de tanque de pre alcalizado. En este tanque se le agrega cal al jugo. El tanque tiene un agitador, para facilitar la mezcla de la cal con el jugo. El jugo que sale de este tanque se nombra jugo pre alcalizado. El objetivo de agregarle cal al jugo es para facilitar la extracción de impurezas del mismo.

2) ALCALIZADO. Por bombas el jugo pre alcalizado se lleva hacia un tanque pre calentador. El jugo pre alcalizado precalentado se va entonces hacia unas básculas de jugo, que consisten en una serie de tres tanques, colocados uno arriba del otro. Cuando el tanque que se encuentra en medio está vacío, el tanque superior abre una válvula y vacía el jugo sobre el tanque medio. Cuando el nivel del tanque medio llega a un límite determinado, se cierra la compuerta del tanque superior y el tanque medio vacía su contenido hacia el tanque inferior. De esta manera se conoce el volumen del líquido contando cuantas veces se realiza este proceso.

Del tercer tanque, el jugo cae en el tanque de Alcalizado. Aquí el jugo termina de ser tratado con cal. Al jugo que sale de este tanque se le conoce con el nombre de jugo Alcalizado. A este tanque también llegan otros residuos de procesos posteriores, para tratar de desperdiciar la menos cantidad de azúcar posible.

3) CALENTADORES DE JUGO. Al salir del tanque de Alcalizado, el jugo se va por unas bombas a los calentadores. Estos son tres en total: dos tanques se mantienen en funcionamiento, mientras el tercero se encuentra en limpieza. A los dos calentadores se les conoce con los nombres de calentador primario y rectificador respectivamente.

Del calentador primario el jugo sale a 170°F y del rectificador sale a 220°F. Esta temperatura, como se explicará después es vital para la formación del azúcar.

4) CLARIFICACIÓN. Al salir de los calentadores, el jugo pasa a un tanque abierto a la atmósfera, donde se eliminan las burbujas de oxígeno del jugo. Este tanque se le conoce con el nombre de tanque de flasheo.

De este tanque el jugo pasa por gravedad a los clarificadores. Estos son cuatro tanques. Ahí el jugo se pone a reposar. Todos los sedimentos que se encuentran en el jugo, por la acción de los químicos que se le han mezclado, más un químico floculante que se agrega en este paso, se depositan en el fondo del tanque. Éste sedimento es sacado por unas bombas al exterior. Este sedimento se le conoce con el nombre de cachaza. Esta está formada por todos los lodos, basura de bagazo, químicos, etc., que son ajenos al jugo.

La cachaza pasa entonces a unos tanques conocidos con el nombre de tanques de cachaza. Aquí la cachaza se mezcla con bagazo que viene desde molinos para hacer más densa la masa y facilitar la extracción del jugo.

Esta cachaza pasa entonces a unos filtros rotativos, los cuales extraen la mayor cantidad posible de jugo. La cachaza ya seca cae en unos depósitos que luego son llevados afuera del ingenio y aprovechados como abono.

El jugo que se extrae de la cachaza se lleva al tanque de jugo filtrado y de ahí vuelve a llevarse al tanque de Alcalizado para que vuelva a pasar por el proceso.

Al jugo que se extrae de los clarificadores se le conoce con el nombre de jugo claro. Este jugo al salir de los mismos pasa por unos coladores, los cuales terminan de filtrar el jugo. El jugo claro ya filtrado cae en un tanque conocido con el nombre de jugo claro.

d. EVAPORADORES. El jugo claro se lleva por bombas del tanque de jugo claro a los evaporadores. Los evaporadores son tanques especiales, cuya función es la de evaporar, en varias etapas, el jugo hasta llevarlo a una determinada consistencia.

El jugo pasa por cuatro grupos de evaporadores. A este proceso se le llama evaporación en cuádruple efecto. Estos cuatro grupos se les conoce como pre evaporadores (6 en total), dúplex (3 en total), vasos (4 en total) y melador (1).

El nombre de cuádruple efecto, se debe a que la presión de vapor que se genera en una etapa es la misma presión que alimenta la siguiente.

El primer grupo de evaporadores se alimenta por una presión de vapor de 20 psi. Esta presión de vapor se produce en los generadores eléctricos. Este primer grupo de evaporadores se mantiene, gracias a la presión de vapor, a una temperatura constante de 230°F. En los pre evaporadores la presión de vapor se mantiene constante a 10 psi. A esta presión se le conoce con el nombre de vapor vegetal.

El vapor vegetal alimenta al segundo grupo de evaporadores, conocidos como dúplex. La presión interior de los dúplex se mantiene a 4 psi. Esta presión alimenta la siguiente etapa.

El siguiente grupo de evaporadores, conocido como vasos, se alimenta con la presión de 4 psi. En el interior la presión de vapor se mantiene a 1 psi. Esta presión alimenta al melador, que es la última etapa de los evaporadores. En este evaporador se forma vacío, gracias a un condensador que se encuentra en la parte superior del mismo. Este vacío extrae el jugo desde las etapas anteriores. Este proceso es vital para la máxima extracción de azúcar del jugo. Al jugo evaporado que sale del melador se le conoce con el nombre de meladura.

Después de salir del melador, la meladura pasa por una serie de tanques. El primero es el encargado de mantener el vacío dentro del melador. A este tanque se le conoce con el nombre de tanque sello. Al salir de este tanque la meladura cae en otro tanque abierto, conocido con el nombre de tanque pulmón, en el cual la meladura se pone en contacto con el aire. La meladura cae entonces en otro tanque, llamado tanque cascada. En este tanque se le agregan otros químicos.

Al salir de este grupo de tanques la meladura se lleva por bombas a unos calentadoras. El objetivo de estos calentadores es llevar la meladura a una temperatura constante de 180°F.

La Meladura caliente se lleva por tuberías hacia una serie de tanques, que forman el sistema de aireación. Estos son tres tanques en los cuales circula la meladura. El primer tanque está abierto a la atmósfera. De este tanque sale una tubería que tiene dos destinos. Uno es el segundo tanque, y el otro el tercer tanque. La meladura sale por esta tubería por bombeo. Del segundo tanque, la meladura, por rebalse

vuelve a caer en el primer tanque. Del tercer tanque, la meladura cae por gravedad a los clarificadores de meladura.

e. CLARIFICADORES DE MELADURA. Este proceso tiene como objetivo eliminar todas las impurezas que todavía puedan ir en la meladura. Aquí el proceso es diferente en funcionamiento al proceso de clarificación del jugo. En esta etapa, la meladura tiene una viscosidad mucho mayor que la del jugo. Por lo tanto, aquí las impurezas no sedimentan, sino que tienden a irse a la superficie.

En el tanque pulmón, que se mencionó anteriormente, a la meladura se le agrega Talofloc, que ayuda a que las impurezas se separen de la meladura. Cuando se van a la superficie, en los clarificadores se forma una espuma, que no es más que todas las impurezas presentes en la meladura. Esta espuma se barre afuera del tanque por medio de unas aspas y luego llevada por tuberías de regreso al tanque de alcalizado, donde vuelve a pasar por todo el proceso.

Una vez pasado este proceso la meladura, ya sin impurezas se lleva por gravedad a los tanques de meladura.

f. TACHOS. La Meladura que se encuentra en los tanques está lista para separar el grano de la miel. Este proceso se realiza en los tachos, que son tanques grandes, parecidos a los evaporadores, en los cuales la meladura se expone a una alta temperatura para que se forme el grano de azúcar.

Hay tres tipos de tachos: tachos de primera, segunda y tercera. De los tachos de primera se obtiene un producto, que se le conoce con el nombre de masa de primera, de los tachos de segunda se obtiene la masa de segunda y de los de tercera, la masa de tercera.

Los tachos de primera son alimentados por meladura y por magma (azúcar de segunda + jugo claro). El proceso de formación del azúcar de primera consiste en los siguientes pasos:

- El tacho se llena con meladura hasta cierto nivel definido. Aquí se le agrega un poco de azúcar glas con alcohol isopropílico, conocido con el nombre de semilla. El azúcar glas se caracteriza por el tamaño pequeño que tiene el grano. Éste, al estar en contacto con la meladura dentro del tacho, empieza a hacerse más grande. Con el movimiento que se genera dentro del tacho, los pedazos más grandes se fragmentan y estos fragmentos vuelven a crecer y así sucesivamente. Al proceso de formación del grano se le conoce con el nombre de cristalización.
- Después que la masa que se está formando dentro del tacho llega a cierta consistencia, dependiendo de la cantidad de cristales de azúcar que se hayan formado, se empieza a llenar con meladura y magma hasta llenarlo.
- Una vez que se llegó al volumen de masa deseado dentro del tacho, se empieza a concentrar la masa (cristalizando), gracias a la presión y temperatura en el interior del tacho.

Cuando la masa en el interior del tacho llega al nivel deseado de concentración, se vacía en unos tanques conocidos con el nombre de recibidores de primera. Existen diferentes recibidores para cada uno de los tachos de primera.

Los recibidores de primera entonces dejan caer la masa en otros tanques, conocidos con el nombre de mezcladores de primera. Estos tanques mezclan todas las masas A que salen de todos los recibidores de primera. Estos tanques mezcladores de primera son los que alimentarán las centrifugas de primera.

A la masa que se obtiene cada vez que se vacía un tacho se le llama templa. Así de cada tacho de primera se obtiene una templa en cada ciclo.

Esta masa A que se obtiene aquí es una mezcla de miel de primera y azúcar. El azúcar que se obtiene de la masa A es el azúcar que se distribuye para la venta.

Los tachos de segunda son los que continúan el proceso de formar el grano de azúcar que no se pudo formar en los tachos de primera. El azúcar que se obtiene de las templeas que se forman aquí es de menor calidad que la primera.

El proceso en los tachos de segunda es un poco más complicado que el que se realiza en los tachos de primera. El proceso consiste en las siguientes etapas:

- El tacho de segunda se llena hasta un volumen de masa determinado.
- Cuando se le haya ingresado el volumen nivel deseado se le agrega un poco de semilla, de manera similar que en los tachos de primera. Aquí empieza el proceso de cristalización hasta que la masa llega a una consistencia determinada.
- Luego se le empieza a agregar miel A con meladura hasta llegar al volumen de masa máximo que se desea. Se deja que la masa siga cristalizando, hasta que la masa llegue a la consistencia deseada.
- Esta masa que se formó se divide entonces en dos partes iguales, vaciando la mitad del contenido del tanque en unos tanques conocidos con el nombre de graneros de segunda. Cada una de estas mitades se conoce con el nombre de dobles de segunda.
- El doble que queda dentro del tacho se deja seguir cristalizando. Cuando la masa llega a una concentración determinada, se empieza a agregar miel A con meladura hasta que se lleva a un nivel mayor determinado.
- Esta masa se vuelve a dividir vaciando la mitad del contenido en otro granero. A cada una de estas mitades se les conoce con el nombre de sencillos de segunda.
- Al sencillo que queda dentro del tacho se le agrega miel A hasta llenar el tacho al nivel máximo determinado. Entonces se deja cristalizar hasta obtener la concentración final deseada.
- La masa final obtenida se vacía en los recibidores de segunda.

El tacho por vacío succiona el sencillo que se encuentra dentro del granero, y vuelve a repetir los pasos 6 y 7.

Cuando termina esto, por vacío succiona el doble que se encuentra en el otro granero y repite nuevamente los pasos 4, 5, 6, 7 y 8.

Luego la masa de segunda que se encuentra en todos los recibidores de segunda es vaciada en los tanques mezcladores de segunda. Estos son los tanques con que se alimentarán las centrífugas de segunda.

En conclusión, por cada ciclo del proceso en los tachos de segunda entonces se obtienen cuatro templeas.

El proceso que ocurre en los tachos de tercera es similar al que ocurre en el tacho de segunda. El proceso consiste en las siguientes etapas:

- El tacho de tercera se llena hasta un nivel determinado con miel A. Se le agrega semilla, igual que en los procesos anteriores. Aquí se empieza a formar el grano hasta que llega a una consistencia determinada.

- Luego se le empieza a agregar miel A hasta alcanzar un volumen definido. Entonces la masa se deja cristalizar, empezando a formar el grano de azúcar de tercera.
- Esta masa que se formó se divide en dos partes iguales, vaciando la mitad del contenido en los graneros dobles de tercera. Cada una de estas mitades se conoce con el nombre de dobles de tercera.
- El doble que queda dentro del tacho se sigue cristalizando. Cuando la masa llega a una concentración determinada, se empieza a agregar miel A y miel B hasta que se lleva al volumen mayor determinado.
- Esta masa se vuelve a dividir vaciando la mitad del contenido en otro granero de tercera. A cada una de estas mitades se les conoce con el nombre de sencillos de tercera.
- Al sencillo que queda dentro del tacho se le agrega miel B hasta llenar el tacho al nivel máximo determinado. Entonces se deja cristalizar hasta obtener la concentración deseada.
- La masa de tercera final obtenida es entonces vaciada en unos tanques llamados porta templeas.

El tacho por vacío succiona el sencillo que se encuentra dentro del granero, y vuelve a repetir los pasos 6 y 7.

Una vez concluido éste, el tacho por vacío succiona el doble que se encuentra en el otro granero y repite nuevamente los pasos 4 al 8. Igual que en los tachos de segunda, en cada ciclo del proceso en los tachos de tercera se obtienen 4 templeas.

De los porta templeas la masa de tercera pasa por otra etapa, conocida como etapa de cristalizadores. La masa cae en el cristizador No. 7 y pasa uno por uno de los cristalizadores hasta llegar al No. 1.

Durante los 6 primeros pasos la masa es agitada por unas aspas, por cuyo interior está circulando agua fría. Esto para que se termine de cristalizar la mayor cantidad de azúcar posible.

Al pasar por el séptimo tanque, la masa es agitada por un aspa en cuyo interior circula agua caliente para que la masa fluya más fácil.

De aquí la masa de tercera cae en el tanque mezclador de masa de tercera. Este tanque es el que alimenta a las centrifugas de tercera.

En conclusión, el objetivo primordial de los tachos es de formar el grano de azúcar dentro de las masas en la concentración deseada, con la calidad deseada.

g. TACHO CONTÍNUO. Este es un tipo especial de tacho. Usualmente se utiliza en la formación de masa de primera.

La característica principal de este es que no tiene un ciclo cerrado definido, al contrario, tiene un proceso de formación de masa de primera continuo. Como los tachos ordinarios de primera, este se alimenta de magma y de meladura, pero de una forma constante. Al mismo modo está siempre dando de forma constante como producto final masa de primera, al mismo tiempo.

Por la complejidad del proceso, este tacho solo puede funcionar de forma automatizada.

h. CENTRÍFUGAS. De forma similar a los tachos, las centrifugas están clasificadas en tres tipos: centrifugas de primera, de segunda y de tercera.

Las centrifugas o centrifugadoras, tienen por objetivo separar el grano de azúcar de la miel.

En las centrifugas de primera, el proceso es el siguiente:

- Se llena la máquina centrífuga hasta un nivel determinado.
- Se cierra y empieza a dar vueltas a una gran velocidad. Las máquinas centrífugas tienen una pared especial que deja pasar la miel, más no los granos de azúcar.
- Los granos se van quedando en las paredes de la centrífuga. Se le rocía agua por momentos para ayudar a que la miel se vacíe más fácil.
- Una vez que la miel se ha separado del azúcar, la centrífuga para, y se empieza a vaciar ayudado por una especie de azadón y cae en unas bandas de hule que transportan el azúcar de primera, a las máquinas enfriadoras y secadoras, las cuales no son más que cilindros grandes rotativos.

Al salir de estas máquinas el azúcar se transporta ya sea a envasado, directamente a las bodegas o a la refinería.

En las centrifugas de segunda y de tercera son similares. Éstas son centrifugas continuas. En éstas la masa de segunda o de tercera, dependiendo del tipo, va alimentando las centrifugas de forma constante. Como resultado, la miel y el azúcar van saliendo continuamente de estas centrifugas.

El azúcar de segunda se vacía dentro de unos tanques de disolución, en los que el azúcar se mezcla con jugo claro para formar magma, la cual sirve para alimentar los tachos de primera y el tacho continuo.

El azúcar de tercera se vacía dentro de otro tanque de disolución, en los que se mezcla con jugo claro. Por bombas este jugo es llevado al tanque cascada, donde se mezcla con Meladura y vuelve a pasar por todo el proceso descrito anteriormente.

i. REFINERÍA. Este proceso tiene por objetivo producir azúcar de más blancura y fineza. Para esto el azúcar que sale de los procesos anteriores de mejor calidad es enviado para tal fin a la refinería.

El azúcar que viene por las bandas transportadoras, es llevado por medio de un elevador de azúcar hacia unas básculas, que miden la cantidad de azúcar que ingresará a la refinería.

Las básculas están compuestas de tres tanques. Esta funciona de la siguiente manera: El tanque superior vacía una cantidad determinada de azúcar en el tanque que se encuentra en el medio. Este, al llegar a ese volumen determinado, vacía su contenido en el tanque inferior, mientras el tanque superior se encuentra cerrado. De esta manera se lleva un control del volumen de azúcar que será refinado.

El azúcar se transporta al salir de la báscula por unos gusanos, los cuales la llevan hacia un tanque, conocido con el nombre de tanque de disolución. Este tanque se alimenta con agua caliente para disolver el azúcar de manera más fácil.

Por rebalse el jugo pasa por unas telas metálicas con pequeños agujeros, donde se filtra. El líquido (conocido como licor), es transportado en tuberías hacia el tanque de licor a tratar.

Por bombas el licor a tratar es pasado por unos tanques, para tratamiento químico del mismo. El primer tanque contiene carbón activado. El segundo tanque tierra de diatomeas. Al salir el líquido de estos dos tanques, llevan cierta cantidad de sedimentos, los cuales son el producto del contacto del líquido con los compuestos mencionados anteriormente. Al salir de estos tanques, el licor es transportado por tuberías al tanque de licor tratado.

El jugo, por bombas, se pasa por unos filtros, los cuales son telas metálicas con pequeños agujeros. Sobre estas telas se prepara una torta, la cual sirve para retener los sólidos que puedan venir en el líquido. El líquido al salir del primer filtro cae en un tanque, conocido con el nombre de tanque de líquido filtrado. Por bombas el líquido es pasado por otro filtro similar, conocido con el nombre de filtro trampa.

Del filtro trampa el líquido cae en otro tanque, conocido con el nombre de tanque de licor.

Este tanque de licor servirá para alimentar los tachos de refinación de primera. El proceso en los tachos de primera, es el siguiente:

- Los tachos de primera son llenados con licor hasta un nivel determinado.
- Aquí se les agrega semilla.
- El licor se deja cristalizar dentro del tacho. Aquí se forma la semilla, la cual será el azúcar refinado de primera.
- Cuando se tiene la concentración deseada se vacía en unos tanques que se conocen con el nombre de mezcladores de masa de primera de refinación.

Los mezcladores de masa de primera de refinación alimentan a las máquinas centrífugas de primera de refinación. De las centrífugas de primera de refinación se obtienen azúcar refinado de primera y jarabe de primera.

El jarabe de primera alimenta a los tachos de segunda. El proceso en estos es similar al del tacho de primera solo que en lugar de licor se utiliza jarabe de primera. De aquí se obtiene masa de refinación de segunda, que cae en los tanques mezcladores de refinación de segunda.

Estos mezcladores de segunda alimentan a las centrífugas de segunda. De estas se obtiene el azúcar refinado de segunda y jarabe de segunda. El jarabe de segunda alimenta a los tachos de tercera. El proceso es similar a los anteriores. De aquí se obtiene la masa de tercera que se deposita en los tanques mezcladores de tercera de refinación.

Estos tanques alimentan las centrífugas de tercera, de las cuales se obtiene el jarabe de tercera y el azúcar refinado de tercera.

El jarabe de tercera se lleva hasta el tanque pulmón donde se mezcla con la meladura, para extraerle el azúcar que todavía se encuentre en el mismo.

El azúcar refinado de segunda se lleva a envasar directamente, mientras que el azúcar refinado de primera y de tercera se mezclan para obtener un color medio entre los dos.

Antes de envasar, el azúcar pasa por las máquinas secadoras y enfriadoras para luego llevarse a la sala de envasado para llenar los sacos, los cuales son transportados a la bodega de azúcar refinado.

j. ALMACENES Y BODEGAS. El ingenio cuenta con varias áreas destinadas para el almacenamiento del azúcar en sus diferentes presentaciones, así como para almacenar todas las diferentes herramientas y repuestos que el Ingenio pueda necesitar para su desarrollo normal.

Las funciones y características de cada uno de los almacenes y bodegas con que se cuenta son las siguientes:

1) ALMACÉN DE MATERIALES Y REPUESTOS. En este almacén se guardan y se controlan todos los repuestos que se utilizan en el Ingenio. Se manejan materiales de todos tamaños, desde pequeños tornillos hasta motores grandes. La mayoría de materiales que se tienen en inventario están disponibles para uso inmediato. Algunas cosas, cuya reposición tardaría un tiempo relativamente largo de comprar y llevar al ingenio se encuentran en el almacén por cualquier contratiempo, por ejemplo, motores, fajas, etc. El área de este almacén es de aproximadamente 300 pies de largo por 200 pies de ancho, y una altura útil de aproximadamente 3 metros. El 95 % del área del almacén se encuentra utilizada. La accesibilidad a cada uno de los elementos del almacén es completa. Se cuenta con un inventario de aproximadamente 18,000 códigos. Los ingresos y egresos de inventario se controlan a diario. El inventario es verificado de forma mensual.

El almacén cuenta con un programa de inventario, el cual genera un listado de la cantidad de unidades que se tendrían que tener de cada código de producto, y el inventario físico se realiza contra esa lista de forma mensual.

2) BODEGA No. 3. BODEGA DE AZÚCAR CRUDO O A GRANEL. Esta bodega puede almacenar hasta 850,000 quintales de azúcar crudo aproximadamente. El azúcar se traslada a esta bodega de dos formas:

Traslado por fajas. El azúcar se lleva a esta bodega por fajas. En el recorrido, la cantidad de azúcar se registra por medio de básculas tipo romanas, las cuales se componen de tres tolvas, una descargando por la parte inferior a la parte superior de la otra, la cual funciona de la siguiente manera. El azúcar se acumula en la tolva superior. Mientras tanto, ésta está descargando azúcar en la tolva del medio. Cuando la tolva del medio tiene un cierto volumen de azúcar, la tolva superior se cierra y la tolva media descarga en la tolva inferior y de aquí sigue su recorrido. Entonces la tolva media se vuelve a cerrar y se abre la tolva superior para repetir el proceso para poder calcular el volumen total.

Traslado por medio de camión. El azúcar se lleva a esta bodega por medio de un camión de alta capacidad. En la fábrica se encuentra una tolva, donde se tira el azúcar a granel. El camión se coloca debajo de esta tolva, que al abrirse descarga su contenido sobre el camión. Cuando el camión se llena, se va hacia las básculas de camiones donde es pesado. Como el peso del camión ya se conoce, entonces se puede calcular el peso del azúcar que se traslada en cada viaje del camión restando el peso del camión del peso del camión más azúcar.

El azúcar, dentro de la bodega se almacena en montañas, El tamaño de la bodega es de aproximadamente 100 metros de largo por 50 metros de ancho. El azúcar puede permanecer en esta bodega un promedio de 3-4 meses, teniendo un máximo en algunos casos de 5 ó 6 meses. El azúcar a granel se embarca al extranjero, para su posterior procesamiento.

Dentro de esta bodega no se tiene ninguna clase de protección para el azúcar. Se puede tener acceso al azúcar solo por el frente de las montañas. El azúcar se manipula dentro de la bodega por un tractor.

El control que se realiza en esta bodega es solo sobre producto de entrada y de salida, y se hacen las diferencias diarias para determinar la cantidad de azúcar que debe de haber dentro de la bodega.

3) BODEGA No. 4. BODEGA DE AZÚCAR ESTÁNDAR PARA EL CONSUMO NACIONAL. En esta bodega se almacena el azúcar en sacos. El tiempo de almacenamiento es de aproximadamente 2 a 3 meses. El peso de cada unidad es de 50 Kg. La capacidad de la bodega es de aproximadamente 160,000 sacos.

El azúcar se almacena en bloques, cada uno de 50 niveles de sacos aproximadamente. Cada bloque posee entre 15,000 y 18,000 sacos. La accesibilidad a los sacos es limitada, comenzando desde los sacos que se encuentran en la parte superior de cada bloque. Los sacos se transportan desde las llenadoras hasta la bodega. Aquí el manejo de los sacos se realiza de forma manual, con ayuda de fajas auxiliares móviles.

4) BODEGA No. 2. BODEGA DE AZÚCAR ESTÁNDAR

PARA EL CONSUMO NACIONAL. En esta bodega se almacena el azúcar en sacos de 50 Kg. El azúcar se almacena en bloques de 23,000 hasta 31,000 sacos. La capacidad de esta bodega está entre 375,000 y 400,000 sacos. Las características de manejo, transporte y accesibilidad son similares a la bodega No. 4.

5) BODEGA No. 6. BODEGA DE EMPACADORAS.

Aquí el azúcar se almacena en fardos de 25 bolsas de 400 gramos cada una. Los fardos son apilados de 25 niveles de altura. La capacidad de esta bodega, por el tipo de producto es menor que las anteriores, solo de 10,000 quintales. El azúcar es transportado directamente de las empacadoras hacia la bodega. La accesibilidad es limitada. El manejo se realiza de forma manual. El azúcar es almacenado en esta bodega un máximo de 2 meses. El control de cantidad de producto se realiza mediante el reporte de producción y de descarga de la bodega que lleva cada uno de los turnos. El azúcar que se tiene en esta bodega es de consumo nacional.

6) BODEGA No. 5. BODEGA DE AZÚCAR REFINADO.

El azúcar es almacenado en esta bodega en sacos de 50 Kg. cada uno. Aquí el azúcar se almacena en bloques de 11,200 sacos aproximadamente, con 50 niveles de altura. La capacidad de la bodega es de 600,000 quintales. La accesibilidad a la bodega es bilateral y al producto es limitada, empezando por las filas superiores de sacos de los bloques. El promedio de almacenamiento de esta bodega es de aproximadamente 2 a 3 meses. El manejo es manual, también con ayuda de fajas móviles.

7) BODEGA No. 1. AZÚCAR ESTÁNDAR.

Esta bodega tiene las mismas características de las bodegas anteriores. La capacidad de esta bodega es de 400,000 quintales. También se guarda el azúcar en sacos y se apilan en bloques igual que en las otras bodegas. Su acceso es limitado y solo a los sacos que se encuentran en la parte superior.

8) ALMACENADORA No. 7. TANQUE DE MELAZA.

Este tanque puede almacenar hasta 850,000 galones de miel final o melaza. La melaza se almacena un promedio de 5 meses en este tanque. La miel se descarga de este tanque por medio de camiones cisternas.

El tanque tiene un dispositivo que indica la cantidad de toneladas miel que se está guardando en cada instante. Este valor verificado pesando en las básculas los camiones que transportan la miel final hacia afuera del ingenio para su venta. Este tanque tiene un tanque auxiliar de llenado que tiene una capacidad de 15,000 galones.

k. LLENADO DE SACOS.

El azúcar que sale de la secadora y la enfriadora cae al área de llenado de sacos. Este procedimiento se realiza de forma semi-automática. El área cuenta con básculas tipo romana, que se encargan de pesar la cantidad de azúcar requerida (50 Kg.) automáticamente. El azúcar, una vez pesada, se descarga manualmente en los sacos. El promedio de llenado de sacos es de aproximadamente entre 7 y 10 sacos por minuto por báscula.

I. ÁREA DE CALDERAS. Las calderas constituyen una parte esencial de la fábrica. Estas producen el vapor a distintas presiones que necesitan los diferentes procesos del ingenio para funcionar. En las calderas se genera vapor a una presión determinada. Para obtener las presiones necesarias para las demás áreas del ingenio, se cuenta con reductores de presión.

Las calderas se alimentan de dos formas: De bagazo y de combustible Bunker. Las calderas que se alimentan con bagazo funcionan solo en época de Zafra, mientras que las que funcionan por medio de combustible trabajan todo el año. Las calderas nuevas están controladas mediante controladores electrónicos. Estos controlan las diferentes variables que se miden en ellos. Las calderas antiguas tienen varios manómetros, con ayuda de los cuales los operadores controlan el desarrollo de la caldera.

m. ÁREA DE COGENERACIÓN ELÉCTRICA. Esta es el área encargada de la producción de energía eléctrica dentro del ingenio. Actualmente el ingenio cuenta con tres generadores eléctricos, teniendo cada uno una generación de 25, 15.6 y 7.5 MWH respectivamente. Este departamento, junto con el departamento de calderas, son los únicos que funcionan todo el año. La generación en período de zafra es de 40 MWH aproximadamente y de 25 MWH en período de reparación.

2. CONTROL DE CALIDAD. En el proceso que se realiza en la fábrica, el control de la calidad de productos que se obtienen en los diferentes procesos que se llevan a cabo es importante. Llevar a cabo este control es responsabilidad del laboratorio de caña de la fábrica.

En este laboratorio se cuenta con el mismo equipo de procesamiento que se encuentra en el laboratorio de muestreo de caña. Además se cuenta con pH metros y aparatos para medir el color del azúcar, que se llaman equipo de absorbencia con espectrofotómetros.

Dependiendo del producto, así será el análisis que se tendrá que llevar a cabo. Los productos, sus análisis y los puntos de muestreo para cada uno se encuentran especificados en la siguiente tabla:

Cuadro No. 1 Cuadro resumen del análisis de azúcar

Producto a Analizar	Análisis	Punto de Muestreo
Jugo primario	pH, Brix, Pol, Pureza	Salida molino 1
Fibra	Humedad	Entrada molino 1
Jugo mezclado	pH, Brix, Pol, Pureza	Tanque jugo mezclado
Jugo residual	pH, Pureza	Salida molino 7
Bagazo	Humedad, Pol	Salida molino 7
Magma	pH, Brix, Pol, Pureza	Tanque magma
Meladura clarificada	pH, Brix, Pol, Pureza	Clarificador de meladura
Jugo clarificado	pH, Brix, Pol, Pureza	Clarificadores de jugo
Meladura no clarificada	pH, Brix, Pol, Pureza	Salida evaporadores
Miel final (melaza)	pH, Brix, Pol, Pureza	Salida en centrifugas de 3ra
Jugo alcalizado	pH	Tanque alcalizado
Jugo sulfatado	pH, Brix, Pol, Pureza	Salida en torre de sulfatación
Azúcar de 2da y 3ra	Pol	Centrifugas de 2da y 3ra
Cachaza	Humedad, Pol	Filtros de Cachaza
Azúcar	Color, Pol	Salida centrifugas de 1ra
Masa cristalizaciones	Brix, Pol, Pureza	Graneros
Miel A	Brix, Pol, Pureza	Tanques miel A
Miel B	Brix, Pol, Pureza	Tanque miel B
Masa 1ra 2da y 3ra	Brix, Pol, Pureza	Graneros 1ra 2da y 3ra
Jugo filtrado	PH, Brix, Pol, Pureza	Tanque jugo filtrado

Los muestreos se realizan cada hora, y los análisis se realizan cada cuatro horas usando la combinación de todas las muestras tomadas. El análisis de Brix consiste en determinar la cantidad de sólidos que se encuentran en el líquido que se extrae de cada uno de los productos. Este experimento se realiza utilizando un refractómetro, el cual da como resultado el porcentaje de sólidos, en unidades de Brix. El análisis de Pol consiste en calcular el porcentaje de sacarosa de la muestra. Esto se realiza utilizando el equipo llamado Polarímetro. El resultado se da en unidades de Pol. La pureza se calcula mediante la división entre la cantidad de Pol de la muestra dividido la cantidad de Brix de la muestra por cien. El resultado se da en parámetros de Pureza. El análisis de color se hace específicamente al azúcar, para determinar la calidad de la misma. El color determinará el producto final que se esté produciendo.

Toda la información que se obtiene se ingresa al final de cada análisis al sistema de bases de datos que se encuentra en la red de cómputo. Con estos datos se imprimen reportes y cualquier usuario puede ingresar al sistema y ver los parámetros actuales en todo momento.

Los parámetros de calidad en los que se deben encontrar los diferentes productos se resumen en la siguiente tabla:

Cuadro No. 2 Parámetros de calidad del azúcar

Material	Brix	Pol	Pureza
Magma	84-86		93-94
Masa 1ra	92-93	79-81	83-87
Masa 2da	93-94	60-62	68-72
Masa 3ra	98-99	51-55	54-56
Miel A	56-61	41	69-72
Miel final	83-85	26-27	30-33
Jugo primario	15-18*	55-62	83-90
Jugo mezclado	14-15*	45-50	84-87
Jugo residual	3-7*	9-18	79-82
Jugo clarificado	14-15*	42-50	80-86
Meladura clarificada	57-62	22-28	82-87
Meladura no clarificada	57-62	22-28	82-87

A los datos obtenidos en el laboratorio, se les hacen correcciones para obtener un valor real, pero las muestras presentan estos valores.

Para el azúcar, el parámetro importante, como se mencionó es el color. Para determinar el tipo de producto final se toman en cuenta los siguientes valores:

Cuadro No. 3 Cuadro de clasificación del azúcar de acuerdo a su color

Nombre	Color	Procedencia
Crudo	400-900	Fábrica
Standard	200-400	Fábrica
Superior	180-200	Fábrica
Refino exportación	Menor a 40	Refinería
Refino local	Menor a 80	Refinería

Dependiendo del color que presente el azúcar, el supervisor escoge el destino. En este proceso de cambio y destino. Por esta razón es importante tener al día los valores reales de los parámetros de calidad, para que las decisiones sean las más adecuadas y rápidas posibles.

Cuando el color del azúcar está saliendo demasiado oscuro, se intenta aclarar el azúcar aumentando el tiempo de lavado del azúcar en las máquinas centrifugadoras. Si esto no funciona, entonces se manda el azúcar a la bodega de azúcar a granel. También se le deja de echar azufre y vitaminas, pues el azúcar no necesita estos aditivos cuando se está produciendo azúcar a granel. Cuando la calidad de la caña mejora, entonces se empieza a echar azufre y vitamina y se vuelve a aumentar el tiempo de lavado en las centrifugas.

Si el azúcar está saliendo de un color de buena calidad, se envía a la refinería para mejorar el color y poder hacer azúcar refinado para exportación y consumo nacional.

Si el azúcar está saliendo entre los estándares de azúcar de consumo nacional, entonces se manda a envasado, de donde se envía a bodegas.

IV. ANÁLISIS DESDE EL PUNTO DE VISTA DE CONTROL

A. PUNTOS DE CONTROL

Para poder realizar un estudio de control de los procesos involucrados en la producción del azúcar, se necesita definir puntos de control claves para el monitoreo y manejo de la producción.

Después de observar el proceso en general, se encontró que los puntos claves en el control de la producción son los siguientes:

- Flujo y nivel de caña al conductor No. 1
- Velocidad de los molinos
- Flujo, temperatura del agua de imbibición
- Nivel en el tanque de imbibición
- Sulfatación
- Alcalizado
- Filtros cachaza
- Clarificadores
- Tanque de jugo claro
- Evaporadores
- Niveles de los tanques de meladura, miel A, miel B
- Tachos
- Centrifugas
- Presión de vapor a los diferentes puntos de la fábrica
- Por otro lado se necesitan monitorear diferentes muestras para medir sus parámetros de calidad para toma de decisiones en el producto final.

B. PROCESOS ELEMENTALES

1. PATIO DE CAÑA

a. **BÁSCULAS.** El proceso de producción de azúcar comienza con la entrada de los camiones al área de la fábrica. Estos entran por las básculas. El proceso en las básculas sigue el siguiente procedimiento:

Los camiones son pesados en las básculas y peso es ingresado automáticamente al sistema principal de cómputo. Adicionalmente de forma manual se ingresan los datos del envío. Estos son los siguientes:

- Origen
- No. de finca
- Datos de planilla
- Datos de chofer

- Código de los cortadoras
- Cantidad de caña asociada a cada cortador. Este valor se mide en cantidad de bocados (cantidad de caña que puede agarrar la grúa que carga los camiones a la vez)

El sistema genera entonces una boleta con todos los datos y es entregado a los choferes. La base de datos que se usa es ORACLE. La base de datos va guardando todos los datos e internamente hace un cálculo de los totales que se les va a pagar a las fincas y a todos los trabajadores en planilla.

En las boletas que se le entregan a los choferes de los camiones lleva una bandera en la cual se le indica si el camión debe pasar a control de calidad o no. Esto lo decide el sistema, dependiendo de la cantidad de caña que haya producido el lote o la finca. Así si vienen varios camiones del mismo lote el sistema escoge que camiones pasan a control de calidad y cuales pasan directamente a la planta.

Al descargar la caña los camiones pasan por las básculas de salida, el chofer entrega la ficha que se le había entregado antes. En estas básculas los camiones se vuelven a pesar. Los datos de la ficha son ingresados junto con el dato del peso del camión, lo que da como resultado la cantidad de caña entregada.

b. LABORATORIO DE MUESTREO. El laboratorio de caña de muestreo cumple con las siguientes funciones:

- Análisis de la caña recibida
- Análisis de la calidad de la caña del campo (maduración y pre-cosecha)
- Estudios especiales

Los camiones seleccionados pasan de las básculas de entrada al laboratorio de muestreo. Al llegar al área del laboratorio los camiones se estacionan enfrente de este. Las muestras se toman con un vehículo especial, llamado Pol Sampler, el cual no es más que un pequeño montacargas, que tiene adaptado un cilindro rotativo vacío que se introduce entre la caña y toma muestras. El Pol Sampler es guiado manualmente por un operador. Las muestras de caña se toman de varias partes de la carga para que sea lo más representativa posible.

Una vez tomadas las muestras, son empacadas en bolsas, con la identificación del lote correspondiente.

A todas las muestras se les hacen pruebas para determinar la pureza del azúcar que se producirá de estas muestras. El proceso es el siguiente:

- Las muestras se pican y llevan al laboratorio
- Las muestras picadas son prensadas para extraerles el jugo. Con el peso del jugo se calcula el % de jugo que contiene la masa.
- El jugo se clarifica. Esto se realiza añadiendo Acetato de Plomo para sedimentar la suciedad.
- El jugo clarificado es entonces filtrado.
- Este jugo filtrado se analiza utilizando un refractómetro, con el propósito de medir la cantidad de sólidos o el Brix de la muestra
- Se analiza el porcentaje de Sacarosa del jugo, utilizando un Polarímetro. La Sacarosa tiene una propiedad fisicoquímica que se conoce como actividad óptica. Las unidades que se utilizan son °Z en el Polarímetro (100 °Z equivalen a 26 gramos de Sacarosa disueltas en 100 ml. de agua). El resultado se da en unidades de Pol

Ya con estos resultados se calcula la pureza de la muestra. Este resultado alimenta el sistema y junto con el dato de peso de caña entregada de ese lote se calcula el pago de la caña.

Las muestras de caña que se toman en el campo pasan por los mismos procesos, con el fin de predecir la calidad de la caña que vendrá de esos lotes, así como para detectar enfermedades, etc.

Este laboratorio también cuenta con equipo especial para Investigación. Se cuenta con un equipo especial de Cromatografía digital, el cual calcula los porcentajes exactos de los diferentes compuestos que componen el jugo. También cuentan con equipos para estudiar factores de contaminación de la caña.

c. PRELAVADO Y VIRADORES. Después de que los camiones pasaron del laboratorio y las básculas, pasan por el Prelavado de caña. Esto se realiza mediante unas regaderas que rocían la caña para eliminar lo que se pueda de exceso de lodo, y otras partículas que lleva la caña. Estas regaderas no tienen ningún control y pasan prendidas todo el tiempo. Esto produce desperdicio de agua y desgaste de las bombas.

Una solución puede ser un sensor que capte cuando un vehículo cruce por las regaderas y que se enciendan, además de un semáforo para controlar el paso de camiones para que no se junten muchos cerca de los viradores.

Una vez que los camiones salen de las regaderas, los choferes le entregan la boleta al supervisor encargado del patio. El supervisor les indica a que virador deben pasar, ya sea para voltear la caña sobre las mesas alimentadoras de caña o sobre el suelo.

El ingenio cuenta con 4 viradores. Los viradores están compuestos por una estructura que tiene forma de grúa. Esta maneja unos ganchos o malacate que es el que engancha los vagones de los camiones y los voltea. Hay dos viradores que voltean la caña sobre las mesas y dos que los voltean en el suelo. El supervisor decide con el propósito de que la alimentación de caña sobre el conductor auxiliar sea constante y con el volumen deseado.

La caña que se voltea en el suelo es empujada por tractores hacia la zanja donde está el conductor auxiliar.

Todos los controles se hacen de forma manual y son controlados por el supervisor y los operarios de los viradores y los tractores que empujan la caña hacia el conductor auxiliar.

Los operadores de los viradores le indican a los choferes cuándo avanzar o detenerse por medio de bocinas y una luz que se encuentran en los viradores. No hay señalización en el camino de los camiones donde se indique cuando retroceder, avanzar o parar.

d. MESAS Y CONDUCTORES. Los conductores son bandas de lámina, los cuales tienen incorporado un sistema de cadenas, las cuales son movidas por medio de unos motores hidráulicos. El motor hidráulico es de velocidad variable. En caso que el sistema hidráulico falle, tiene un motor eléctrico acoplado que empieza a funcionar. La potencia del sistema es de 75 HP. El sistema hidráulico no tiene ningún tipo de control en los niveles de aceite, ni señalización para el cambio automático al sistema de motor.

Las mesas alimentadoras de caña se utilizan para tirar la caña sobre el conductor auxiliar y además lavar la caña. El sistema se compone de dos juegos de mesas en paralelo, cada juego compuesto de dos mesas en serie, cada una de las cuales está dispuesta a un ángulo determinado. Cada una de las mesas está compuesta de una lámina, sobre la cual está rotando un sistema elevador, el cual traslada la caña de la parte

inferior a la superior de la mesa. Estos elevadores funcionan por medio de un sistema parecido al sistema de conductores, es decir un motor hidráulico principal y un motor eléctrico secundario. Cuando el sistema hidráulico está funcionando, se puede controlar la velocidad de los conductores.

El sistema de mesas y lavado funciona así: Los viradores voltean la caña sobre la mesa No. 1. En la parte superior de esta se encuentra una regadera, la cual está continuamente alimentando con agua a la mesa. Mientras la caña se desplaza de la parte inferior a la parte superior de la misma, el agua se desliza hacia abajo, limpiando la caña de lodo y otros elementos que el Prelavado no pudo eliminar. Al llegar la caña a la parte superior de la mesa, cae sobre la mesa No. 2. Aquí se vuelve a repetir el proceso. Esta mesa tiene una velocidad ligeramente mayor que la mesa No. 1. Esta mesa deja caer la caña lavada sobre el conductor auxiliar. El otro sistema de mesas es idéntico. La potencia del sistema es también 75 HP. Las mesas no tienen ningún tipo de señalización visual o auditiva independiente para evitar accidentes.

Sobre el conductor auxiliar se encuentra una niveladora, cuya función es la de mantener un nivel constante en el colchón de caña que caerá al conductor No. 1. El motor que hace girar la niveladora es de velocidad constante y tiene una potencia de 100 HP.

Al final del conductor auxiliar se encuentra el sistema de pre cuchillas. Este sistema consta de un eje con 28 cuchillas, acoplados a un motor de 700 HP, con velocidad constante.

La caña pre picada cae del conductor auxiliar al conductor No. 1. Si el conductor auxiliar se llega a averiar, existe la posibilidad de tirar la caña del suelo directamente al conductor No. 1.

Sobre el conductor No. 1 hay una caseta donde se encuentra un operador que se encarga de manejar los siguientes procesos:

- Apagado y encendido de bombas de agua para mesas y prelavado de caña.
- Velocidad de las mesas
- Encendido, apagado y control de velocidad de los siguientes motores:
- Motor del conductor auxiliar
- Motores de las mesas
- Switches de emergencia para apagado de conductores y pre cuchilla

La caseta cuenta con comunicación por medio de unos interlocutores solo con los molinos.

Los controles se realizan de forma manual, a criterio del operador de la caseta. No hay ningún sistema interno de alarmas o de circuitos cerrados de vídeo para que se tenga un mejor panorama de las actividades. Por lo tanto no se tiene visión sobre la caña que cae en las primeras mesa, ni sistema de avisos para indicación de arranque o apagado. Toda la señalización es realizada por los supervisores por medio de señas manuales.

El conductor No. 1 tiene un sistema motor igual al del conductor auxiliar. El motor hidráulico y el motor eléctrico son de 150 HP.

Al final del conductor No. 1 se encuentra la picadora 1. Esta picadora es girada por un motor de 1000 HP con un reductor de 10 HP. Este es un motor de velocidad constante. La picadora cuenta con 30 cuchillas.

2. CONTROL DEL PATIO DE CAÑA. La importancia del control de los procesos que ocurren en el patio de caña es la de mantener el flujo de caña hacia los molinos de manera constante.

Así la variable a controlar es el flujo de caña en el conductor Auxiliar. Si este flujo es constante aumentará la eficiencia del paso de la caña hacia los molinos y también el control de los camiones en el patio de caña, evitando que se acumule mucha caña en los patios.

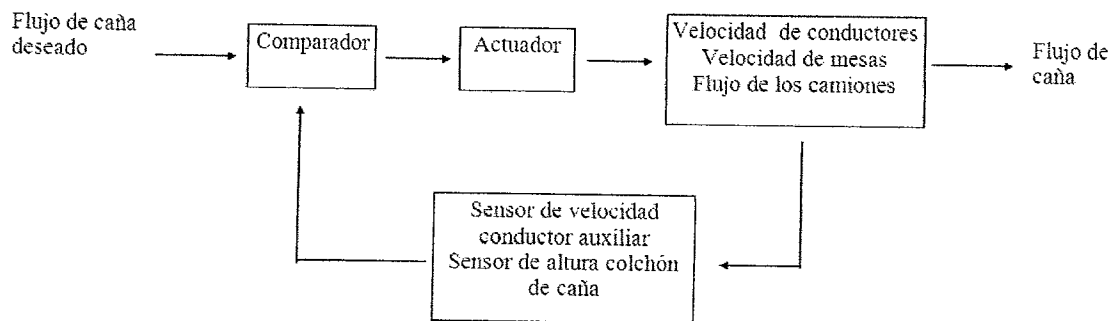
Las variables que influyen en el flujo y que se deben de controlar son las siguientes:

- Paso de los camiones hacia los diferentes viradores
- Velocidad de las mesas para tratar de alimentar al conductor auxiliar con el propósito de mantener siempre una alimentación constante sobre el mismo.
- Velocidad del conductor auxiliar. Este en combinación con la altura de la caña componen el valor del flujo del colchón de caña.

Además se tiene que controlar el apagado y encendido de las bombas de agua para tratar de ahorrar agua lo mayor posible.

El diagrama de bloques del control del patio de caña se podría definir de la siguiente manera:

Gráfica No. 5 Diagrama de control del patio de caña



La diferencia entre el flujo de caña real y el flujo de caña deseado se ingresa al actuador, el cual, de acuerdo a la diferencia, controla la velocidad de los conductores de la siguiente forma:

Si la diferencia es positiva, es decir que el flujo de caña es superior al deseado, la velocidad de los conductores debe ser disminuida proporcionalmente con la diferencia, y la velocidad de las mesas también se debe disminuir para reducir la velocidad de alimentación hacia el conductor auxiliar. También por medio de luces se le indicaría a los tractores que alimentan la caña al conductor auxiliar del suelo que paren de alimentar.

Si la diferencia es negativa, es decir que el flujo de caña es inferior al deseado, la velocidad de los conductores debe de ser aumentada, así como la velocidad de alimentación de caña por las mesas. Se le debe indicar a los tractores que alimentan la caña al conductor auxiliar del suelo que alimenten al conductor auxiliar.

Este control puede ser hecho automáticamente o manualmente, por medio de indicadores en la caseta de control que le indiquen al operador cuando aumentar la velocidad o disminuir dependiendo del valor de la diferencia. Los controles de apagado automático de emergencia se deben mantener como control paralelo en caso de alguna eventualidad.

Además se deben tener circuitos cerrados de vídeo para que el operador tenga una visión general del proceso y para prevenir accidentes. Se debe contar con señalización en el paso de los camiones para agilizar la comunicación entre los viradores y los camiones.

3. **MOLINOS DE FÁBRICA.** Después de pasar por la picadora 1 en el conductor No. 1, la caña picada cae en el conductor No. 2. Este tiene un sistema igual al de los otros conductores. Tiene un sistema de motor hidráulico y motor eléctrico. La velocidad del conductor No. 2 es controlado por un PLC, el dependiendo del nivel de caña en el molino No. 1 aumenta o disminuye la velocidad del conductor.

El conductor No. 2 pasa la caña por dos picadoras: La picadora 2 y la picadora 3. La picadora 2 tiene un motor de velocidad constante de 700 HP y 30 cuchillas para picar la caña. La picadora 3 tiene un motor de velocidad constante de 100 HP con un reductor de 100 HP. Esta tiene discos en lugar de cuchillas para picar la caña lo más fino posible.

Todas las picadoras tienen un sistema auxiliar con turbinas, las cuales son accionadas por el vapor de la fábrica. Usualmente se utilizan los motores eléctricos, pues el vapor se necesita en la fábrica. No existe ningún sistema automático que ponga a funcionar las turbinas en caso de falla de cualquiera de los motores. Todo se hace de forma manual.

Al final del conductor No. 2 se encuentra una banda de hule. Esta banda pasa la caña debajo de un imán, el cual retiene todas las partículas metálicas que puedan ir en el colchón de caña.

El ingenio Santa Ana cuenta con siete molinos, los cuales están dispuestos en serie. Actualmente se está construyendo otra serie de molinos en paralelo, para aumentar la cantidad de caña molida.

Los molinos cumplen la función de extraer la mayor cantidad de jugo de la caña. Como producto final se quiere el que el bagazo tenga la menor cantidad de humedad posible y con la menor cantidad de azúcar posible.

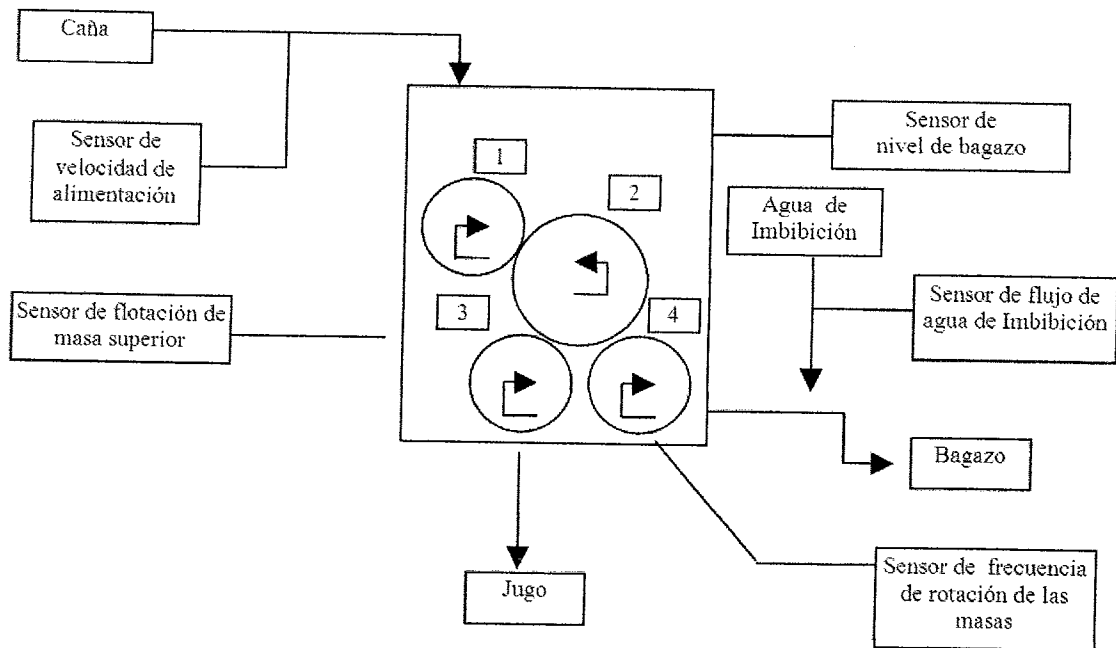
Todos los molinos en el ingenio están compuestos por 4 rodillos, denominados masas, los cuales se encargan de exprimir la caña mientras esta pasa entre ellos.

Las funciones de cada una de las masas es la siguiente:

- **4ta masa.** Ésta es la encargada de alimentar la caña y extraer el jugo.
- **Masa superior.** Ésta está acoplada a unos engranajes acoplados a los reductores de frecuencia de las turbinas. Ésta hace girar a todas las demás masas.
- **Masa cañera.** Por esta masa se introduce la caña y la hace pasar por un puente con una cuchilla central, la cual también sirve para limpiar el rayado de la masa, además de extraer el jugo.
- **Masa bagacera.** Ésta es la encargada de sacar el bagazo, además que es la que más jugo extrae, pues su distancia de paso es menor que la de las otras masas.

La siguiente figura representa el diagrama de un molino:

Gráfica No 6 Diagrama de un molino



Como se mencionó anteriormente, las masas superiores están acopladas a unos reductores de frecuencia, los cuales están acoplados a las turbinas de molinos. Estas turbinas son de frecuencia variable, la cual se puede ajustar entre 3800 a 4200 revoluciones por minuto. La frecuencia se regula por los operadores.

La presión de vapor de las turbinas oscila entre 180 y 190 psi. Éstas tienen una potencia de 100 HP. Las turbinas tienen acoplados 3 reductores en serie, para aumentar el torque. Estos se denominan reductores de alta, de media y de baja.

La masa superior tiene un mazo hidráulico, el cual hace una presión de 330 toneladas aproximadamente para que el paso entre las masas sea lo más pequeño posible, y exprimir la mayor cantidad de jugo.

Una parte importante en el proceso de molienda de la caña es el proceso de maceración o imbibición compuesta. La función de este proceso consiste en ayudar a que la cantidad de azúcar que se extrae de la caña sea la mayor posible. El proceso se describe como sigue:

Se dispone de un tanque especial que contiene agua, la cual tiene una temperatura específica. Al agua se le conoce con el nombre de agua de imbibición. La temperatura se regula por medio de agua fría y agua caliente dulce, la cual es el agua que se ha utilizado para el lavado de tanques, tachos y evaporadores, por lo que tiene un residuo de azúcar. Por medio de bombas de 10 HP, el agua de imbibición es llevada a la salida del molino No. 6.

El jugo que sale del molino 7, es filtrado y se bombea a la salida del molino 5. Cuando se filtra el jugo que sale de cualquier molino, se obtiene un bagazo, el cual es llevado a la salida del molino No. 1 para que vuelva a pasar por el proceso. El jugo filtrado que se obtiene del molino No. 6 se lleva a la salida del molino No. 4. El jugo filtrado del molino No. 5 se lleva a la salida del molino No. 3. El jugo filtrado del molino No. 4 se lleva a la salida del molino No. 2 y el jugo filtrado del molino No. 3 se lleva a la salida del molino No. 1.

Todo este proceso hace que el jugo pase varias veces por los molinos para que se extraiga la mayor cantidad de azúcar posible. El agua de imbibición logra ayuda a este objetivo aumentando la cantidad de líquido que se podría obtener normalmente, y así el azúcar es extraído en mayor cantidad de la caña.

El jugo que se obtiene del molino No. 1 se le conoce con el nombre de jugo primario. El jugo que se obtiene del molino No. 2 se le conoce con el nombre de jugo mezclado. De estos molinos se extrae la mayor cantidad de azúcar. El jugo de estos se filtra y lleva al tanque de jugo mezclado. Este jugo es la materia prima para el proceso dentro de la fábrica.

4. **CONTROL DE MOLINOS.** En este proceso se necesita controlar las siguientes variables:

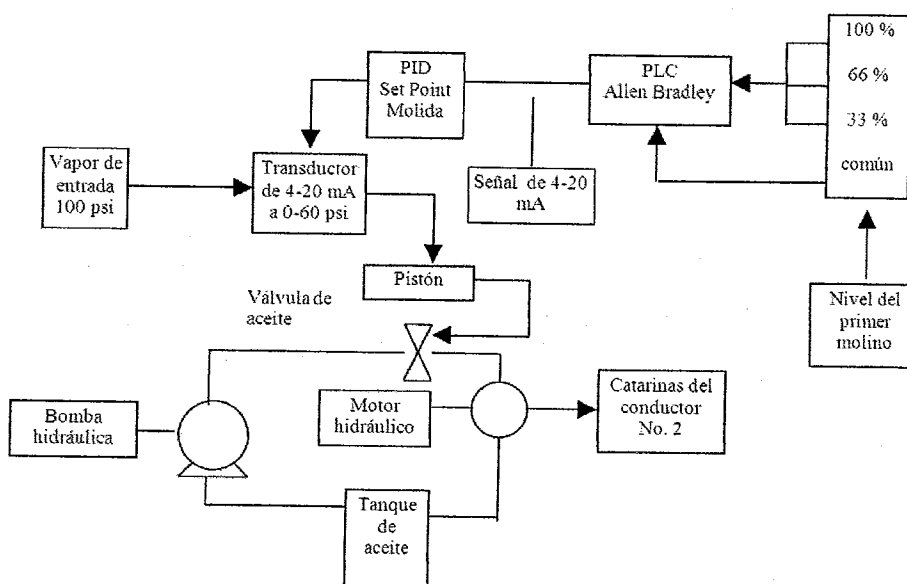
- Nivel en el molino No. 1. Esta variable es indispensable controlarla, pues este es la variable que rige la velocidad de los molinos. Este nivel controla la velocidad del conductor No. 2.
- Flujo de agua de imbibición. Este valor es importante para lograr la máxima extracción de azúcar de la caña. El valor óptimo es de un 20% del valor de flujo de caña hacia los molinos.

Para poder lograr los valores deseados de estas variables, se debe controlar lo siguiente:

- Flujo de caña hacia el molino No. 1
- Velocidad del conductor No. 2
- Frecuencia de los molinos
- Humedad del bagazo de salida
- Temperatura agua imbibición

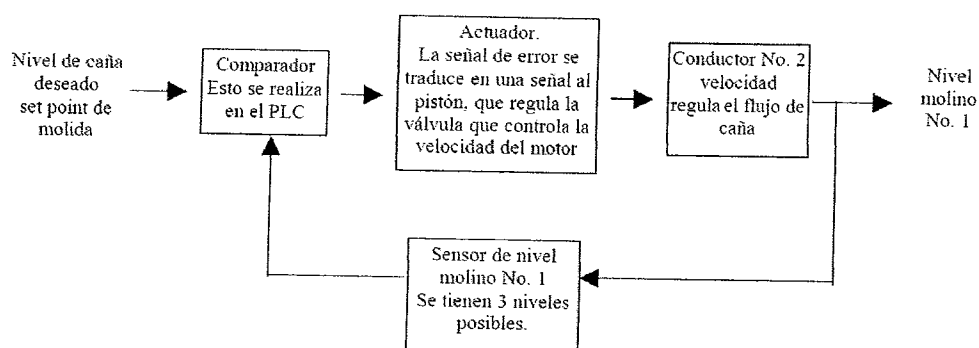
Actualmente el control del nivel del molino No.1 se realiza mediante un PID que controla el flujo de caña que entra al molino No. 1. Esto se logra controlando la velocidad del conductor No. 2. El diagrama del control del nivel del molino No. 1 es el siguiente:

Gráfica No. 7 Diagrama para control del molino No. 1



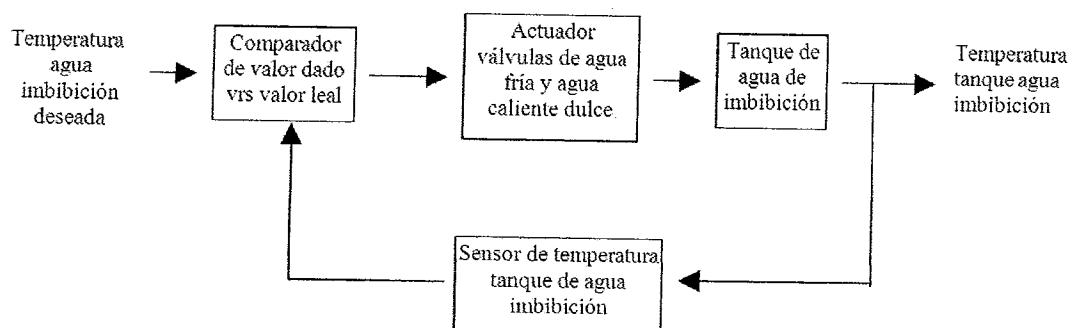
El diagrama de control, acorde a la figura anterior es el siguiente:

Gráfica No. 8 Gráfica de control del molino No. 1



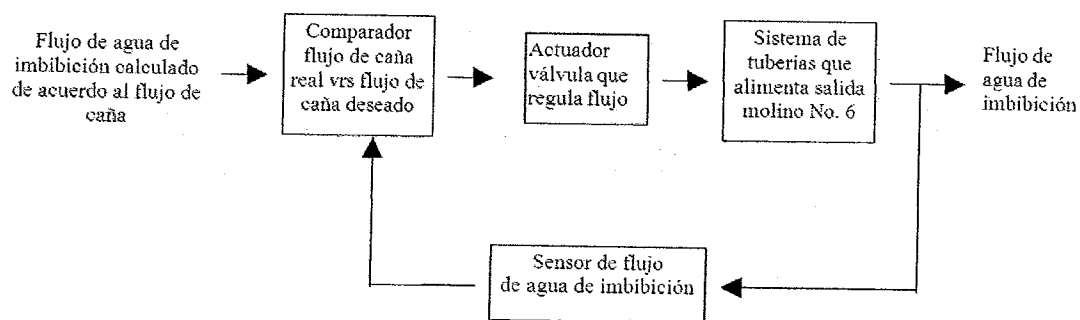
El control de la temperatura del agua de imbibición se realiza de la siguiente forma:

Gráfica No. 9 Gráfica de control de la temperatura del agua de imbibición



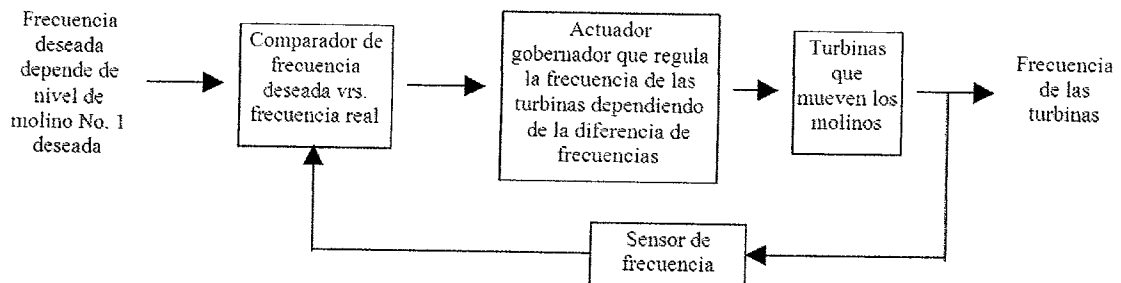
Como se mencionó anteriormente, el flujo del agua de imbibición en la salida del molino No. 7 es calculado acorde al valor del flujo de caña hacia los molinos. Este valor debe ser 20% del flujo de caña. El diagrama de control del flujo de caña hacia los molinos es el siguiente:

Gráfica No. 10 Gráfica de control del flujo de caña



Otra variable importante, como se mencionó, es la frecuencia de los molinos. Los molinos tienen un gobernador, el cual no es más que un controlador manual de la velocidad de las turbinas. La frecuencia se mide actualmente mediante la vibración de las calderas. Esta vibración es medida mediante un dispositivo, el cual está compuesto por una serie de láminas delgadas, cada una de las cuales entra en resonancia a una frecuencia específica. Así cuando la frecuencia de la vibración de la turbina es igual a la frecuencia de resonancia de alguna lámina está vibra con una mayor amplitud que las anteriores. Esto sería posible medirlo mediante un dispositivo electrónico, el cual mandaría el valor mediante un transductor a un PLC que actuaría de la siguiente manera:

Gráfica No. 11 Diagrama de control de la frecuencia de los molinos



5. TRATAMIENTO DEL JUGO

a. SULFATACIÓN. El proceso de sulfatación del jugo mezclado es muy importante en el proceso de producción de azúcar, pues este proceso tiene como fin darle el color más claro posible al azúcar.

Este proceso se lleva a cabo en una torre, conocida con el nombre de torre de sulfatación. Esta está compuesta por tubo ancho, puesto de manera vertical. En la parte inferior del mismo se encuentra un pequeño horno, el cual sirve para sublimar el azufre para que el vapor del mismo ascienda por la torre. El proceso funciona de la siguiente manera:

El jugo mezclado entra a la torre de sulfatación por el extremo superior del mismo. Este se mezcla con el vapor que va subiendo por la torre de sulfatación. Esto produce un cambio de PH entre el jugo mezclado y el jugo que llega a la parte inferior, que se conoce con el nombre de jugo sulfatado.

Como se mencionó antes, este proceso es vital para lograr el azúcar blanco. Este proceso es omitido cuando se quiere producir azúcar crudo. Controlar la cantidad de azufre que se quema es vital, tanto para ahorro de la empresa como para una mejor calidad en el producto final. Actualmente no hay ningún proceso de control automático sobre la cantidad de azufre que se quema en los hornos en la torre de sulfatación.

El éxito de la sulfatación reside en gran parte en el vacío que se genera en la torre de sulfatación, la cual succiona los gases desde el horno y ayudando a la reacción química que ocurre.

b. CONTROL DE SULFATACIÓN. Es importante para el control del proceso de sulfatación poder controlar las siguientes variables:

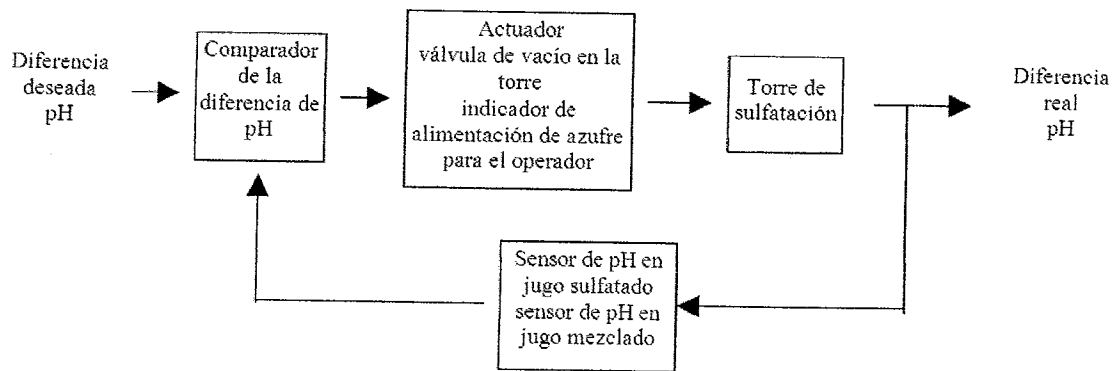
- Diferencia entre el pH del jugo mezclado y el jugo sulfatado
- Vacío generado en torre de sulfatación
- Cantidad de azufre quemado
- Flujo de jugo de acuerdo a capacidad de la torre.

Como se dijo antes, el control de la diferencia de pH es indispensable para el éxito de este proceso. La diferencia del pH entre el jugo mezclado y el jugo sulfatado debe ser 1 como valor óptimo. Así la variable a controlar es la diferencia. Descriptivamente, esto se realiza de la siguiente forma:

Dado que el azufre se quema manualmente, es importante poder controlar el vacío que se genera en la torre para lograr que se logre la diferencia de pH deseada. Si la presión llega a los valores máximos tiene que haber un indicador visual en el horno que le indique al operador que eche más azufre en el horno, así como un indicador de que deje de echar si ocurre el fenómeno inverso.

El diagrama de control está entonces dado de la siguiente forma:

Grafica No. 12 Diagrama de control del vacío en la torre de sulfatación



c. ALCALIZADO. Éste es otro proceso importante e indispensable para la producción de azúcar de buena calidad. El jugo sulfatado que viene de la torre de sulfatación es todavía muy ácido para el resto de procesos. El proceso de alcalizado, aparte de ser importante en el proceso de clarificación, el pH del jugo alcalizado se vuelve neutro. Sin este proceso el éxito de la clarificación tiene una probabilidad muy baja. En este proceso también es importante el precalentado, el cual, junto con el azufre y la cal completan los ingredientes para la reacción química que tiene por objetivo la clarificación del azúcar.

El jugo sulfatado que viene de la torre de sulfatación, cae en el tanque de pre alcalizado. De aquí el jugo es llevado hacia los pre calentadores, de donde el jugo precalentado cae en el tanque de alcalizado. Aquí el jugo se mezcla con una pequeña cantidad de cal, la cual se vierte en el tanque disuelta en líquido.

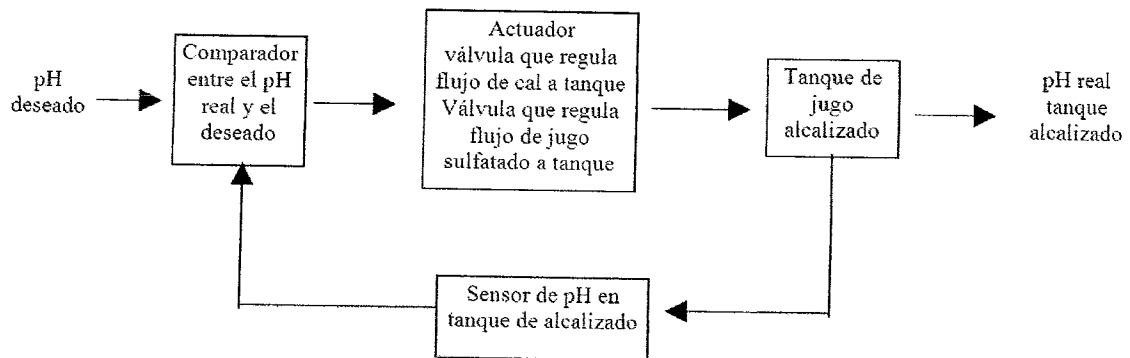
d. CONTROL DE ALCALIZADO. Las variables que se tienen que controlar en este proceso son las siguientes:

- Flujo de jugo sulfatado que entra en el tanque alcalizado
- Flujo de cal que se echa en el tanque de jugo alcalizado
- pH del tanque de jugo alcalizado

El pH es la variable a medir, mediante la cual se controlará tanto el flujo de cal como el flujo de jugo. El valor de pH que debe tener el tanque de alcalizado debe estar entre 6.8 y 7.1, es decir un valor aproximado al neutro. Actualmente este proceso se realiza de forma automática.

El diagrama de control del mismo es el siguiente:

Gráfica No. 13 Diagrama de control de proceso de alcalizado



e. CLARIFICADORES DE JUGO. Este es el proceso que tiene por objetivo eliminar todo el lodo y basura que traiga el jugo alcalizado. Después de que el jugo sale del tanque de jugo alcalizado, pasa por los calentadores de jugo, que ayudan a que se provoque la reacción química a la temperatura adecuada.

El jugo calentado se distribuye en cuatro tanques, que se conocen con el nombre de clarificadores de jugo.

Cada uno de estos tanques tiene 4 niveles. El sedimento que se deposita en cada uno de estos niveles recibe el nombre de Cachaza. Para ayudar a que la cachaza se deposite en el fondo, se agrega al jugo un químico floculante, que los operadores lo conocen con el nombre de Separan. Éste acelera el proceso de sedimentación. Cada uno de los niveles tiene una válvula de muestreo para chequear el color del jugo. El jugo tiene que salir de un color ámbar claro y brillante.

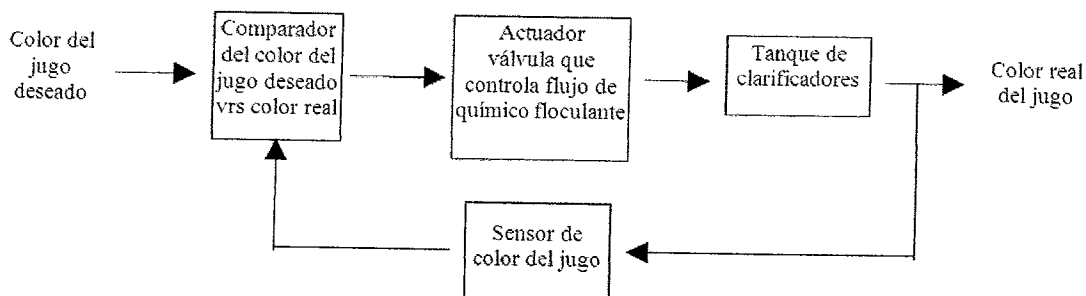
Cada nivel cuenta con un aspa giratoria, la cual está barriendo constantemente la cachaza en el fondo y la lleva a unas salidas donde unas bombas están extrayendo la cachaza. Estas bombas se conocen con el nombre de bombas de cachaza. Hay cuatro bombas de cachaza por tanque.

f. CONTROL DE LOS CLARIFICADORES DE JUGO. En la clarificación, lo más importante es el color del jugo. Por eso medirlo es indispensable para poder regular las demás variables del proceso.

- Las variables a medir y regular son las siguientes:
- Color de jugo clarificado
- Flujo de químico floculante

El diagrama de control de este proceso es el siguiente:

Gráfica No. 14 Diagrama de control del proceso de clarificación de jugo



Actualmente, el control de este proceso sigue este diagrama, pero todo se hace de forma manual. El comparador del color del jugo deseado con el color del jugo real es actualmente un operador, el cual actúa sobre la válvula que controla el flujo del químico floculante.

g. FILTROS ROTATIVOS DE CACHAZA. La cachaza que es extraída de los tanques clarificadores de jugo, es llevada a un tanque que se conoce con el nombre de tanque de cachaza. En este tanque se vuelve a agregar químico floculante para que el sedimento sea más compacto. De este tanque la cachaza se bombea a los filtros rotativos de cachaza.

Los filtros rotativos de cachaza son grandes cilindros, que están girando sobre su eje de forma longitudinal. Los filtros están cubiertos con una malla, cuyos poros están conectados a unas bombas de vacío. Se manejan dos niveles de vacío, que se conocen con el nombre de vacío alto y vacío bajo. Los valores en los que oscila el vacío de estas bombas son de 5 a 10 psi para el vacío bajo y de 10-15 psi para el vacío alto.

Mientras los filtros van girando, se les va formando una capa de cachaza en la parte inferior. Esta capa se adhiere y gira con el cilindro. Durante la vuelta que realizan, el jugo se extrae por medio de los poros. Cuando va llegando otra vez a la parte inferior, la capa es retirada por medio de una espátula fija. La cachaza que se obtiene cae en la una canaleta que tiene un tornillo sin fin giratorio. Este mueve la cachaza que va saliendo y la tira en un pequeño contenedor, que se conduce por un tractor. Cuando se llena el contenedor el tractor lleva el contenedor hacia afuera del ingenio. La cachaza es útil porque contiene elementos orgánicos que funcionan perfectamente como abono. La cachaza es entonces encostada y llevada a cumplir esa función.

h. CONTROL DE LOS TANQUES DE CACHAZÓN. Aquí la variable a controlar es el grosor de la capa que se pega en la superficie del filtro rotativo de cachaza. Ésta debe tener un valor dado para que la extracción sea la máxima posible.

Las observaciones que se hicieron con respecto a esto es lo siguiente:

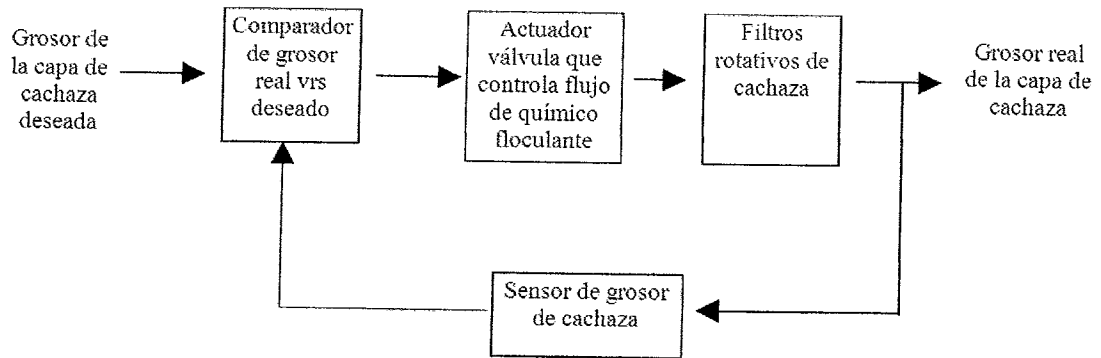
Si la capa es demasiado gruesa, ésta tiende a despegarse y la extracción es menor que cuando la capa es más delgada

Si la capa es demasiado delgada, la cantidad de jugo que se extrae en un intervalo de tiempo también es menor. Entonces mantener el grosor a los valores deseados hace que el jugo que se extraiga sea mayor. También es importante, aunque no hay mucho control en eso es el agua caliente que se rocía a la capa de cachaza en el filtro. Ésta colabora a que la extracción de azúcar de la cachaza sea máxima.

El grosor de la capa se logra controlando el flujo de químico floculante que se le agrega a la cachaza en el tanque de cachazón. Si se le echa demasiado flujo entonces la capa es muy gruesa y viceversa.

El diagrama de control recomendado es el siguiente:

Gráfica No. 15 Diagrama de control de los tanques de cachazón



6. **EVAPORADORES.** La función de los evaporadores es la de extraer la mayor cantidad de agua del jugo claro. Este proceso está dividido en cuatro etapas:

Fase de pre evaporadores

Esta fase tiene cinco evaporadores. Estos se denominan con los siguientes nombres:

- Pre 1D
- Pre 1C
- Pre 1B
- Pre 1A
- Pre 1

Fase de dúplex

Esta fase se compone de tres evaporadores. A estos se les nombra de la siguiente manera:

- Dúplex 1
- Dúplex 2
- Dúplex 3

Fase de vasos

Esta fase se compone de tres evaporadores. Estos se conocen con los nombres de:

- Vaso 1
- Vaso 2
- Vaso 3

Fase de meladores

Esta fase se compone de dos evaporadores. Estos se conocen con los siguientes nombres:

- Vaso 4
- Vaso 5

El jugo claro se trae desde los tanques de jugo claro por bombas. El jugo entra al sistema de evaporadores por el evaporador Pre 1D. El jugo pasa entonces por el resto de pre evaporadores, en el orden descrito en la lista anterior.

Al paso del jugo por los evaporadores se le conoce con el nombre de primer efecto. Los pre evaporadores tienen un vapor de entrada de 20 psi aproximadamente. Dentro del cuerpo de cada uno de los pre evaporadores, la temperatura interior se mantiene a 220 °F y una presión interior de 10-12 psi, a la que se le conoce con el nombre de presión de vapor vegetal.

Después, el jugo que sale del pre 1 entra al dúplex 1. Este jugo pasa por el resto de los evaporadores dúplex, en el mismo orden de la lista anterior. Al paso del jugo por los dúplex se le conoce con el nombre de Segundo Efecto. La presión de entrada de los evaporadores dúplex es la presión de vapor vegetal, es decir una entrada de presión de vapor igual a 10 psi. La presión interior en los cuerpos de los dúplex es de 5 psi.

El jugo al salir del dúplex 4, se traslada al vaso 1. El jugo pasa entonces de uno en uno de los vasos por medio de succión, la cual se genera en el último vaso, conocido con el nombre de melador. La presión de vapor de entrada es igual a la del cuerpo interior de los dúplex, es decir 5 psi. La presión interior en los vasos es igual a 2 psi.

Al paso del jugo por los vasos se le conoce con el nombre de tercer efecto.

El jugo que sale de los vasos entra en la última fase. De los dos meladores que se tienen, siempre se tiene uno en funcionamiento. Mientras tanto al otro se le da limpieza. Al paso del jugo por el melador se le conoce como 4to efecto. La presión de vacío interior del melador es de 10 psi aproximadamente. El jugo que sale del melador se conoce con el nombre de meladura.

7. CONTROL DE EVAPORADORES. Las variables que se deben controlar en los evaporadores son:

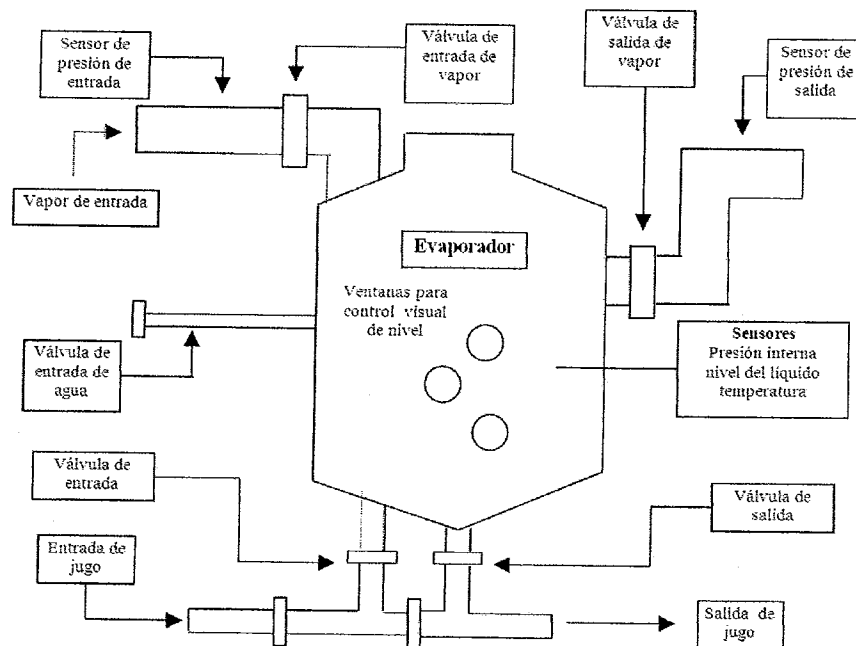
- Flujo de jugo que entra en los evaporadores
- Nivel en cada uno de los evaporadores
- Presión de entrada a cada uno de los evaporadores, según los datos anteriores
- Concentración del jugo

Un evaporador está compuesto de varias partes. Las funciones de cada una de éstas son las siguientes:

- **Sensor de presión de entrada.** Se encarga de medir la presión del vapor que alimenta al evaporador
- **Sensor de presión interna.** Se encarga de medir la presión de vapor que tiene el cuerpo del evaporador.
- **Sensor de temperatura.** Se encarga de medir la temperatura que tiene el cuerpo del evaporador en todo momento.
- **Sensor de nivel.** Indica el nivel del líquido dentro del evaporador.
- **Sensor de presión de salida.** Se encarga de medir la presión que sale del cuerpo del evaporador, cuyo valor debe ser el mismo de entrada del evaporador del siguiente efecto.
- **Válvulas de entrada y salida de vapor.** Éstas se mantienen usualmente abiertas. Se cierran para sacar al evaporador de servicio para limpieza. Éstas son válvulas neumáticas.
- **Válvulas de entrada de jugo.** Éstas regulan el flujo que entra en el cuerpo del evaporador. El operador se encarga de graduarlas para mantener un nivel constante dentro del evaporador, o para aumentar este nivel, dependiendo de las necesidades de velocidad de evaporación.
- **Válvula de salida de jugo.** Ésta regula el flujo que entra al cuerpo. En caso de que la concentración del jugo en el evaporador no sea la deseada, se cierra un poco para hacer que la concentración suba.
- **Válvula de salto.** En caso que el evaporador se saque de servicio, se cierran las válvulas de entrada y salida del evaporador y se abre esta para que el jugo pase de largo.
- **Válvula de agua.** Sirven para lavar el cuerpo del evaporador cuando se saca de servicio para limpieza el mismo.

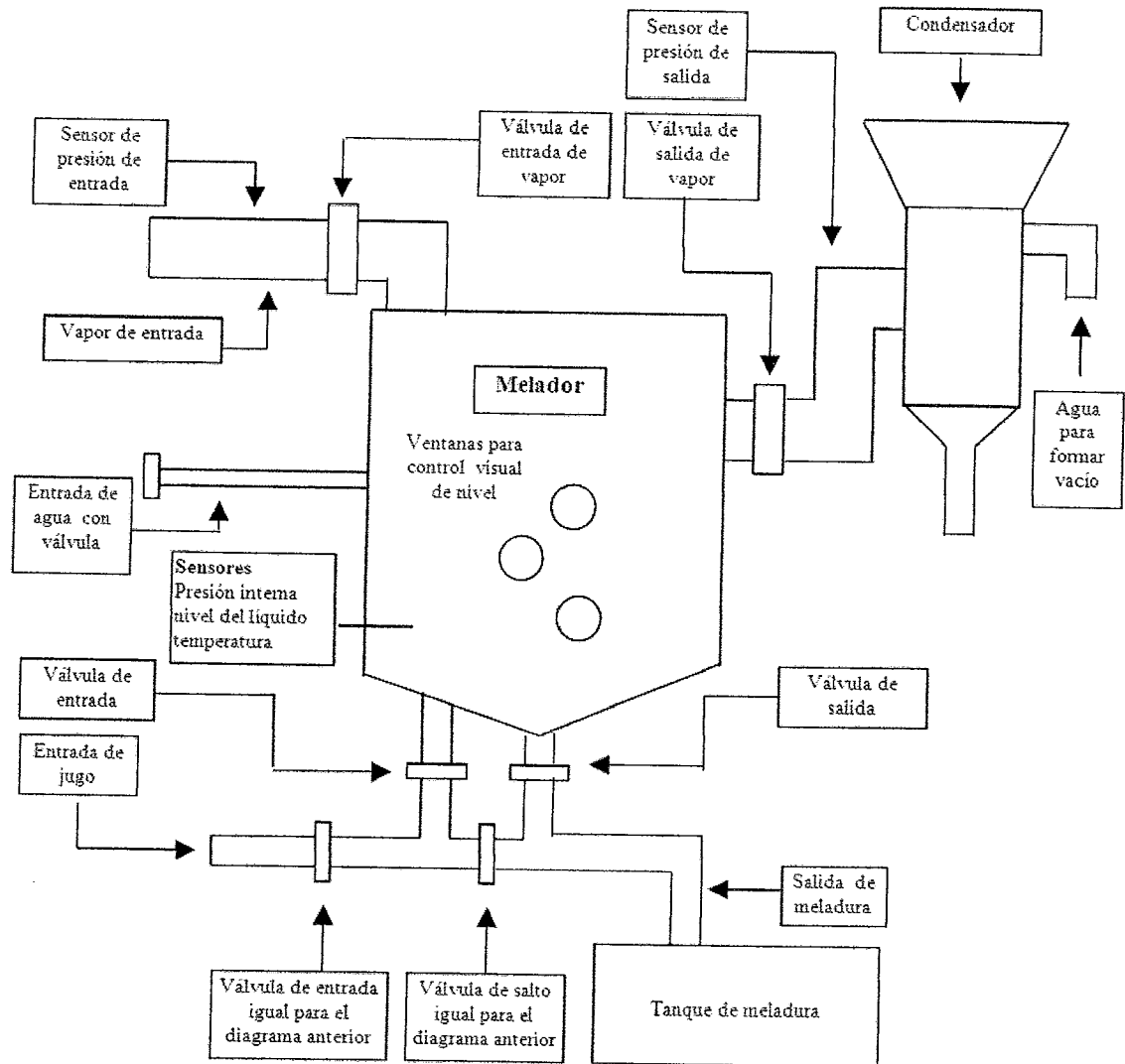
El diagrama de un evaporador es el siguiente:

Gráfica No. 16 Diagrama de un evaporador



El Melador tiene una estructura diferente al evaporador. Su diagrama es el siguiente:

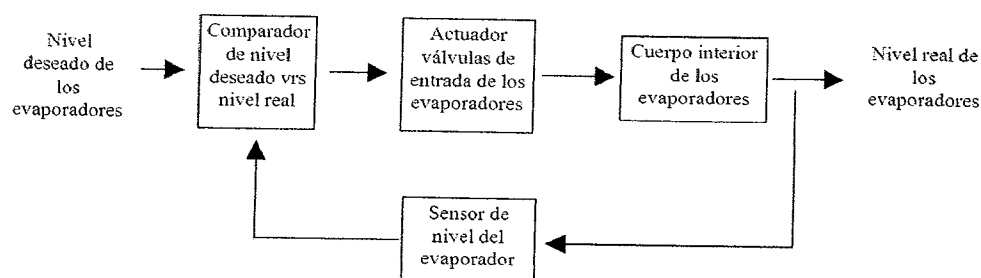
Gráfica No. 17 Diagrama de un melador



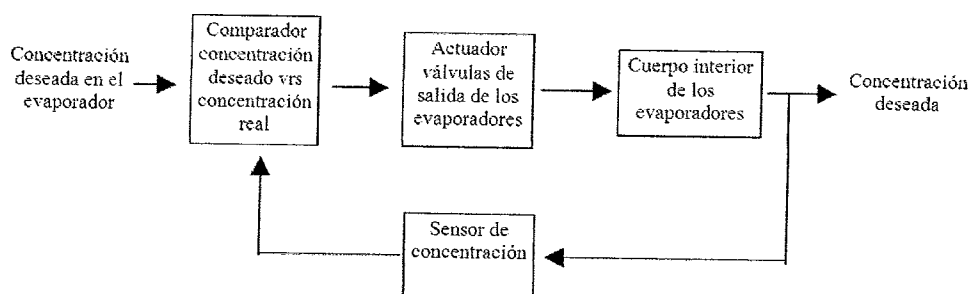
Mantener controlado el flujo de jugo que entra a los evaporadores es importante porque si se logra mantener un flujo dado mantendrá los procesos anteriores constantes sin necesidad de detener los procesos para que no se junte material dentro de la fábrica.

La concentración y el nivel de los evaporadores son las variables principales que se tienen que controlar. Los diagramas de control de las mismas es el siguiente:

Gráfica No. 18 Diagrama de control del nivel de los evaporadores

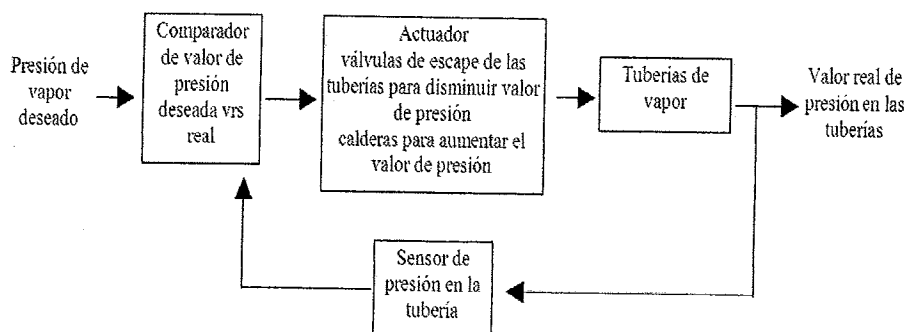


Gráfica No. 19 Diagrama de control de la concentración de los evaporadores



Actualmente, no hay ningún sensor que indique la concentración que tiene el líquido dentro de los evaporadores. Se deja a criterio de operador según su experiencia el graduar las válvulas de salida para apretar o aflojar el líquido dentro del cuerpo del evaporador. Se tienen unos manómetros para indicar el valor de presión dentro de las tuberías y de los evaporadores, los cuales le sirven al operador para tomar decisiones sobre el funcionamiento de los mismos. Además se tienen unos sensores de presión en las tuberías, los cuales son sensores de presión absoluta, cuya salida alimenta unos controladores electrónicos que se encuentran en un cuarto de control de evaporadores y en otros sitios. Estos controlan unas válvulas de escape que controlan la presión de vapor de las tuberías a los valores fijados en los controladores. Solo se pueden regular excesos. Cuando el error es negativo el problema viene de las calderas, donde se avisa a los supervisores encargados de corregirlas. El diagrama de control para la presión de vapor es el siguiente:

Gráfica No. 20 Diagrama de control de la presión de vapor en los evaporadores

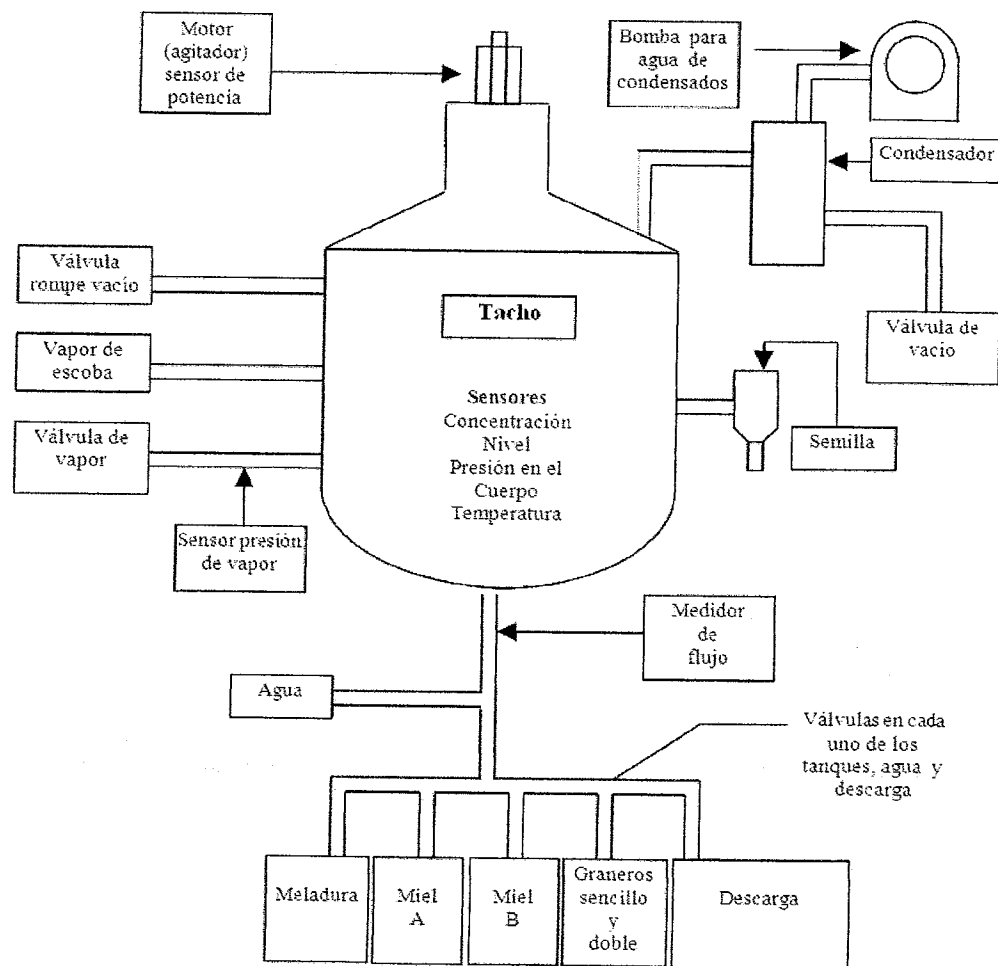


La presión principal que alimenta los pre evaporadores es regulada por tres válvulas y tres controladores del tipo anterior. Esto es debido a que una sola válvula no es suficiente para poder regular la presión de esa tubería. Estos tres controladores se accionan secuencialmente, teniendo el valor de presión de vapor deseado levemente diferente. Esto hace que si el exceso es pequeño, solo se accione uno y si esto no lo logra controlar se acciona el siguiente y así sucesivamente. Con los niveles de vapor regulados, solo se tienen que manejar el nivel del líquido dentro de cada evaporador. Los evaporadores, como se vio anteriormente tienen sensores de nivel, cuya lectura usa el operador para poder regular las diferentes válvulas que controlan el flujo dentro del ciclo de los evaporadores.

Para un mejor funcionamiento de evaporadores, se cuentan con ciclos de limpieza. En cada uno de estos se sacan de servicio dos evaporadores, según un programa cíclico. Se cuenta con siete ciclos diferentes, los cuales permiten que todos los cuerpos puedan ser limpiados. Por esta razón es que se cuenta con dos meladores. Cuando el melador principal (vaso 5) sale de servicio, el vaso 4 entra a funcionar tomando las características de este.

8. **TACHOS.** Estos son los aparatos cuya función consiste en formar el grano de azúcar dentro de la meladura. Los tachos trabajan saturando la miel en el líquido y concentrándola para lograr que el azúcar cristalice. El diagrama de un tacho es el siguiente:

Gráfica No. 21 Diagrama de un tacho



El proceso en los tachos consta de tres etapas:

- Procesos en tachos de primera
- Procesos en tachos de segunda
- Procesos en tachos de tercera

Estos procesos fueron descritos anteriormente. El azúcar que se obtiene en los tachos de primera es el azúcar final. El éxito en esta etapa depende de todos los procesos anteriores.

Los pasos que componen cada una de las etapas anteriores se pueden escribir detalladamente así:

- **Espera de carga.** En este proceso en el interior del tacho se produce vacío, para poder succionar los productos que necesite para el proceso que se está llevando a cabo. También se calienta el tacho hasta una temperatura definida.
- **Carga de materia prima.** En esta parte el tacho, una vez pasado el proceso anterior succiona los productos que necesite para el proceso que se está llevando a cabo (cristalización, doble o sencillo)
- **Concentración.** Una vez cargadas las diferentes materias primas, se concentra la masa hasta el valor deseado.
- **Adición de semilla.** Este proceso se hace para cristalizaciones de 2da y 3ra o para hacer la primera templa de primera, al empezar la producción. Este proceso consiste en agregarle a la templa una sustancia que consiste en azúcar glas combinada con alcohol isopropílico.
- **Aclaramiento.** En esta parte se le introduce a la masa una cantidad de agua determinada, para lavar un poco la miel. Se empieza a llenar el tacho de las mieles determinadas (dependiendo del proceso) hasta un volumen determinado. Aquí se empieza a formar el grano de azúcar, todavía con consistencia fina, pero estable.
- **Desarrollo doble.** En esta parte del proceso, el volumen de miel se concentra hasta un valor determinado, dependiendo del tipo de templa que se esté desarrollando.
- **Descarga doble.** Al llegar a este paso del proceso, la mitad de la carga del tacho se vacía en un tanque temporal, que se conoce con el nombre de granero doble.
- **Carga doble.** En este paso del proceso, el tacho succiona del granero doble la masa que se encuentra ahí para desarrollar los sencillos.
- **Desarrollo sencillo.** Aquí al material que se encuentra en el tacho después de vaciar en el granero doble, o al material que se seccionó del mismo, se le agregan proporciones de mieles (dependiendo del proceso, de primera, segunda o tercera), hasta que se obtenga un volumen total determinado. Una vez que se obtiene el volumen deseado, se concentra la masa hasta un valor determinado.
- **Paso a sencillo.** En este paso, una vez que el desarrollo sencillo tiene la concentración deseada, se vacía la mitad del tacho a un tanque temporal conocido con el nombre de granero sencillo.
- **Carga de sencillo.** Aquí el tacho succiona la masa que se encuentra en el granero sencillo, o usa el material que quedó en el tacho después de que vació la mitad de su contenido en el granero sencillo, para continuar el proceso y desarrollar una templa directa.
- **Desarrollo de templa directa.** Éste es el desarrollo que va a salir como producto final, ya sea como masa de primera, de segunda o de tercera. En esta etapa, el material del sencillo (aproximadamente la mitad del volumen total del tacho). En esta etapa, la masa del sencillo se lleva hasta un volumen determinado, agregándole mieles (los porcentajes varían de acuerdo a la etapa).

- **Apriete previo.** Aquí la templa directa se concentra hasta un valor determinado, muy cercano al valor final que se desea para el tipo de producto final. Aquí se verifica la viscosidad del material y si este valor está correcto se pasa a los pasos siguientes.
- **Apriete final.** Se concentra la masa hasta el valor final deseado.
- **Descarga.** En esta etapa, se abre la válvula de rompe vacío (esta sirve para nivelar la presión interior con la presión exterior). Una vez que se igualan las presiones interior y exterior, se abren las válvulas de descarga hacia los recibidores de primera, segunda o porta templeas, dependiendo del tipo de templa que se haya desarrollado. Aquí se terminan las etapas encargadas del desarrollo del grano.
- **Escoba.** En esta parte del proceso, se abre una válvula de vapor que va al interior del tacho, la cual rocía de vapor a una presión determinada para limpiar las paredes del tacho, así como las diferentes tuberías que se usaron para succionar o descargar el material.

9. **CONTROL DE TACHOS.** A diferencia de los procesos anteriores, en los cuales el jugo está pasando de forma continua por todas las etapas, en el proceso que se desarrolla en los tachos, los pasos se realizan de forma secuencial. Aquí se tienen que controlar (en este caso nos referiremos a controlar a medir y tener los valores más precisos posibles) dos variables principalmente.

- Concentración
- Nivel del tacho

Controlando estas dos variables se puede controlar todo el proceso. El resto de trabajo queda en programar los pasos con los valores de niveles y concentraciones deseados para cada uno.

Las funciones de cada una de los componentes del tacho son:

- **Válvula rompe vacío.** Antes de descargar la templa final, esta válvula se abre para que el contenido se vacíe completamente en el recibidor por gravedad.
- **Válvula de vapor de escoba.** Cuando termina cualquier proceso completo, accionando esta válvula ingresa vapor a presión para limpiar las paredes y tuberías del tacho.
- **Sensor de presión de vapor a calandria.** Este sensor tiene por objeto medir la presión de vapor que tiene el vapor que ingresa al cuerpo. Este tiene que tener un valor determinado y se puede regular con la válvula de vapor.
- **Válvulas variables de vapor.** Por aquí ingresa el vapor al cuerpo y sirve para regular la temperatura y la presión de vapor a los valores fijados en el diseño.
- **Medidor de flujo.** Registra en galones por minuto el flujo que entra a la calandria. Con este sensor se regula el nivel del material en el tacho.
- **Válvulas de meladura, miel A y miel B.** Dejan pasar los materiales por succión al tacho. Para esto el tacho tiene que estar siempre a una presión de vacío determinada. Dependiendo de la pureza que determina el laboratorio en cada una de las mieles, el sistema hace un cálculo para mezclarlas y tener como resultado en el tacho una pureza determinada.
- **Válvula de agua.** Ésta deja pasar agua para aclarar durante la etapa de semillamiento.
- **Válvula de ingreso a graneros.** Cuando se rompe el vacío en el tacho, se abren las válvulas y por gravedad el producto cae en los graneros, dependiendo de la etapa en que se encuentre el proceso, o cuando se necesita seguir con los desarrollos de sencillos o directas, se abren estas válvulas y por succión se jala el material.

- **Válvulas de descarga.** Cuando se termina de desarrollar una templa directa, se rompe el vacío y se abren estas válvulas para descargar las templeas ya sea en los recibidores de primera o segunda o en el porta templeas.
- **Sensor de temperatura.** Indica la temperatura que tiene el interior del cuerpo en cada instante del proceso.
- **Sensor de presión del cuerpo.** Este sensor indica la presión de vapor que tiene el interior del cuerpo en cada instante del proceso. La presión interior del cuerpo debe tener un valor aproximado de 2 psi en funcionamiento.

En cada uno de los pasos del proceso de los tachos, se deben tomar varias variables en consideración. Estas consideraciones se resumen en lo siguiente:

Para el desarrollo de templeas (sencillas y directas) se debe controlar los siguientes parámetros:

- **Concentración del material.** Esto se puede hacer ya sea por medio de la medición con un sensor de concentración o por medio de la carga del motor del agitador, pues ésta es proporcional a la viscosidad del material dentro del tacho.
- **Niveles de los tanques de meladura, miel A y miel B mínimos para alimentar los tachos.** Si cualquiera de estos niveles está por debajo de los mínimos aceptables, entonces se pasa a la etapa espera de carga.
- **Potencia máxima del agitador.** En caso de que se descuide el proceso y la masa dentro del tacho se concentre demasiado se tiene fijada una potencia máxima que dará el motor para agitación del material. Si pasa de este valor entonces el proceso se detiene.
- **Criterios para el cálculo de flujo de los diferentes materiales.** Estos se deciden de acuerdo a los valores del laboratorio o a criterio del operador.

Para la etapa de espera de carga los parámetros que se deben controlar son los siguientes:

- **Temperatura dentro del cuerpo para condensar el agua.**
- **Porcentaje de apertura de la válvula para el arranque de la bomba de vacío.**
- **Valor de la presión de vacío mínimo en el tacho para permitir que se pase a la etapa de carga del tacho.**

Los parámetros que se deben controlar en la etapa de carga del tacho son los siguientes:

- **Flujo de los diferentes materiales que se agregarán al tacho para el proceso.** Esto depende del proceso que se esté realizando, ya sea de primera, segunda o tercera.
- **Niveles mínimos que debe de haber en los tanques de mieles.** Si los niveles no son los adecuados, entonces se pasa a la etapa de espera de carga.
- **Nivel que debe de tener el tacho cuando se cargue.** Esto se puede controlar por un sensor de nivel o calculándolo indirectamente por medio del flujo de materiales que se le agregan al tacho.

Para los procesos de concentración y semillamiento se deben controlar los siguientes parámetros:

- **Nivel que debe tener el tacho para poder comenzar esta etapa.** Debe ser aproximadamente un 38% de la capacidad máxima del tacho.
- **Presión de vacío y de vapor de entrada requeridos para empezar esta etapa.** Éste tiene que tener un valor determinado para poder tener un buen producto final.
- **Presión de vacío y de vapor de entrada durante el proceso.** Estos se deben regular a los valores determinados para tener un buen desarrollo y concentración.

- Concentración de la mezcla, para que los valores sean los esperados.

Para la etapa de adición de semilla y desarrollo del grano doble se debe medir y controlar los siguientes parámetros:

- El tiempo de apertura de válvula de semilla, que debe ser de 15 segundos.
- El tiempo de espera para el lavado del tubo de siembra, el cual debe ser de 5 segundos.
- El tiempo de lavado del tubo de siembra, que debe ser de 10 segundos.
- El tiempo de formación y desarrollo del grano, el cual debe ser de aproximadamente 20 minutos y depende del proceso.

Para el proceso de aclarado o dilución del grano se deben de tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- Incremento en el nivel del tacho por adición de agua, pues el porcentaje de agua que se agrega tiene un valor determinado.
- Volumen inicial de la meladura con grano fino.
- Se deben tener definidos los permisos para adición de mieles, dependiendo del proceso, además de su cantidad, dependiendo de los datos del laboratorio.
- Se debe controlar el volumen máximo que se quiere en el tacho en este paso.
- Concentración máxima del azúcar en este proceso.

Para el proceso de pase o carga a/de granero doble o sencillo se deben de tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- Se debe definir el origen o el destino, ya sea el tacho o el granero.
- Se debe definir el nivel de masa que debe de tener el granero doble o el tacho para aceptar o descargar la masa.
- Tiempo de apertura de válvula de escoba para limpiar el tacho y pasar a la siguiente etapa.
- Nivel en el tacho para terminar el pase o aceptación de material al/del granero. Éste debe de ser la mitad del volumen antes de empezar esta etapa.

Para las etapas de espera de descarga y apretado final se deben de tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- Los niveles de los recibidores de las masas resultantes. Si el valor de los niveles es mayor que el fijado, entonces se debe esperar hasta que los niveles bajen a los nominales.
- La presión de vacío y de vapor. Éstas tienen que tener valores determinados para lograr que la masa llegue a tener la concentración deseada final.

Para la fase de descarga del tacho se deben tomar en cuenta los siguientes parámetros

- Apertura de la válvula de rompe vacío, para nivelar la presión dentro del tacho de la presión externa.
- La presión de vacío que debe tener el cuerpo para abrir y cerrar la válvula de escoba
- Cuando la presión de vacío llegue a un valor determinado se debe abrir la válvula de descarga.
- Al llegar el nivel de la masa a un valor determinado, se debe pasar a la fase de escoba.
- Se debe dejar un tiempo de espera para comenzar la fase de escoba.

Para la fase de escoba se deben tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- Temperatura dentro del cuerpo para iniciar fase de escoba
- Tiempo de duración del proceso
- Tiempo para salida de la carga del tacho.

10. **TACHO CONTÍNUO.** Este es un tipo de tacho que tiene un funcionamiento diferente a los descritos anteriormente, aunque su función es la misma.

La diferencia básica que existe entre éste y los tachos normales, es que éste, como su nombre lo indica, realiza todos los procesos de forma continua, es decir que tiene un flujo de materiales constante, y un flujo de salida constante de masa primera. Por lo tanto este tacho debe ser controlado automáticamente. Este tacho está automatizado, y se controla desde el cuarto de control de tachos.

Este tacho está compuesto por tres cámaras, por las cuales las mieles van circulando mientras se va formando el grano de azúcar. Estas cámaras están denominadas por C1, C2 y C3 respectivamente. La materia de entrada tiene una pureza específica. Con los datos del laboratorio, se calcula la mezcla que debe haber entre magma y meladura para cada una de las cámaras.

El tacho también cuenta con un agitador en la cámara tres, el cual mantiene en movimiento la masa dentro del tacho. La masa primera que sale de la cámara tres, cae en un tanque receptor de tacho continuo. Después la masa primera se mezcla con la masa primera que proviene de los tachos convencionales, y ésta alimenta a las máquinas centrifugadoras.

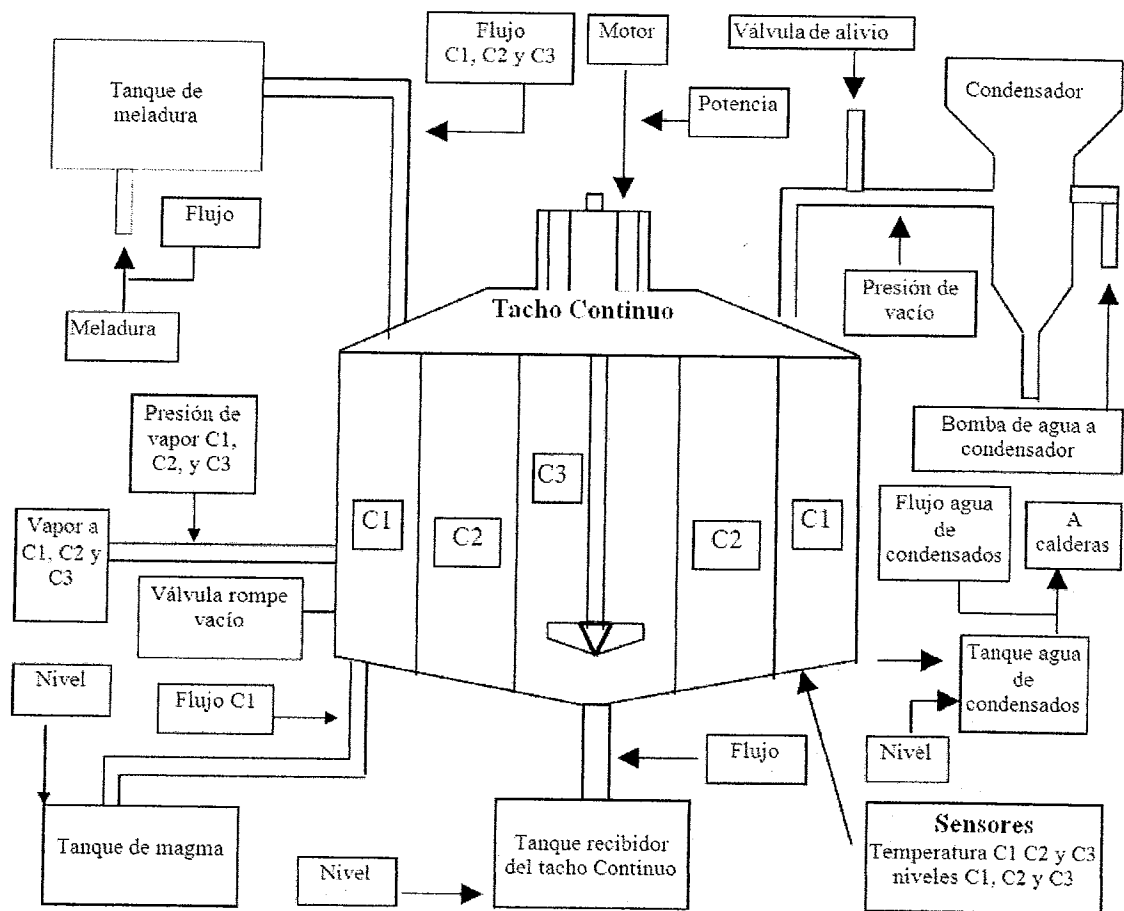
11. **CONTROL DEL TACHO CONTINUO.** El tacho continuo, como se mencionó anteriormente, necesita de un control total para que el proceso se lleve a cabo de manera exitosa. Las variables que se deben controlar en este complejo son las siguientes:

- Nivel del tanque de meladura. Éste se controla mediante un cálculo que se hace midiendo el flujo de meladura que sale del tanque y entra al tacho continuo
- Flujo de meladura a las cámaras C1, C2 y C3. Este parámetro es controlado por la potencia del agitador. Con ésta se regulan las válvulas de flujo, porque dependiendo de la cantidad de meladura que entre al tacho, la carga del motor del agitador aumentará, o disminuirá demasiado si la cantidad de meladura es baja.
- Presión de vapor que entra en cada parte del cuerpo (cámaras).
- Nivel del tanque de magma.
- Flujo de magma a C1. Como en el tacho se hacen templeas de primera, el magma sirve para que se produzca el semillamiento constantemente. Como éste es el principio del proceso, solo entra en la cavidad C1. De ahí en adelante se empieza a concentrar y a cristalizar.
- Nivel del receptor de masa. Si éste está muy lleno, se regula la salida de masa primera de la cámara C3. Entonces se empiezan a disminuir automáticamente los flujos que alimentan al tacho hasta que se vuelve a tener el valor deseado.
- Flujo de salida. La tubería de salida tiene un sensor que va midiendo la cantidad de masa que va saliendo por esa tubería.
- Concentración en la cámara C3. Se desea tener un valor de concentración de azúcar en la masa primera en la cámara C3. Éste se mide con un sensor atómico que mide la cantidad de sólidos en la masa o mediante la potencia del motor del agitador.
- Temperaturas de las diferentes cámaras. Éste se regula con la presión de vapor que entra a los cuerpos.
- Niveles de las cámaras. Estos niveles de material tienen que estar comprendidos en un rango de valores para que el proceso se realiza correctamente.

- Flujo de agua de condensados a calderas. Se controlan los niveles de los tanques de aguas condensadas para mantener estos a un nivel constante. El agua que sale de los tanques se vuelve a ir a calderas para volver a utilizarlas para producir vapor.
- Válvula rompe vacío. Esta tiene la misma función que en los tachos normales.
- Válvula de alivio. Cuando la presión de vacío sube de sus valores normales de operación, esta válvula tiene la función de regular este valor al valor nominal. Se puede abrir manualmente desde el panel de control.
- Estado de todas las bombas del equipo. Se mide en todo momento si están prendidas o apagadas.

El tacho continuo, como se mencionó anteriormente, depende en gran parte del control efectivo que se haga de todas sus variables. El diagrama del tacho continuo, donde se presentan esquematizadas todas las variables anteriores es el siguiente:

Gráfica No. 22 Diagrama del tacho continuo



Actualmente la mayoría de parámetros y constantes del sistema de control automático, tanto en refinería como en tachos, están fijados de acuerdo a comportamientos teóricos de los sistemas. El comportamiento de todos los procesos se está guardando en archivos dentro de las computadoras. Estos valores pueden ser optimizados estadísticamente, aumentando la eficiencia de todos los controladores PID.

En el cuarto de control, se tiene en una pantalla de computadora todas las variables en un solo gráfico para que los operadores puedan detectar algún comportamiento anómalo del proceso. Ellos toman decisiones en caso de que los equipos empiecen a funcionar equívocamente. En este cuarto también se controlan los tachos del tipo normal que están automatizados. Aquí se van chequeando todas las fases del proceso y se lleva un control gráfico de las variables a controlar.

12. CENTRÍFUGAS. Estos son los aparatos que tienen la función de separar la miel del azúcar. Este proceso, como su nombre lo indica, es hecho por centrifugación.

Las máquinas centrífugas son filtros cilíndricos rotativos, cuyas paredes rotativas tienen poros que permite que la miel se filtre a través de estos. La miel se dispersa, mientras el azúcar se queda dentro del cilindro. Después el azúcar se extrae de la máquina y llevada por fajas transportadoras a los diferentes lugares de almacenamiento.

Hay tres clases de máquinas centrifugadoras, dependiendo del tipo de masa que separen. Éstas son:

- Centrífugas automáticas de primera
- Centrífugas continuas de segunda
- Centrífugas continuas de tercera.

Las centrífugas de primera se encargan de separar la masa de primera en miel A y en azúcar de primera. Esta es el azúcar que se vende al público.

Las centrífugas de segunda separan la masa de segunda en miel B y azúcar de segunda. Las centrífugas de tercera separan la masa de tercera en azúcar de tercera y en melaza.

Las mieles A y B sirven para retroalimentar los tachos de segunda y de tercera. El azúcar B mezclada con jugo claro compone la masa conocida como magma. El azúcar de tercera, mezclado con jugo claro es llevado hasta el tanque pulmón, donde se vuelve a mezclar con la meladura, para que no se desperdicie nada, y se extraiga la mayor cantidad de azúcar posible de la caña.

13. CONTROL DE MÁQUINAS CENTRÍFUGAS. Las máquinas centrífugas automáticas de primera, al igual que los tachos, tienen un funcionamiento secuencial y cíclico. Es decir que repiten las diferentes fases de su proceso de forma cíclica. Todas las máquinas centrífugas automáticas de primera están controladas por dispositivos de control, algunos más modernos que otros, pero con las mismas funciones. Los más nuevos tienen PLC para el control secuencial, con temporizadores digitales. Las más antiguas tienen controladores análogos, los cuales tienen una serie de relojes que se disparan de manera secuencial, y cada uno controla un proceso. Las fases de cada una de las centrífugas automáticas de primera son las siguientes:

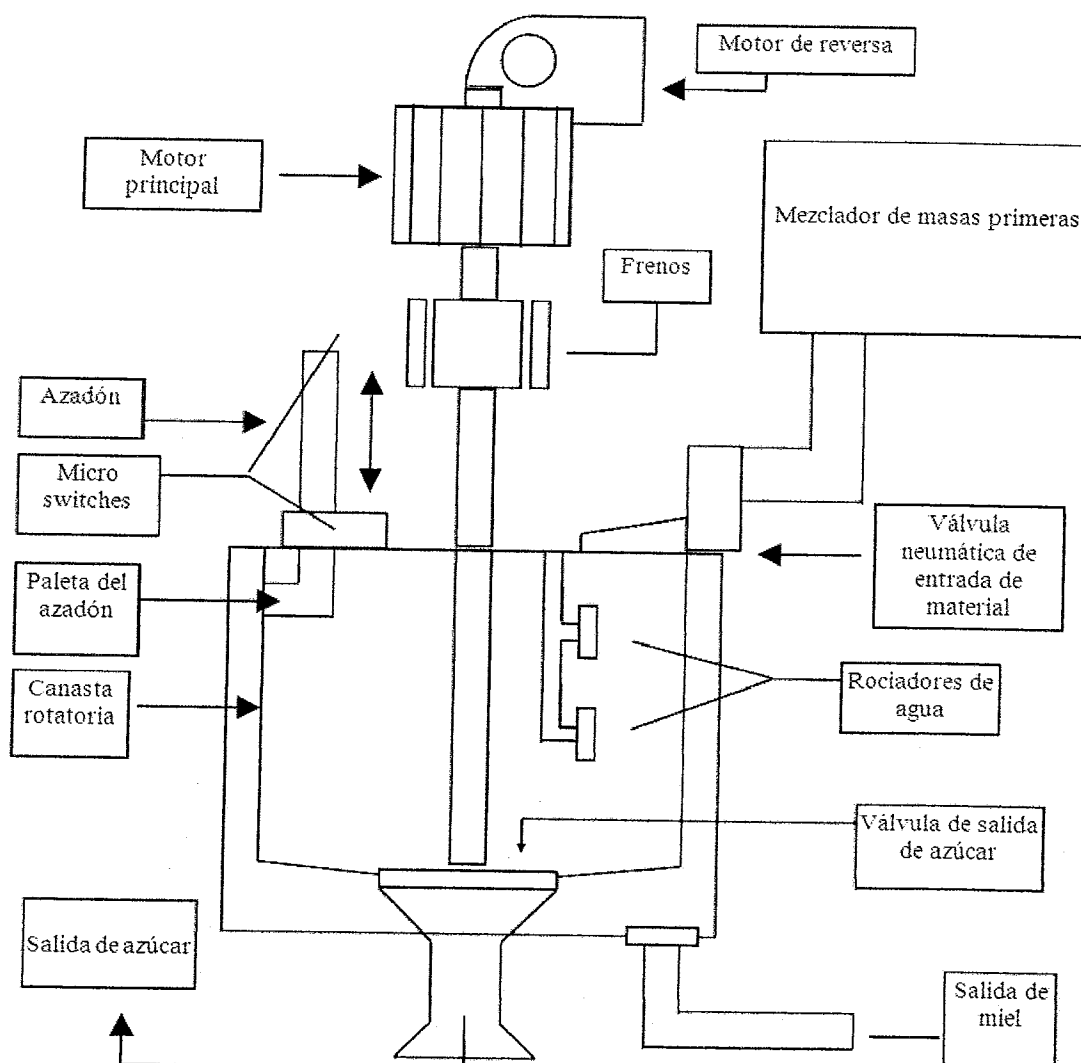
- Lavado de la canasta con agua
- Carga de la máquina con masa primera hasta un volumen determinado. Ésto se realiza abriendo y cerrando una válvula de alimentación cuando sea el caso.
- El cilindro (o canasta) empieza a girar a gran velocidad, quedando la masa pegada en las paredes de la canasta. Mientras que va girando la miel se está purgando del azúcar. La miel primera sale por una tubería hacia el tanque de miel A.
- Durante la etapa de centrifugación, se hacen dos lavados del azúcar con agua caliente, para que esta salga lo más blanca posible
- Se para el motor y se aplican unos frenos de disco para un frenado completo.

- Se abre la parte inferior del tanque para permitir que salga el azúcar.
- Empieza a girar la canasta de forma lenta en sentido contrario al movimiento anterior
- El azadón se activa y empieza a barrer en forma vertical el azúcar (bajando de su posición inicial hasta el fondo de la canasta), y esta cae al fondo de la canasta.
- Se vuelve a repetir el proceso.

El tiempo de lavado y el tiempo de centrifugación está regulado por relojes, los cuales son fijados dependiendo del azúcar que se quiera producir. Si se quiere producir un azúcar de alta calidad, el tiempo de centrifugación, así como el de los dos lavados debe de ser mayor que cuando se quiere producir un azúcar de baja calidad o crudo.

El diagrama de una máquina centrifugadora automática de primera es el siguiente:

Gráfica No. 23 Diagrama de una máquina centrifugadora automática de primera



El ancho de la pared de la masa debe de ser aproximadamente 7 pulgadas. El azadón tiene unos sensores (micro switches) para obtener la lectura del principio y final de la carrera para cada uno de los

movimientos que realiza. Las centrifugas más nuevas tienen sensores inductivos en lugar de los micro switches.

Los temporizadores que utilizan los controladores de las máquinas centrifugadoras automáticas de primera son los siguientes:

- Tiempo de prelavado
- Tiempo en que empieza primer lavado
- Duración del primer lavado
- Tiempo en que empieza segundo lavado
- Tiempo de segundo lavado
- Tiempo para empezar a frenar
- Tiempo de parada en cuanto falle el sistema

Los primeros seis tiempos funcionan de manera secuencial, es decir que cuando se vence el tiempo en cada temporizador, empieza a correr el tiempo en el siguiente. El séptimo tiempo está fijado por seguridad. Hay un juego de temporizadores por cada una de las centrifugas automáticas de primera.

Estas centrifugas también pueden trabajar en tres modos:

- Manual. Hay un juego de botones por centrifugadora que permiten realizar cada uno de los pasos descritos anteriormente de forma manual
- Automático. En este modo cada una de las centrifugadoras realiza cada ciclo independientemente de cómo vayan las demás.
- Secuencial. En este modo solo una de las centrifugadoras puede empezar ciclo a la vez.

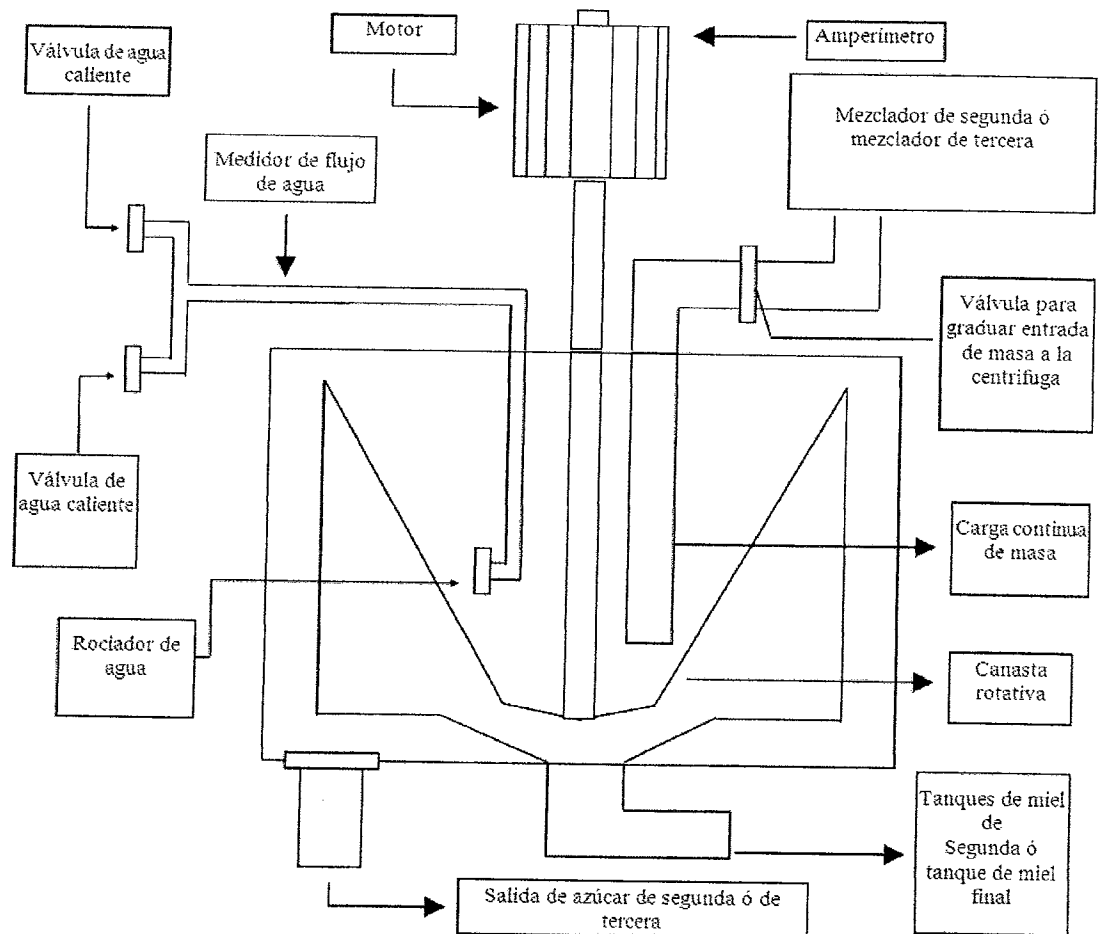
Actualmente no existe ningún control sobre la carga de azúcar que se tira a las fajas, teniendo problemas de vez en cuando de que descargan dos máquinas a la vez, o casi al mismo tiempo, recargando los elevadores que se encuentran al final de las fajas, teniendo el riesgo de que los elevadores se atasquen. Tampoco hay control sobre los factores externos que pueden afectar el funcionamiento correcto de las máquinas, como lo son el control de las fajas y los niveles de los tanques que proporcionan la masa para alimentar a las máquinas centrifugadoras.

Las centrifugas continuas de segunda y de tercera tienen un funcionamiento similar. Éstas tienen la diferencia de que la masa de segunda o de tercera está ingresando continuamente a la canasta, mientras que está descargando azúcar y miel continuamente.

Estas centrifugas están controladas manualmente. El ingreso de masa se regula por medio de una válvula. El operador la gradúa de acuerdo a la carga que tiene el motor que gira la canasta, en amperímetros. Cuando la carga de la canasta está arriba del nominal, los motores tienen protección y se apagan. Si no se controla esto, la masa se empieza a rebalsar.

Un diagrama típico de una máquina centrifugadora continua de segunda o de tercera es el siguiente:

Gráfica No. 24 Diagrama de una máquina centrifugadora de segunda o tercera



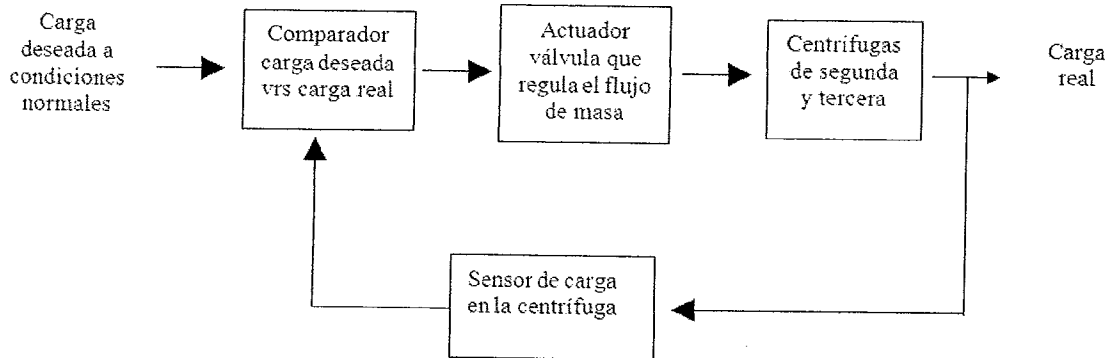
Los valores típicos de carga para las diferentes centrifugas, en condición normal son los siguientes:

Cuadro No. 4 Carga nominal en amperios de las centrifugadoras

Centrifuga	Tipo	Carga nominal (A)
1	Tercera	300
2	Tercera	150
3	Tercera	300
4	Tercera	120-200
5	Segunda	30-35
6	Segunda	45-50
7	Segunda	45-50
8	Segunda	45-50
9	Segunda	50
10	Segunda	50
11	Segunda	75
12	Tercera	50
13	Tercera	250
14	Tercera	250
15	Tercera	35

Cuando la carga sube arriba de estos valores, los operadores regulan manualmente las válvulas para que la carga baje a los valores nominales y viceversa. El diagrama de control de las centrifugas continuas de segunda y de tercera es el siguiente:

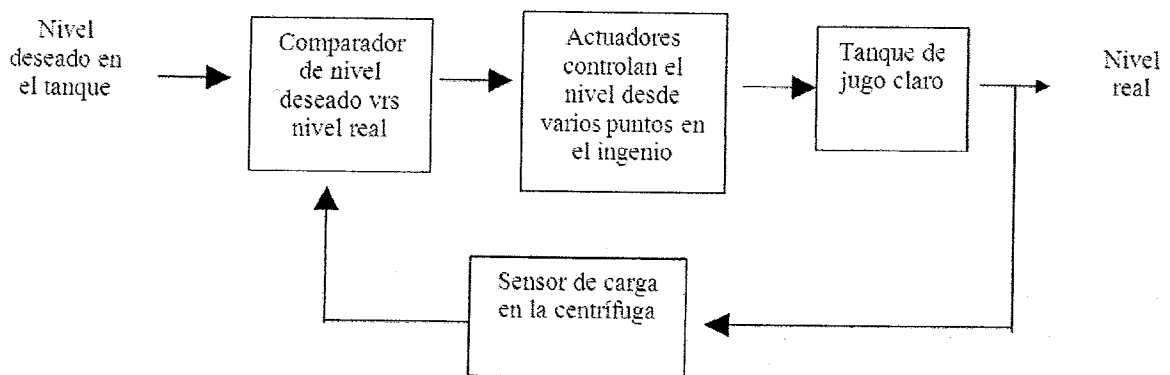
Gráfica No. 25 Diagrama de control de las centrifugas continuas



14. **TANQUE DE JUGO CLARO.** Este tanque es de mucha importancia, pues en este se acumula el jugo claro que va a alimentar a los evaporadores. En apariencia este tanque no tiene mucha trascendencia en el proceso de producción de azúcar, pero a nivel de control, este tanque es de suma importancia para fijar los demás parámetros que se controlan a lo largo del proceso. Este tanque tiene tuberías de entrada que vienen de los clarificadores de jugo y salidas hacia los evaporadores.

15. **CONTROL DEL TANQUE DE JUGO CLARO.** La variable a controlar en el tanque de jugo claro es el nivel del jugo en el mismo. El diagrama de control de este es el siguiente:

Gráfica No. 26 Diagrama de control del tanque de jugo claro



Los actuadores principales que regularan el nivel del jugo claro son los siguientes:

- Velocidad de molienda en los molinos
- Flujo de jugo claro a los evaporadores
- El control que se debe tener debe ser el siguiente:

Si el nivel del jugo claro está superando el nivel deseado, se debe bajar gradualmente la velocidad de molida en los molinos, pues este nivel es indicador de que se está moliendo más caña y por lo tanto extrayendo más jugo del que se puede procesar de una manera óptima.

Si el nivel sigue subiendo y se llegó al nivel mínimo requerido de molida, dependiendo de la carga de caña que haya en el patio, entonces se aumenta el flujo de jugo claro que va a los evaporadores. Ésto disminuirá el nivel de jugo claro en el tanque, pero la calidad de la meladura se verá afectada, pues como la cantidad de jugo que entra a los evaporadores está por arriba de su capacidad de procesamiento, entonces la concentración de sólidos que tenga la meladura será menor a la deseada, por lo que será más difícil obtener azúcar de forma óptima.

Si los niveles de jugo claro están por debajo del nominal, entonces se le puede indicar a los molinos que aumenten la velocidad de molida para que se extraiga mayor cantidad de jugo en el intervalo de tiempo. La disminución del nivel en el tanque de jugo claro es indicador de que se está procesando menor cantidad de caña de la que se puede procesar en el ingenio.

Por lo tanto tener un control del nivel del tanque de jugo claro ayudará a relacionar todas las variables que se han mencionado en el trabajo y poder obtener un proceso óptimo de producción de azúcar.

Controlar esta variable permite una visión de cómo se está comportando el proceso en general, pero la respuesta del sistema en general es lento comparado con la velocidad con que se controla el nivel del líquido. En otras palabras, su recuperación a valores nominales es lenta, por lo que su detección temprana ayudará a que no se tenga problemas con el desarrollo del proceso.

16. INSTRUMENTACIÓN. Entre los diferentes dispositivos electrónicos que se utilizan en el ingenio para el control de los procesos se encuentran los siguientes:

- Transductores de presión absoluta marca Foxboro. Estos transductores convierten un valor de presión a un valor eléctrico entre 4-20 mA. Se utilizan en tanques abiertos y para medir presión de vapor. Hay de varios rangos.
- Transductores de presión manométrica. Éstos también convierten un valor de presión a un valor eléctrico entre 4-20 mA. Se utilizan para medir presiones positivas, como presiones en tuberías. Se disponen de varias marcas: Foxboro, Rosmore, Bayley-Fisher-Porter. También se cuentan con transductores de varios rangos.
- Transductores de presión de vacío. Éstos convierten un valor de presión de vacío a una señal eléctrica entre 4-20 mA. Se usa para medir la presión de vacío en condensadores, turbinas, tachos. Se tienen transductores marca Foxboro, Rosmore, Bayley-Fisher-Porter. También se cuentan con equipos de varios rangos de medida.
- Transductores de presión diferencial. Éstos convierten un valor de diferencia de presión a un valor eléctrico entre 4-20 mA. Se utilizan para medir niveles en tanques abiertos o cerrados. Se tienen transductores marca Foxboro, Rosmore, Bayley-Fisher-Porter. Todos los transductores anteriores son de tipo de sensor de diafragma.
- Sensores de temperatura. Se usan sensores de Termo coplas tipo K. Éste es un transductor acoplado a un transmisor de 4-20 mA. Se usan en aplicaciones de temperatura elevada. Se cuentan con transductores marca Rosmore en varios rangos.
- Sensores de temperatura RTD (Sensores resistivos de temperatura). Hay de tipos Cobre 10, Cobre 100, Pt100 y PT395. Se utilizan para mediciones en temperaturas más bajas que las anteriores.
- Transductores de presión de salida Booster. Hay de dos tipos: de 1-4 y de 1-2. Por ejemplo, si se utiliza un transductor de salida de 1-4, si se tiene una entrada de 5 psi, la salida será de 20 psi.

- Transductores electro-neumáticos. Los más usados son los de entrada de 4-20 mA. a una salida de 3-15 psi.
- Transductores de corriente. Éstos tienen una entrada de 0-5 A y una salida de 4-20 mA. Éstos se utilizan para medición de corriente eléctrica, así como potencia en motores.
- Transductores de potencia trifásica. Estos se utilizan para medir la potencia en motores trifásicos. Tienen una salida de 4-20 mA.
- Sensores de Brix nucleares. Estos sensores miden la cantidad de brix que se encuentra en la masa. Se utilizan principalmente en tachos. Su desventaja es que hay que disponer del material radioactivo por medio de empresas especializadas y pagar por un largo periodo de tiempo su almacenaje después de que se dejó de usar.
- Sensores de nivel sónicos por resonancia. Éstos miden el nivel en los tanques por medio de ondas sonoras, restando el nivel total del tanque menos la medición que realice. Se utiliza en tanques de azúcar para estimar su volumen.
- Pick ups de inducción. Éstos son sensores inductivos que miden velocidades o movimiento. Tienen una salida de 4-20 mA. Se cuenta con transductores de marca Pepper-Fush y Bentley-Nevada.
- PMC (Programable Multifunction Controller). Se cuenta con uno en el ingenio. Es el encargado de controlar todos los sistemas automáticos, que incluyen el tacho continuo, tachos de fábrica y proceso de refinería. Éste sistema alimenta de datos el centro de cómputo que se encuentra en el tacho continuo, desde el cual se monitorean todos los procesos mencionados.
- SLC Allen-Bradley 501. Éstos son los que se encargan del control del arranque de los quemadores en las calderas
- SLC Allen-Bradley 503. Éstos son los que se encargan del control de las centrífugas de primera más nuevas.
- Controladores analógicos (PID) marca Fisher-Porter, Bayley, Foxboro. Éstos se encargan de manejar varios procesos en la empresa. Estos controladores son ajustados manualmente.
- Graficadores Foxboro y Fisher-Portes. Estos equipos grafican el estado de varias variables que se mencionaron durante el trabajo. Éstos tienen incluidos controladores PID analógicos que controlan dichas variables. Los parámetros también son ajustados manualmente.
- MC5000. Son controladores Fisher-Porter. Tienen 4 PID en un solo controlador. Se pueden configurar como lazos simples, enlazados o en cascada. Se utilizan para el control de calderas.
- Válvulas Fisher Control y Massoneillan. Éstas son válvulas neumáticas que tienen una entrada de 4-20 mA. Hay de varias capacidades y tamaños, y se usan para regular los flujos en diferentes tuberías.
- Válvulas Grinell. Son Válvulas On-Off. También hay de varias capacidades. Se utilizan en las entradas de tanques o en sistemas de tuberías.
- Electroválvulas Asco. También son de On-Off. También hay de varias capacidades y se utilizan principalmente en tuberías y entradas de tanques.

V. CONCLUSIONES DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Los objetivos del trabajo de graduación fueron básicamente la investigación y documentación de los diferentes procesos para la elaboración del azúcar en el Ingenio Santa Ana. Esto se logró debido al aporte que ambas instituciones, tanto el Ingenio Santa Ana como la Universidad del Valle de Guatemala hicieron en conjunto para facilitar la disponibilidad de los recursos humanos del ingenio así como la apertura de información para la descripción y visita de las diferentes operaciones que tiene el Ingenio.

Como resultado de este trabajo se logró cumplir con todos los objetivos planteados en el trabajo de graduación, que fueron la diagramación de los diferentes procesos involucrados en la producción del azúcar así como la diagramación de los diferentes lazos de control de cada uno de estos procesos. Adicionalmente se logró identificar, no mediante una teoría basada en libros de textos, sino en base a observación y discusión con los diferentes expertos encargados de los procesos, cómo se debería controlar y qué variables medir para lograr un proceso estable donde el producto sea de muy buena calidad, donde adicionalmente se tenga menos dependencia del control humano (que vale decir que lo observado es que la experiencia de muchos operadores es muy valiosa para que el proceso sea bueno) y que los costos puedan ser menores. Se pudo observar en una buena cantidad de procesos que ya cuentan con varios procesos de control, algunos muy avanzados como el control del tacho continuo, hasta la falta de control automático en algunos procesos como en el área de molinos. Por lo tanto la oportunidad de hacer proyectos donde se puedan controlar procesos unitarios hasta macro proyectos donde se pueda centralizar todos los procesos automáticos de la fábrica es una gran oportunidad que tanto el ingenio Santa Ana como otros ingenios pueden aprovechar para aumentar la productividad de todo el proceso.

También es importante concluir que se logró documentar que todos los procesos en la elaboración del azúcar pueden ser automatizados, debido a que todos cuentan con variables de control, cuya medición afecta de forma directa la calidad del subproducto en cada proceso, que al final impactan en el producto final que es el azúcar.

Para terminar es importante mencionar que este trabajo de graduación es un ejemplo de la colaboración que la industria en Guatemala puede tener con entidades educativas, donde profesionales recién graduados puedan empezar a conocer de fondo como los conocimientos obtenidos durante los estudios universitarios pueden ser aplicados en beneficio de todas las partes. Por esto es importante que la industria como las instituciones educativas busquen estas alianzas que permitirán de alguna manera hacer un impacto en los profesionales y estos al mismo tiempo en sus futuros trabajos.

VI. BIBLIOGRAFÍA

Dorf, Richard. 1989. *Sistemas modernos de control*. 2da ed. Addison-Wesley Iberoamericana. 568 pág.

Franklin G.F. 1991. *Control de sistemas dinámicos con retroalimentación*. Addison-Wesley Iberoamericana. 618 pág.

Documento electrónico consultado:

<http://www.monitorsugar.com>. 1998. Tema desarrollado por el Dr. Mosen Asadi, director de investigaciones de Monitor Sugar.