

## INYECCIÓN DE COLOR CARAMELO AL AZÚCAR DE CAÑA EN SU PROCESO DE ELABORACIÓN

Injection of caramel color to sugar cane in its fabrication process

### RESUMEN

En el Ingenio Risaralda, como en otros ingenios de Colombia donde se produce azúcar crudo (moscabado), se realiza el color del producto mediante la adición de colorantes naturales, sin lograr un color uniforme del azúcar a lo largo del proceso debido a la ausencia de un método que permita su aplicación sin afectar el procesamiento de otros productos. En este artículo se presenta el diseño de un sistema para la inyección del color caramelo durante el proceso de descarga de las centrifugas utilizando el árbol de lavado y soluciones mediante componentes eléctricos y neumáticos.

**PALABRAS CLAVES:** ingenios, azúcar crudo, colorantes, inyección, centrífuga.

### ABSTRACT

In the Ingenio Risaralda, as in other Colombian sugar factories where raw sugar is produced (brown sugar), the color of the product is enhanced by the addition of natural colorings, without achieving a uniform color of the sugar during the process due to the absence of a method of coloring application without affecting the processing of other products. This article presents the design of a system for the injection of caramel color during the process of unloading the centrifugal machines using the water spray system and solutions with electrical and pneumatical devices.

**KEYWORDS:** mills, raw sugar, colorings, injection, centrifugal.

### 1. INTRODUCCIÓN

El Ingenio Risaralda S.A., es una empresa agroindustrial dedicada al cultivo y transformación de la caña de azúcar, uno de sus productos es el azúcar moscabado.

El Ingenio Risaralda S.A. se ha visto en la necesidad de utilizar color caramelo en la obtención del azúcar crudo o moscabado para realzar su color.

Este artículo presenta el diseño y la implementación de un sistema de inyección de color caramelo para la producción de azúcar crudo, que pretende dar solución a problemas tales como el color no uniforme del producto terminado, eventuales derrames y el incremento de los costos de producción por la utilización de personal para la preparación y aplicación del material.

El alcance de este proyecto se centra inicialmente en la estación de centrifugas de primera extracción del departamento de elaboración del Ingenio Risaralda S.A., pero su alcance es extensible a la producción de azúcar crudo moscabado en otros ingenios.

La constante evolución en la producción de la popularmente llamada azúcar morena, desde que su proceso de obtención era durante la cristalización del azúcar en los reactores al vacío (tachos) obteniendo crudo natural, hasta el reemplazo de este método por el uso de

### EDISON HENAO CASTAÑEDA

Docente Auxiliar  
Universidad Tecnológica de Pereira  
[edisonhenao@utp.edu.co](mailto:edisonhenao@utp.edu.co)

### ALEXANDER DÍAZ ARIAS

Docente Especial  
Universidad Tecnológica de Pereira  
[alexdiaza@utp.edu.co](mailto:alexdiaza@utp.edu.co)

### DANNY CARDONA CUELLAR

Ingeniero Mecánico  
Universidad Tecnológica de Pereira  
[Dannymec81@yahoo.com](mailto:Dannymec81@yahoo.com)

colorantes naturales para realzar el color del ahora técnicamente llamado azúcar crudo moscabado, conlleva a que el presente proyecto sea de desarrollo tecnológico al contribuir con el mejoramiento del proceso de obtención de azúcar crudo moscabado en Colombia.

### 2. DISEÑO DEL SISTEMA PARA LA INYECCIÓN DE CARAMELO

Para la elaboración del diseño del sistema, se tienen en cuenta los requerimientos dados por el Departamento de Elaboración y se asocian con las condiciones de la planta en cuanto a recursos disponibles, condiciones locativas y normas de seguridad, con lo que se definen además factores tales como el nivel de automatización y la secuencia básica de operación y funcionamiento.

El sistema debe cumplir con: obtener un producto de color más uniforme a satisfacción de los clientes, mejorar los rendimientos del caramelo (caramelo utilizado / azúcar moscabado obtenido), minimizar o evitar caramelo remanente en el agotamiento de mieles durante y después del proceso de aplicación, reducir las horas hombre necesarias para la ejecución y supervisión del proceso, reducir el tiempo total del proceso para la obtención de un tonelaje específico de azúcar moscabado, versatilidad del sistema al permitir el desarrollo del proceso en forma automática o manual.

En forma general las funciones y acciones primordiales a desempeñar por el sistema son:

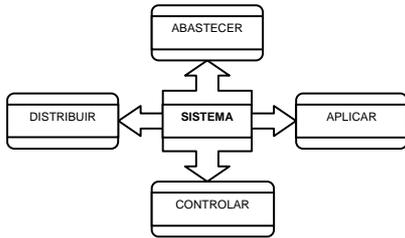


Figura 1. Funciones a desempeñar por el sistema de aplicación de caramelo

El diseño del sistema de aplicación de caramelo se divide en tres subsistemas: sistema de abastecimiento y distribución de caramelo, sistema de control para el suministro de caramelo a la red de distribución y sistema de control para la aplicación de caramelo (figura 2).

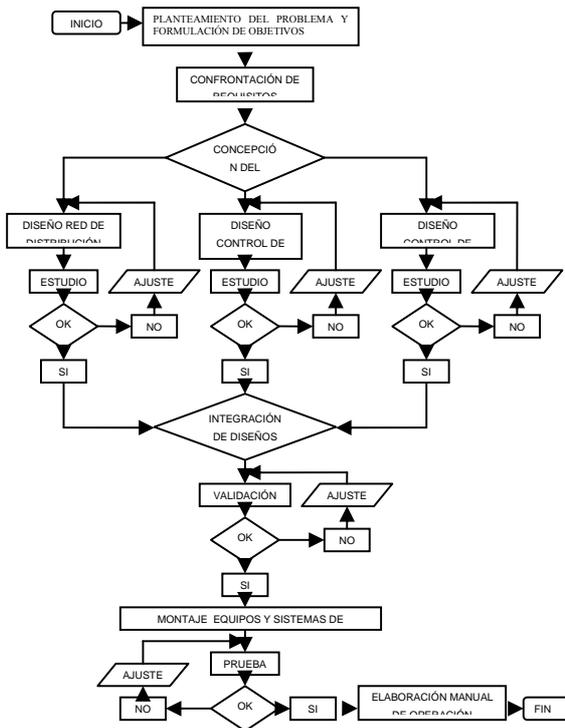


Figura 2. Organigrama del proyecto

**2.1 DISEÑO DE LA RED DE SUMINISTRO Y DISTRIBUCIÓN DE CARAMELO**

Este diseño tiene como finalidad establecer una ruta para el traslado del caramelo desde el tanque de

abastecimiento hasta cada una de las centrifugas de la estación.

**2.1.1 Aplicación del caramelo.** El mejor momento para aplicar el caramelo al azúcar es durante la descarga, puesto que en este momento el azúcar finaliza los ciclos de separación de mieles y secado. En este instante se evita que el caramelo se filtre por efecto del centrifugado al pozo de mieles y recircule por el agotamiento de ésta.

Se concreta que el lugar de aplicación debe ser en el interior del canasto de cada centrifuga y la mejor forma de aplicarlo es a través del árbol de lavado cuando el azúcar se encuentra adherido a las paredes y girando a bajas revoluciones. Con esto se aprovecha el chorro en forma de abanico que describen las boquillas del árbol de lavado para realizar una aplicación uniforme en la pared de azúcar, tal y como se ilustra en la figura 3.

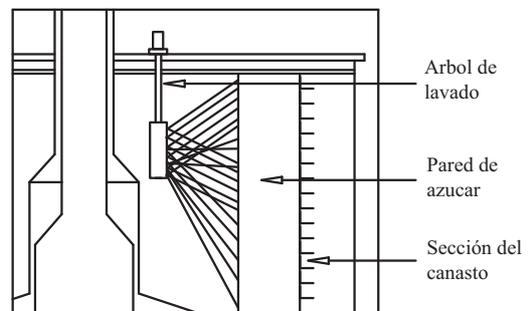


Figura 3. Aplicación en forma de abanicos sobre las paredes del canasto. Tomado de: Installation manual. Batch type electrically driven centrifugals [13]

Se establece además que el tiempo de secado dado por el operador debe ser el suficiente para que el azúcar quede firmemente adherido a las paredes del canasto y que el momento límite para cortar la aplicación del caramelo en cada máquina es cuando el arado empiece a raspar el azúcar.

**2.1.2 Caudal necesario.** El árbol de lavado de las centrifugas de primera posee especificaciones técnicas de gasto, presión y temperatura para el agua con la que se realiza el lavado. Para la aplicación de caramelo, se usa como referencia el valor de gasto establecido por el fabricante, el cual es de 1,53 l/min para cada boquilla del árbol. Esto lleva a un gasto total en las 11 boquillas que lo conforman de 16,83 l/min ≈ 17 l/min ≈ 4,5 gal/min. [13]

**2.1.3 Cabeza necesaria (cabeza dinámica).** Los cálculos para la cabeza son aplicados al tramo o ramal más largo, puesto que éste presenta la mayor cantidad de pérdidas [12]

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H_B = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + H_P \quad (1)$$

donde: 1 es el punto del nivel de caramelo presente en el tanque de abastecimiento y 2 es el punto donde se aplica el caramelo (descarga del tramo o ramal)

La ecuación para la cabeza de la bomba  $H_B$  queda definida mediante:

$$H_B = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta Z + H_P \quad (2)$$

Para el cálculo se asume como fluido de trabajo el agua, puesto que cerca del 70 % de la mezcla es agua [3].

Con base en pruebas realizadas a diferentes presiones, se establece que una presión de 275,86 kPa (40 psi) es suficiente para que el árbol de lavado describa el chorro en forma de abanico.

Es de aclarar que la presión de aplicación no debe ser elevada, pues ocasiona que la mezcla atraviese la pared de azúcar e ingrese al pozo de miel. Se determinó que la presión de aplicación debe trabajar en conjunto con las bajas revoluciones del canasto durante la descarga.

La velocidad en la descarga ( $V_2$ ) depende de los valores de gasto y sección transversal de la tubería:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (3)$$

Así, usando como referencia el gasto mencionado y el área de la sección transversal correspondiente, se obtiene:

$$V_2 = 2,49 \frac{m}{s} < 3 \frac{m}{s}$$

Lo cual está de acuerdo con las recomendaciones para el flujo en la descarga. [2]

La cabeza estática total ( $\Delta Z$ ) estimada es de 3,55 m (140 pulg) que corresponde a la distancia vertical entre el espejo del fluido en el tanque en el nivel más bajo posible y el punto de descarga.

Las pérdidas del sistema ( $H_p$ ) ó cabeza de pérdidas están conformadas por las pérdidas por fricción en la tubería ó pérdidas mayores ( $H_{PM}$ ) y las pérdidas por accesorios ó pérdidas menores ( $H_{Pm}$ ).

$$H_P = H_{PM} + H_{Pm} \quad (4)$$

Las pérdidas del sistema se estimaron en

$$H_P = 11,06 \text{ m.}$$

- Al solucionar la ecuación 2 se obtiene:

$$H_B = 43,05 \text{ m} = 141,23 \text{ ft}$$

$$H_B = 421,72 \text{ kPa}$$

**2.1.4 NPSH Disponible.** El diseño del tramo de succión se elabora de forma tal que el fluido aportado a la bomba tenga un ingreso suave, libre de burbujas y sin partículas extrañas [2] [3]:

$$NPSH_D = P_{ATM} \pm L_S - P_{FRIC} - P_{VAP} \quad (2.5)$$

donde:

$P_{ATM}$  = es la presión atmosférica del lugar

$$P_{ATM} \text{ a } 915 \text{ m} = 13,2 \text{ psia} \approx 30,47 \text{ ft columna de agua} \\ \approx 9,28 \text{ m columna de agua.}$$

$$L_S = \text{es la altura estática de succión} \\ = 15,24 \text{ cm (6 pulg)} = 0,1524 \text{ m}$$

$P_{FRIC}$  = es la pérdidas por fricción en tubería y accesorios

$$P_{FRIC} = 0,423 \text{ m (1,387 ft).}$$

$P_{VAP}$  = es la presión de vapor del fluido a la temperatura de succión [3]

$$P_{VAP} \text{ a } 18,3^\circ\text{C} = 2,107 \text{ kPa (0,3055 psi)} \approx 0,708 \text{ ft columna} \\ \text{de agua} \approx 0,215 \text{ m columna de agua}$$

$$NPSH_D = 8,794 \text{ m}$$

## 2.2 DISEÑO DEL CONTROL DE SUMINISTRO DE CARAMELO A LA RED DE DISTRIBUCIÓN

El sistema de control de suministro de caramelo a la red de distribución debe ser gobernado eléctricamente, por tanto se procedió a evaluar las variables a controlar para definir la mejor forma de procesarlas.

**2.2.1 Control de nivel y Alarma indicadora de nivel bajo.** Para este subsistema, la variable de proceso es el nivel del tanque, cuyo valor debe dar dependencia a las acciones a controlar.

Las acciones a controlar definidas para el diseño son:

- Conexión o desconexión eléctrica del motor de la bomba según la cantidad de material presente en el tanque.
- Activación de un LED indicador de alarma para nivel bajo.

Dichas acciones buscan garantizar una adecuada consecución de eventos para permitir el correcto funcionamiento del sistema y una adecuada protección a la bomba al evitarle cavitación, esto, al igual que se

protege el proceso en sí al mantener un flujo suave y no pulsante. Se puede apreciar que el modelo de control a implementar es un control de dos posiciones (todo o nada ó on-off). Señalando el hecho de la no presencia de una banda diferencial, dado que solo nos interesa ejercer control sobre el bajo nivel y no sobre el alto, ya que el llenado del tanque de abastecimiento con la mezcla se realiza de forma manual.

Se decide el uso de un control de nivel por conductividad, lo cual aprovecha las características conductoras de la mezcla de agua-caramelo y trae consigo ventajas como:

- Sistema económico al no necesitar transductores para la transformación de la naturaleza de las señales.
- Eficiente ante perturbaciones del proceso y ante perturbaciones ajenas a él como son la formación de espuma en el tanque o ruidos electromagnéticos.
- Fácil instalación, mantenimiento y reposición.

**2.2.2 Circuito de potencia.** En el esquema presentado en la figura 6 se observan tres electrodos instalados en el tanque a diferentes profundidades:

- El de mayor profundidad cumple efectos de tierra (potencial eléctrico cero).
- El de mediana profundidad determina el punto de nivel de caramelo más bajo permitido para el funcionamiento de la bomba.
- El de menor profundidad determina el punto de encendido o apagado del LED de alarma para nivel bajo (encendiéndose en el caso de presentarse bajo nivel).

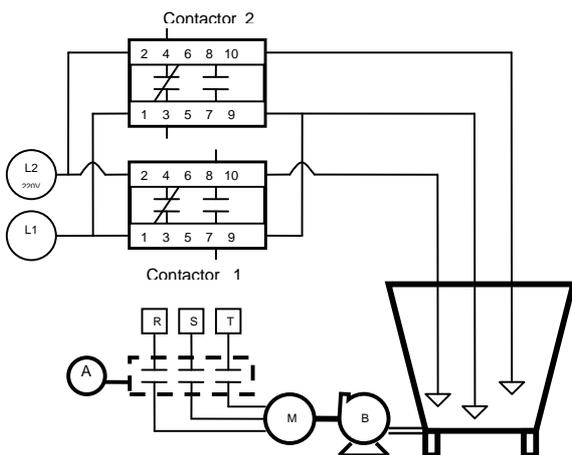


Figura 6. Circuito de potencia del control de suministro de caramelo

También debe apreciarse que se utiliza el contacto normalmente abierto (NA) en el contactor # 2 para el

circuito del motor y el contacto normalmente cerrado (NC) en el contactor # 1 para el circuito de alarma. Así como el arrancador del motor es accionado por un relé A. Este relé posee tres contactos principales que se encargan de habilitar el funcionamiento del motor (ver figura 6) y posee un solo contacto auxiliar (NA) utilizado para el enclavamiento (retención eléctrica) del circuito de control.

**2.2.3 Circuito de control.** En la figura 7 se puede observar que al estar el contacto 7-8 del contactor #2 (correspondiente al motor) en estado cerrado (nivel suficiente de caramelo) es posible con un pulso del botón marcha (encendido) alimentar la bobina del relé A y sus respectivos contactos. El contacto auxiliar es utilizado para el enclavamiento o retención del circuito de control y los tres principales para el accionamiento del arrancador del motor en el circuito de potencia.

También puede observarse en la figura 7 que con la retención del circuito, circula corriente al LED indicador de alarma a través del contacto NC (3-4) del contactor #1 (alarma) solo cuando el nivel de caramelo es bajo (se pierde el contacto del caramelo con el electrodo del contactor # 1) y su flujo no se detiene hasta que el electrodo entre en contacto nuevamente con el caramelo (después de verter más mezcla) lo cual hace que el contacto se abra, apagando el LED indicador de alarma y mostrando que el nivel es seguro para operar.

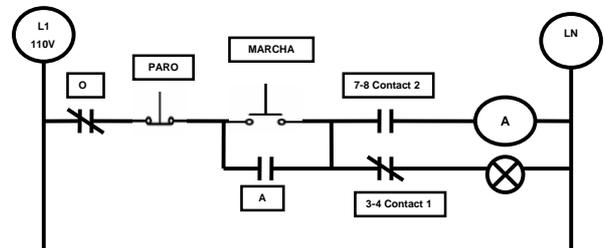


Figura 7. Circuito de control para el sistema de suministro de caramelo

## 2.3 DISEÑO DEL CONTROL DE APLICACIÓN DE CARAMELO AL AZÚCAR

Este diseño tiene como finalidad establecer un sistema seguro, confiable y funcional, para controlar la aplicación de caramelo en cada centrifuga.

**2.3.1 Cantidad de mezcla a aplicar.** El rendimiento establecido por el Departamento de Elaboración es de 420 kg de caramelo por 2500 quintales de azúcar.

Donde:

- 1 quintal = 50 kg, entonces 2500 quintales equivalen a 125000 kg.
- 420 kg de caramelo equivalen a 6 canecas de 70 kg y 58,8 l (15,53 gal).

- Razón de mezcla en volumen, 1 de caramelo por 2 de agua.
- Cada caneca de agua pesa 58,8 kg.
- 12 canecas de agua equivalen a 705,6 kg de agua para 2500 Quintales.
- La centrífuga #4 y #5 manejan descargas de 350 kg de azúcar y las demás manejan descargas de 250 kg.

Dados estos parámetros se concluye:

- La cantidad de caramelo a aplicar para una descarga de 350 kg de azúcar es de 1,176 kg de caramelo (para 125000 kg de azúcar se aplican 420 kg de caramelo), los cuales equivalen a 0,987 l (0,26 gal) de caramelo. A esta cantidad de caramelo se le debe adicionar 1,97 kg de agua (para 125000 kg de azúcar se requieren 705,6 kg de agua según la razón en volumen de 1 de caramelo por 2 de agua) que equivalen a 1,97 l (0,52 gal) de agua.

Por tanto la cantidad de mezcla agua-caramelo a utilizar por descarga de 350 kg es de 2,95 l (0,78 gal  $\approx$  0,8 gal).

**2.3.2 Determinación de los tiempos de aplicación.**

Teniendo los datos de la mezcla requeridos en la descarga, es posible calcular los tiempos de aplicación para cada una de ellas ya que el caudal de suministro a cada centrífuga es constante.

#	Descarga de la centrífuga (kg)	Caudal de suministro l/min (gal/min)	Tiempo de aplicación (s)
1	350	18,92 (5)	9,6
2	250	18,92 (5)	6,72

Tabla 5. Condiciones de aplicación de caramelo según descarga de la centrífuga

El caudal de suministro solicitado para la operación es proporcionado por el sistema de distribución hidráulica (concretamente la bomba), mientras que el tiempo de aplicación debe ser proporcionado por el sistema de diseño en cuestión.

El sistema de control de aplicación de caramelo dispone de energía eléctrica y neumática para su alimentación, no obstante se señala la energía neumática como la adecuada para realizar dicho control.

**2.3.3 Fundamentos del sistema.** Las acciones ejecutadas por mandos neumáticos durante la descarga de las centrífugas son el levantamiento del plato de la compuerta de descarga, la entrada del arado y la bajada del arado. Una de estas señales se debe tomar para permitir mediante una válvula (Burkert) el paso de caramelo hacia árbol de lavado.

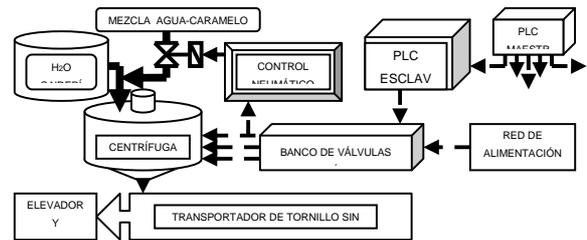


Figura 8. Aprovechamiento de señales para el control de aplicación de caramelo

La mecánica establecida para el proceso de aplicación, obliga a tomar como fuente de alimentación del sistema la señal que ordena el levantamiento del plato de la centrífuga. Esta señal opera justo antes del arranque del canasto a bajas revoluciones para la descarga y su duración es de aproximadamente un minuto (1 min) disponiendo de un tiempo aproximado de veinte (20) segundos para realizar la aplicación antes de que el arado empiece a raspar la pared de azúcar adherida al canasto.

**2.3.4 Circuito neumático.** El circuito a diseñar se elabora para controlar la aplicación de caramelo (apertura-cierre de una válvula) a partir de una única señal (señal levantamiento de plato) que garantiza su existencia durante el tiempo necesario para realizar la aplicación.

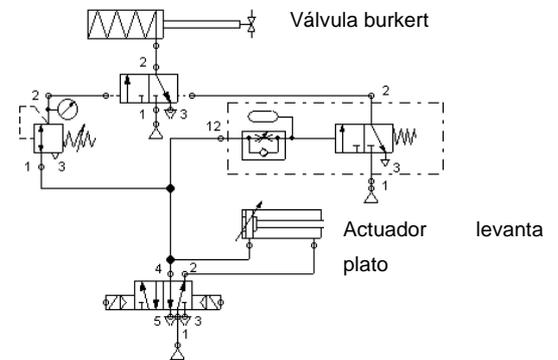


Figura 9. Circuito neumático para el control de aplicación de caramelo al azúcar

En la figura 9 se observa que la señal de baja presión proveniente del regulador conmuta la válvula de vías 5/2, permitiendo el paso de aire a la válvula de accionamiento por pistón neumático y retorno por resorte ("burkert" simple efecto) la cual se abre para permitir el paso de mezcla agua-caramelo a la línea de agua de lavado proveniente del calderín. El cierre de la burkert es efectuado cuando el tiempo de temporizado se cumple, generando una señal que conmuta nuevamente la válvula de vías al vencer la señal de baja presión del regulador y que perdura aún en el otro lado de la válvula de vías, con

lo que es suspendido el acceso de aire a la burkert y ésta regresa a su posición normalmente cerrada por acción de un resorte.

## CONCLUSIONES

- El sistema diseñado e instalado en la estación de centrífugas del Ingenio Risaralda S.A. para la aplicación de color caramelo al azúcar, cumple con los requerimientos planteados durante su etapa de planeación con respecto al mejoramiento de la calidad del producto. Esto al generar una aplicación en una superficie más amplia, realizando de forma directa el color de una mayor cantidad de masa y con una distribución más uniforme que la realizada manualmente, lo cual garantiza la completa homogenización del producto a través del paso por el tornillo sin fin, el elevador de cangilones y la secadora.
- El nivel de independencia suministrado al sistema de caramelización, permite la reducción de horas-hombre necesarias para el funcionamiento y control del proceso, al tiempo que la dosificación de caramelo prevista por descargas, lleva al cumplimiento de los rendimientos propuestos para el caramelo. Ambos puntos reflejados en la reducción de los costos de producción, sumados al hecho que la instalación del sistema en las cinco máquinas de la estación, permite ejecutar el proceso de caramelización en menor tiempo (comparado con el método manual) para un tonelaje dado, lo cual permite la mejora de los rendimientos de producción de la planta.
- Siendo ahora parte activa de los procesos de producción del Ingenio Risaralda S.A., el sistema de caramelización diseñado se puede calificar como un avance innovador o de desarrollo en el ámbito del mejoramiento de procesos para la obtención de azúcar crudo en la industria azucarera. Esto, ya que el sistema planteado actúa de forma independiente al proceso de obtención de los cristales de azúcar, dado que la aplicación se realiza después de los ciclos de separado en las centrífugas, con lo que se minimiza en gran medida el caramelo que pueda ingresar al circuito de agotamiento de mieles evitando por consiguiente todos los problemas que de ello se derivan.
- El desarrollo del proyecto bajo el criterio del máximo aprovechamiento de los recursos, generó un sistema seguro, económico y funcional. Logrando para el sistema una implementación que no requirió de cambios drásticos en la estación, ni de la adquisición de costosos equipos para complementar el control del proceso. Pero al tiempo se usaron elementos que permitan reformas a corto y largo

plazo, garantizando compatibilidad en el momento de adicionar nuevas tecnologías.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] BOMBAS. Selección, instalación, operación y mantenimiento. Capacitación y consultorías industriales Ltda.
- [2] ESCALÓN, Santiago. Memorias capacitación básica sobre bombas, Almacén Bombas Ltda., Medellín, junio 2005.
- [3] FERREIRA, Mabel. Entrevistas personales sobre situación actual en el ingenio Risaralda respecto a inconvenientes en el departamento de elaboración y exigencias del mercado. Ingenio Risaralda. Balboa. Ingeniería Química, Jefe del Departamento de elaboración y refinería.
- [4] FICHAS TECNICAS DE EQUIPOS PRIMARIOS Y SECUNDARIOS DE LA ESTACIÓN DE CENTRÍFUGAS DE PRIMERA. Dirección de procesos. Risaralda. Balboa. Tercera actualización 13 de junio de 2002.
- [5] G. MICHEL. Autómatas programables industriales: arquitectura y aplicaciones. Marcombo S.A. 1990.
- [6] GRISALES LONDOÑO, Sandra Milena. Desarrollo del producto color caramelo en el Ingenio Risaralda S.A. proyecto de grado Universidad de Caldas, facultad de ingeniería, ingeniería de alimentos, Manizales. 2004.
- [7] HONING, Pieter. Principios de tecnología azucarera. Compañía editorial continental S.A. México DF.
- [8] HUGOT, E. Manual para ingenieros azucareros. Segunda impresión en español. Compañía editorial continental S.A. México DF.
- [9] LOPEZ B., Carlos Eduardo, Entrevistas personales sobre problemas frecuentes en la estación de centrífugas del Ingenio Risaralda y la forma como son atacados. Ingenio Risaralda. Balboa. Gerente Cooperativa SERTEC (servicios técnicos).
- [10] MEJÍA., Fernando. Entrevista personal sobre modo de operación de la estación de centrífugas de primera. Ingenio Risaralda. Balboa. Operario de la estación de centrífugas de primera.
- [11] NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 607. Industrias Alimentarias. Azúcar Crudo. Ratificada 1996-04-24, 4a. actualización, ii + 5 páginas, ICONTEC, Bogotá.
- [12] STREETER, Víctor. Mecánica de fluidos. Novena edición, McGraw-Hill de México S.A.
- [13] THE WESTERN STATES MACHINE COMPANY. Hamilton, Ohio 45012. Installation manual. Batch type electrically driven centrifugals.
- [14] VICENTE., Javier. Entrevista personal sobre la producción de azúcares crudos, corrientes y refinados en diferentes ingenios del país. Ingenio Risaralda. Balboa. Supervisor del Departamento de elaboración y refinería.
- [15] WESTERN STATES. Continuous Centrifugals CC-6 Series.