



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Estudios de Postgrados de Ingeniería

Maestría en Artes en Gestión Industrial

**IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS EN LA RECUPERACIÓN DE SACAROSA DE LA
ESTACIÓN DE CENTRÍFUGAS B DE CRUDO DE UN INGENIO AZUCARERO, PARA
OPTIMIZAR SU RENTABILIDAD**

Inga. Lisbeth Mariela Samayoa Bernal

Asesorado por la MA. Inga. Vivianne Patricia Ruiz Valenzuela

Guatemala, octubre de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS EN LA RECUPERACIÓN DE SACAROSA DE LA
ESTACIÓN DE CENTRÍFUGAS B DE CRUDO DE UN INGENIO AZUCARERO, PARA
OPTIMIZAR SU RENTABILIDAD**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

INGA. LISBETH MARIELA SAMAYOA BERNAL

ASESORADO POR LA MA. INGA. VIVIANNE PATRICIA RUIZ VALENZUELA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRA EN ARTES EN GESTIÓN INDUSTRIAL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	MSc. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Núñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	MSc. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	MSc. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	MSc. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Dra. Alba Maritza Guerrero Spínola
EXAMINADOR	MSc. Hugo Humberto Rivera Pérez
SECRETARIA	MSc. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS EN LA RECUPERACIÓN DE SACAROSA DE LA ESTACIÓN DE CENTRIFUGAS B DE CRUDO DE UN INGENIO AZUCARERO, PARA OPTIMIZAR SU RENTABILIDAD

Tema que me fuera aprobado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrados de Ingeniería, con fecha 5 de agosto de 2018.

Inga. Lisbeth Mariela Samayoa Bernal

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por ser el pilar de mi vida, por ser mi guía en todo momento y porque sin Él nada sería posible.

Mis padres

Esaú Samayoa y Edith Bernal de Samayoa, por su apoyo, sacrificio y amor incondicional.

Mis hermanos

Karen y Fernando Samayoa Bernal, por el apoyo que me han brindado, por ser mis amigos, porque sé que cuento con ellos siempre.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por ser mi guía en todo momento.
Mis padres	Por el apoyo y amor incondicional.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Especialmente a la Facultad de Ingeniería, por permitirme realizar mi formación profesional.
Mi asesora	Inga. Vivianne Ruiz, por el apoyo brindado.
Ingenio Azucarero	Por el apoyo brindado y por ser parte fundamental para llevar a cabo este proyecto.

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al Trabajo de Graduación de la Maestría en Artes en Gestión Industrial titulado: **"IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS EN LA RECUPERACIÓN DE SACAROSA DE LA ESTACIÓN DE CENTRÍFUGAS B DE CRUDO DE UN INGENIO AZUCARERO, PARA OPTIMIZAR SU RENTABILIDAD"** presentado por la Ingeniera Química **Lisbeth Mariela Samayoa Bernal**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

"Id y Enseñad a Todos"

[Firma]
Maestro. Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

Decano

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

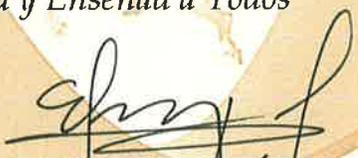
Guatemala, octubre de 2018.

Cc archivo/L.Z.L.A.

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística al Trabajo de Graduación titulado **"IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS EN LA RECUPERACIÓN DE SACAROSA DE LA ESTACIÓN DE CENTRÍFUGAS B DE CRUDO DE UN INGENIO AZUCARERO, PARA OPTIMIZAR SU RENTABILIDAD"** presentado por la Ingeniera Química **Lisbeth Mariela Samayoa Bernal**, correspondiente al programa de Maestría en Artes en Gestión Industrial; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Maestro. Ing. Edgar Darío Álvarez Coti
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, octubre de 2018.

Cc: archivo/LZLA.

Como Coordinadora de la Maestría en Artes en Gestión Industrial doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado **"IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS EN LA RECUPERACIÓN DE SACAROSA DE LA ESTACIÓN DE CENTRÍFUGAS B DE CRUDO DE UN INGENIO AZUCARERO, PARA OPTIMIZAR SU RENTABILIDAD"** presentado por la Ingeniera Química **Lisbeth Mariela Samayoá Bernal**.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Doctora. Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola
Coordinador(a) de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, octubre de 2018.

Cc archivo/LZ.L.A.

En mi calidad como Asesora de la Ingeniera Química **Lisbeth Mariela Samayoa Bernal** doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado **"IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS EN LA RECUPERACIÓN DE SACAROSA DE LA ESTACIÓN DE CENTRÍFUGAS B DE CRUDO DE UN INGENIO AZUCARERO, PARA OPTIMIZAR SU RENTABILIDAD"** quien se encuentra en el programa de Maestría en Artes en Gestión Industrial en la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Maestra. Inga. Vivianne Patricia Ruiz Valenzuela
Asesor(a)
Maestra en Gestión Industrial

Vivianne Patricia Ruiz Valenzuela
INGENIERA QUÍMICA
Colegiado No. 1225

Guatemala, octubre de 2018.

Cc archivo/LZLA.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XI
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PREGUNTAS AUXILIARES.....	XIII
OBJETIVOS.....	XVII
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXI
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Proceso de la producción de azúcar.....	1
1.1.1. Pesaje de la caña.....	2
1.1.2. Limpieza de la caña en seco.....	2
1.1.3. Preparación de la caña.....	2
1.1.3.1. Mediante cuchillas giratorias.....	2
1.1.3.2. Desfibradora.....	3
1.1.3.3. Desmenuzadoras.....	3
1.1.4. Molienda.....	3
1.1.5. Extracción del jugo.....	3
1.1.6. Colado del jugo.....	4
1.1.6.1. Bagazo.....	4
1.1.7. Alcalización.....	4
1.1.8. Calentamiento.....	5
1.1.9. Clarificación.....	5
1.1.10. Filtración.....	5

1.1.11.	Evaporación	6
1.1.12.	Cristalización	6
1.1.13.	Centrifugación	6
1.1.14.	Secado	7
1.1.15.	Almacenamiento.....	7
1.2.	Centrífugas	7
1.2.1.	Centrífugas continuas.....	8
1.2.2.	Las partes de una centrífuga continua son las siguientes:	10
1.2.2.1.	Carcasa	10
1.2.2.2.	Canasta	11
1.2.2.3.	Tela de soporte y tela de trabajo.....	11
1.2.2.4.	Dispositivo de alimentación	11
1.2.2.5.	Sistema de lavado	12
1.2.2.6.	Compartimiento de mieles	12
1.2.2.7.	Soporte.....	12
1.2.2.8.	Movimiento	12
1.2.3.	Según BMA (2007) los datos específicos de unacentrífuga continua BMA son los siguientes:	13
1.3.	Microscopio Morphologi G3.....	13
1.3.1.	Emulsiones y suspensiones	14
1.3.2.	Diagrama de dispersión o clasificación.....	14
1.3.3.	SOP.....	14
1.3.4.	Morphologi G3 ID	14
1.4.	Sistemas de planificación de la producción	15
1.4.1.	Santos, J. (2000) menciona puntos importantes de la planificación de la producción	18
1.5.	Rentabilidad	21
1.5.1.	Rentabilidad económica	23

1.5.2.	Rentabilidad financiera.....	24
1.6.	Método robusto estadístico Taguchi	25
2.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	27
2.1.	Análisis de la situación de la operación de las centrífugas de B de crudo	27
2.2.	Reportes de laboratorio de analizador de partículas	28
2.3.	Operación del personal encargado del área	31
2.4.	Variables tomadas en cuenta en la investigación	31
2.5.	Técnicas que se utilizaron en la investigación	32
3.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	35
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	43
	CONCLUSIONES	49
	RECOMENDACIONES.....	51
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	53
	ANEXOS	57

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figuras

1.	Proceso de producción de azúcar	1
2.	Centrífuga continua	10
3.	Microscopio Morphologi G3.....	15
4.	Evidencia de pérdidas de azúcar en centrífuga 1	28
5.	Evidencia de pérdidas de azúcar en centrífuga 2.....	29
6.	Evidencia de pérdidas de azúcar en centrífuga 3.....	29
7.	Evidencia de pérdidas de azúcar en centrífuga 4.....	30
8.	Evidencia de pérdidas de azúcar en centrífuga 5.....	30
9.	Agotamiento de las masas antes y después de variar el proceso	37
10.	Porcentaje de recuperación de sacarosa antes y después de variar el proceso	40
11.	Diseño de la tubería de vapor en las centrífugas B de crudo	57
12.	57
13.	Reporte de grano en miel de centrífuga 2, estación B de crudo.....	58
14.	Estado de las centrífugas de B de crudo antes de llevar a cabo variaciones en el proceso.....	59
15.	Estado de las centrífugas de B de crudo después de llevar a cabo variaciones en el proceso.....	60

Tablas

I.	Datos específicos para las centrífugas continuas BMA de los modelos K2200, K2300, K2400 Y K2500	13
II.	Definición operacional y descripción de las variables independientes.....	32
III.	Factores que afectan el proceso y sus niveles.....	33
IV.	Matriz de experimentos.....	35
V.	Sustitución de valores en matriz de experimentos	36
VI.	Agotamiento de las masas antes y después de variar el proceso	38
VII.	Diagnóstico de los procedimientos a seguir para el aprovechamiento de los recursos productivos	39
VIII.	Análisis de los procedimientos de operación determinando con cuál de ellos se tiene una mayor recuperación de sacarosa	41

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
AT	Activo total
A	Amperios
BN	Beneficio neto
BO	Beneficio obtenido
K	Fondos propios
K	Temperatura expresada en Kelvin
°Bx	Grados Brix
RE	Rentabilidad económica
RF	Rentabilidad financiera
Pa	Presión expresada en Pascales

GLOSARIO

Agotamiento	Representa los granos de azúcar presentes en forma cristalina para cada 100 gramos de sacarosa.
Caña de azúcar	Planta del género <i>Saccharum</i> , cultivo producido de híbridos que provienen de un número de especies <i>Saccharum</i> comúnmente referidos como caña. Específicamente, la determinación y distribución de la sacarosa en la caña está en el material crudo aceptado en los molinos para su procesamiento.
Centrífuga	Máquina utilizada para separar el azúcar de la miel.
Magma	La mezcla de cristales y líquido (agua, jugo clarificado, jarabe o miel), obtenido por medio de un mezclador.
Miel	Licor madre que se separa de los cristales de azúcar mediante centrifugación. Las mieles A, B o C se obtienen de las masas cocidas correspondientes. La miel C es también conocida como miel final o melaza.
Pureza	Contenido de sacarosa expresado como porcentaje de la sustancia seca o el contenido de sólidos

disueltos. Los sólidos comprenden el azúcar y no-sacarosa.

Rentabilidad

Relación existente entre los beneficios que proporcionan una determinada operación y la inversión o el esfuerzo que se ha hecho.

Tacho

También llamado evapo-cristalizador. Cristalizador evaporativo al vacío utilizado en la industria azucarera para cristalizar azúcar, a partir de meladura, jarabe, licor o miel.

Sacarosa

El compuesto químico puro $C_{12}H_{22}O_{11}$ que es conocido como azúcar, generalmente medido mediante polarización en caso de soluciones.

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, se realizó un diagnóstico de los procedimientos llevados a cabo en la operación de la estación de centrífugas B de crudo. Se tenía como objetivo proponer de mejoras de ingenio azucarero en la recuperación de sacarosa de la estación de centrífugas, para optimizar su rentabilidad.

Al inicio de la zafra se inició con el monitoreo de la operación de la estación para determinar cómo se llevaba a cabo en ese momento. Paralelo a esto, se llevó un control del estado en el que se encontraban las mieles tres veces por semana para ver si estas siempre tenían azúcar. Se observó que siempre había azúcar en ellas y fue donde se inició a plantear el cuerpo de la investigación, para mejorar la recuperación de sacarosa de la estación.

Se inició con la secuencia de nueve pruebas diferentes en las que se mezclaban las variables a manipular y se logró determinar que la mejor manera de operar las centrífugas es a 95 A de carga, 300 L/h de flujo de agua y $\frac{3}{4}$ da abertura de la válvula de vapor. Esto logró aumentar la recuperación de sacarosa en un 6.55 %.

Al analizar los resultados descritos anteriormente, se determinó que hacer únicamente cambios en la operación, se obtuvo mayor recuperación de sacarosa, entonces las mejoras son totalmente rentables para el ingenio. Por lo que se tomaron en cuenta estas mejoras para seguir operando la estación de una forma más eficiente.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PREGUNTAS AUXILIARES

Dentro del proceso de fabricación existen pérdidas de azúcar desde el inicio hasta el final y esto significa un problema en la eficiencia del mismo, razón por la cual los ingenios azucareros realizan investigaciones en las que se llevan a cabo estudios en diferentes puntos del proceso.

Se tomó como base que, el porcentaje de recuperación de azúcar de la estación de centrifugas B de crudo del ingenio azucarero es en promedio de 65.99% y que idealmente se esperaba que fuera de un 68.83 %. Se buscó aplicar las mejoras en cuanto al flujo de agua y vapor, además de la carga de las centrifugas para poder aumentar las ganancias del ingenio.

En ingenio azucarero se lleva a cabo la fabricación de azúcar. El azúcar se produce en el campo y se extrae y cristaliza en la fábrica, a través de procesos que involucran diferentes disciplinas profesionales y que, al conjugar esos esfuerzos, el resultado final es el azúcar. El proceso empieza por la recepción de la caña, y continúa con la preparación de la misma, siguiendo con la extracción de jugos, su tratamiento, evaporación, cristalización, centrifugado, secado y finalizando con el empaque.

Dentro del proceso de fabricación de azúcar existen pérdidas desde el inicio hasta el final. Uno de los puntos en los que se han encontrado grandes pérdidas de cristales de azúcar es en el área de recuperación de sacarosa, en las estaciones de centrifugado, donde se obtienen los cristales que vienen de la cristalización. Éste problema se ha dado por diferentes causas. En el ingenio se

daba este inconveniente en la estación de centrífugas llamada B de crudo, donde la eficiencia era baja con respecto a su capacidad, por lo que se llevó a cabo un estudio donde se propusieron las mejoras en la recuperación de sacarosa de la estación de centrifugado, esto para optimizar la rentabilidad de la empresa.

Para esto se formularon las siguientes preguntas en base al problema descrito anteriormente, se deseaba lo siguiente:

Pregunta central:

1. ¿Qué factores de mejora aumentan la recuperación de sacarosa para aumentar la rentabilidad?

Preguntas de investigación:

2. ¿Cuáles son los procedimientos que realizan para el aprovechamiento de recursos productivos?
3. ¿Cuáles son los procedimientos de operación de la estación, para mejorar la recuperación de sacarosa?
4. ¿Las mejoras llevadas a cabo en la estación B de crudo son rentables para el ingenio?

Se llevó a cabo un análisis del comportamiento del proceso en estación de centrifugación B de crudo durante el período de la zafra 2016-2017, con la aplicación de las mejoras, para determinar el aumento en el porcentaje de recuperación de azúcar, por medio del monitoreo constante, para posteriormente eliminar el alto porcentaje de pérdidas y así optimizar la rentabilidad del ingenio.

La ventaja que presenta este proyecto es la disposición por parte de la empresa, para llevar a cabo los cambios necesarios, debido a que sabían que serían de beneficio para el aumento de la producción y la rentabilidad de la misma, por medio de un mejor manejo en el proceso del ingenio azucarero facilitó los recursos necesarios, para llevar a cabo este estudio, desde los recursos materiales hasta los recursos humanos.

Como fruto de esta investigación, se pusieron en marcha los cambios en el manejo del proceso. Se llevó un diagnóstico de procedimientos para el aprovechamiento de los recursos, se analizaron los procedimientos de operación de la estación, para mejorar la recuperación de sacarosa y se determinó que las mejoras son rentables para el ingenio.

En el ingenio, todos los colaboradores están comprometidos en el aumento de la rentabilidad de la empresa. Si el ingenio decidiera no llevar a cabo la investigación, esto traería consecuencias en las pérdidas que se tienen dentro del proceso y esto no tendría beneficios en la rentabilidad de la empresa.

OBJETIVOS

General

Implementar las mejoras en la recuperación de sacarosa de la estación de centrífugas B de crudo de un ingenio azucarero, para mejorar su rentabilidad.

Específicos

1. Diagnosticar procedimientos para el aprovechamiento de los recursos productivos.
2. Analizar los procedimientos de operación de la estación, para mejorar la recuperación de sacarosa.
3. Determinar qué tan rentables son las mejoras llevadas a cabo en la estación B de crudo para el ingenio.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

La investigación anteriormente realizada fue de cualitativo-cuantitativo (mixto). Los resultados cuantitativos se obtuvieron por medio de datos estadísticos de extraídos de pruebas de variación realizadas en el proceso de centrifugación de masa B y las cualidades de estos datos determinaron las variaciones beneficiosas para la recuperación de sacarosa. La investigación permitió identificar cuál es la forma correcta de operar las centrifugas para obtener una mayor recuperación de sacarosa, por lo tanto, tendría una mayor rentabilidad.

Para esta investigación se llevó a cabo un estudio de tipo explicativo. Se eligió este tipo de estudio, debido a que describe datos y características de una población o una muestra, lo cual ayudó a adquirir información precisa y sistemática útil.

Para llevar a cabo esta investigación, se tomó en cuenta varias fases organizadas de una manera lógica, esto facilitó la estructuración de la misma, su ejecución y la obtención de resultados. El orden en que se desarrolló este estudio se explicará a continuación.

En la primera fase, fue necesario realizar una revisión documental para estructurar los antecedentes, el marco teórico en los que se basaría la investigación. Esto se hizo buscando teorías de la recuperación de sacarosa, en los manuales de fabricación de azúcar y en libros de operaciones unitarias de ingeniería química. Además, se buscaron teorías de sistemas de planificación de la producción y rentabilidad con base al proceso.

En la segunda fase, se hizo un estudio de análisis del proceso con base a observación y un seguimiento meticuloso del mismo. Con esto se identificaron los problemas dentro de la operación de las centrífugas, los cuales provocan pérdidas de sacarosa en el proceso. Este análisis fue necesario para proponer las mejoras que aumentarán la recuperación de sacarosa, por lo tanto, optimizar la rentabilidad del ingenio.

En la tercera fase, al tener establecidas las mejoras en el proceso de centrifugación que aumentan la recuperación de sacarosa, lo que se debía hacer era determinar los cambios en los procedimientos que se realizan para la operación de las centrífugas, a partir de la siguiente zafra (2017-2018) para tener un mejor aprovechamiento de los recursos productivos.

En la cuarta fase, después de determinar los procedimientos para el aprovechamiento de los recursos productivos, fue necesario analizar los procedimientos de operación de la estación, para mejorar la recuperación de sacarosa. Esto con el fin de determinar si en realidad se aumentaba la recuperación, por ende, provocar un beneficio en cuanto a la rentabilidad del ingenio. Para esto, se utilizó el método estadístico Taguchi L_9 , para obtener una combinación de los factores y sus respectivos niveles en 9 experimentos combinados.

En la quinta y última fase, lo que se hizo fue un informe final de la investigación en el cual se explicó a fondo qué se hizo en el estudio de la implementación de las mejoras en el proceso de recuperación de sacarosa, en la estación de centrífugas B de crudo, para optimizar su rentabilidad.

INTRODUCCIÓN

El proceso de la fabricación de azúcar en un ingenio azucarero inicia con la recepción de la caña de azúcar, y continúa con la preparación de la misma; posteriormente, se realiza la extracción de jugos, su tratamiento, evaporación, cristalización, centrifugado y secado y se finaliza con el empaque.

El problema radicó en el proceso de centrifugado de la estación B de crudo del ingenio, en donde se encontraron pérdidas de cristales de azúcar, por medio del análisis de laboratorio utilizando un analizador de partículas, determinando que este problema puede ser producto de distintas variables dentro del proceso, las cuales tienen como consecuencia pérdidas económicas dentro del ingenio; dichas variables se detallan y analizan en los siguientes apartados.

Por lo anterior, se analizaron las variables del proceso, identificando el porqué de las pérdidas de cristales; posteriormente se propusieron alternativas de solución que ayudaron a reducir las pérdidas en el proceso, logrando obtener un beneficio rentable para la compañía.

Con la presente investigación, se implementó un proceso de mejora continua, para llegar al objetivo principal, el cual es proponer las mejoras en la recuperación de sacarosa de la estación de centrifugas B de crudo del ingenio azucarero. Se tuvo una reducción en las pérdidas y por consiguiente un beneficio económico derivado de la optimización del proceso.

El desarrollo de la investigación fue factible, porque se contó con el apoyo del ingenio para la realización del mismo, representando un beneficio para la empresa. El análisis de las variables dentro del proceso, se plasmó en este informe con base a la teoría y metodología, la cual se detalla posteriormente.

La investigación se llevó a cabo durante la zafra 2016-2017 directamente en la estación de centrífugas B de crudo, por medio de una serie de pruebas, utilizando el método estadístico Taguchi L_9 . Al llevarlas a cabo se obtuvieron resultados que fueron analizados para determinar si esto impactó de una forma positiva al ingenio en cuanto a su rentabilidad.

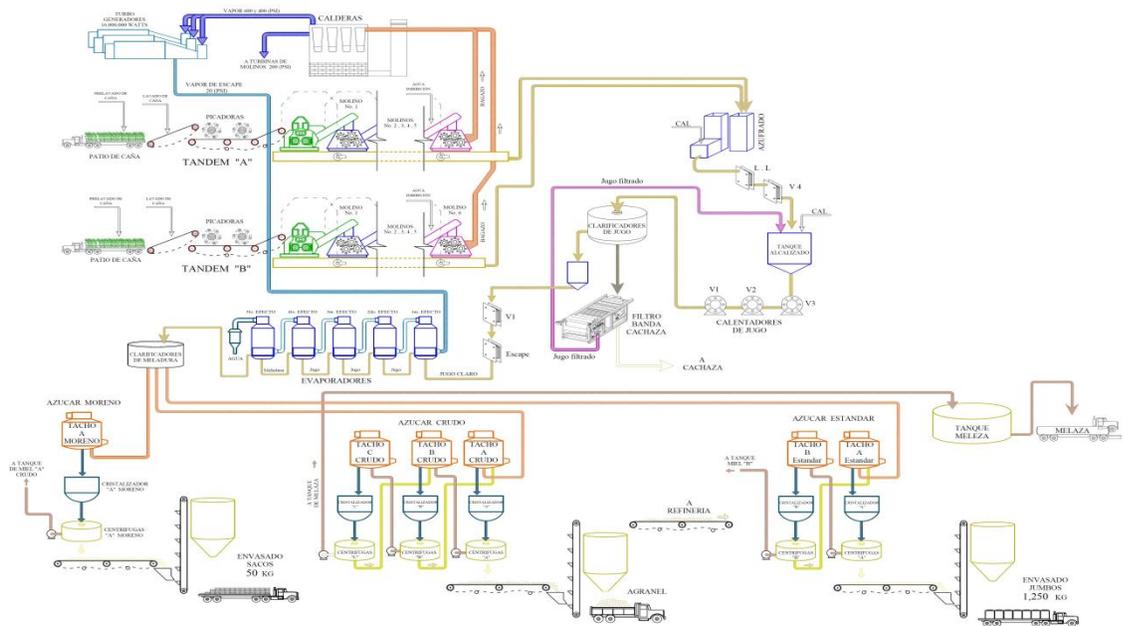
Se logró obtener un aumento en la recuperación de sacarosa y por ende, mejorar la rentabilidad en el ingenio; las mejoras identificadas en el proceso deben ser continuas, siendo necesario que se siga trabajando con los parámetros diagnosticados, y así asegurar una buena operación en la estación de centrífugas.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Proceso de la producción de azúcar

Dentro del proceso de producción de azúcar se pueden distinguir diferentes pasos importantes que se dan para su obtención, a partir de la caña de azúcar. A continuación se muestra el diagrama del proceso de producción de azúcar, el cual será explicado posteriormente.

Figura 1. Proceso de producción de azúcar



Fuente: elaboración propia, usando software Autocad v.2014.

1.1.1. Pesaje de la caña

Es el proceso por medio del cual se obtiene el tonelaje de caña que entra por medio de la unidad de transporte (camiones y remolques), para esto se utilizan grandes básculas de plataforma. Dependiendo del tipo de transporte, la caña puede ser transportada a granel o maleteada. Rein (2012).

1.1.2. Limpieza de la caña en seco

Debido a la mecanización del corte y alce de la caña en los campos, la cantidad de materia extraña e impurezas indeseables ha aumentado, por lo que se ha hecho necesario el lavado de la misma para eliminarlas, siendo las que en mayor cantidad se encuentran: tierra y arena. Se utiliza una cama de rodillos, por medio de los cuales pasa la tierra y otras impurezas, pero no permite el paso de la caña. Rein (2012).

1.1.3. Preparación de la caña

Antes de ingresar la caña a la etapa de molienda, se somete a un proceso de preparación, que tiene como finalidad abrir la fibra para facilitar la extracción de la sacarosa. Existen diversas maneras de lograrlo, entre las más comunes están:

1.1.3.1. Mediante cuchillas giratorias

Estas cuchillas cortan la caña en pequeños trozos, pero no extraen el jugo. Esto sucede mediante un eje en el cual están soldadas las cuchillas, estas giran mientras la caña pasa entre ellas y por la fuerza que tienen al girar cortan las cañas.

1.1.3.2. Desfibradora

Después de las cuchillas la caña queda picada en trozos pequeños, pero es necesario reducirla a tiras, sin extraer el jugo. Esto se hace debido a que es más fácil extraer el jugo de las fibras que de los trozos de caña.

1.1.3.3. Desmenuzadoras

Las desmenuzadoras se encargan de terminar de preparar la caña para aplastarla y extraer el jugo, por lo que aquí es donde realmente inicia la extracción de jugo.

1.1.4. Molienda

La combinación clásica de tres rodillos o mazas dispuestos en forma triangular, es una unidad estándar de molienda. Se utilizan de tres a siete juegos de dichas unidades, llamadas respectivamente molinos. Los rodillos tienen de 0.609 m a 0.914 m de diámetro y de 1.219 m de largo, aunque puede haber más grandes. Cada unidad es movida por una unidad motriz individual que puede ser una máquina de vapor, motor eléctrico, o una turbina de vapor. Rein (2012).

1.1.5. Extracción del jugo

Con el equipo que se describió anteriormente, se le extrae el jugo a la caña, la extracción se realiza haciendo pasar el colchón de caña preparado, a través de los molinos, extrayéndole la mayor cantidad de sacarosa posible. Al bagazo que sale de cada molino se le añade agua o jugo, para aumentar la extracción. Este uso del agua se conoce como maceración o imbibición. La

maceración y la imbibición pueden compararse con enjuagar y exprimir repetidas veces la caña. Rein (2012).

1.1.6. Colado del jugo

El jugo proveniente de los molinos contiene partículas finas de bagazo (bagacillo), y de tierra que tienen que eliminarse, antes que el jugo pase al proceso de fabricación. El tipo de colador más común es el de tamices estacionarios, cuya superficie se mantiene limpia, mediante el uso de raspadores, también hay coladores rotativos o DSM. Los coladores están siendo sustituidos por el uso de bomba inatascables. Rein (2012).

1.1.6.1. Bagazo

Es un subproducto o residuo de la molienda y se utiliza como combustible en las calderas para la generación de vapor, debiendo llenar requisitos de humedad que hagan posible quemarlo. Rein (2012).

1.1.7. Alcalización

El jugo proveniente de los molinos es de color verde oscuro, es ácido y turbio, el jugo tiene un pH bajo, por lo que para estabilizarlo se emplea en forma universal la lechada de cal, alrededor de 0.0005016 Kg de CaO por kilogramo de caña. La cal neutraliza la acidez natural del guarapo, formando sales insolubles de calcio y magnesio, con el fin de formar precipitados que se decantan en la etapa de clarificación. La alcalización puede hacerse en frío o en caliente. La cal se agrega previamente preparada a 18 ° Brix. Rein (2012).

1.1.8. Calentamiento

El calentamiento del jugo alcalizado hasta el punto de ebullición o ligeramente arriba, coagula algunas grasas y ceras que son las que precipitan formando un lodo. El calentamiento puede hacerse en 2 o 3 etapas, el más común es de 2 etapas que utilizan vapor de 27,579 Pa para elevar la temperatura del jugo de 368 K a 458 K (calentamiento primario), y vapor de 68,948 Pa para elevar la temperatura del jugo de 458 k a 493 K (calentamiento secundario o rectificador), este calentamiento se realiza generalmente, utilizando calentadores de concha y tubo de varios pases. Actualmente, se empiezan a usar para este fin los calentadores de placas. Rein (2012).

1.1.9. Clarificación

Esta etapa es muy importante, especialmente cuando se está fabricando azúcar blanco y consiste en dejar reposar el jugo un tiempo mínimo de dos horas, para que los productos formados en la alcalización y calentamiento decanten, obteniendo un jugo completamente limpio y claro. Rein (2012).

1.1.10. Filtración

Los lodos formados en el clarificador reciben el nombre de cachaza y son retirados continuamente por medio de un sistema de bombas de diafragma, como éste lodo arrastra sacarosa en aproximadamente 10 %, se hacen pasar por filtros rotativos al vacío, en los cuales se recupera la misma. Rein (1012).

1.1.11. Evaporación

El jugo clarificado contiene aproximadamente 75 % de agua. Ésta se elimina por medio de evaporadores de múltiple efecto, el cual consiste en una serie de vasos o cuerpos ordenados, de tal manera que, cada cuerpo subsiguiente tiene un vacío más alto, lo que hace que el líquido hierva a una temperatura más baja; los vapores de un cuerpo hacen hervir el jugo del siguiente y el vapor del último pasan a un condensador. Así, de esta manera, el jugo que ingresó al primer cuerpo de la evaporación a 15° Brix, sale del último en forma de jarabe, al cual se le llama meladura con 62° Brix. Chung (1993).

1.1.12. Cristalización

Esta es la etapa donde se forman los cristales de azúcar, se utilizan tachos al vacío, donde la meladura se sigue evaporando hasta saturarse, momento en el cual se añaden semillas que sirven de núcleo para la formación de cristales, formados los cristales se sigue agregando meladura para que éstos crezcan y llenen el tacho, al contenido de un tacho lleno se le da el nombre de templa y al material masa cocida. Chung (1993).

1.1.13. Centrifugación

Los cristales de la masa cocida, tienen un revestimiento de miel que se elimina mediante el uso de centrifugas. En esta etapa se da la separación del azúcar y las mieles, las cuales sufren un proceso de re-cristalización logrando con esta el máximo agotamiento y por consiguiente, la recuperación del azúcar contenida en las mismas. Chung (1993).

1.1.14. Secado

El azúcar, se seca para obtener un producto con características de humedad adecuadas y que son necesarias para su conservación, sea en sacos o silos. El azúcar al salir de las centrífugas sale con aproximadamente 1 % de humedad y al pasar por la secadora esta baja a 0.1 %. Chen (1985).

1.1.15. Almacenamiento

Para el almacenamiento del azúcar crudo, generalmente se utiliza bodegas de granel y es llevada a ésta por medio de un sistema de conductores de faja o banda. En algunos lugares se utilizan sacos de polipropileno para almacenamiento, aunque este uso es más exclusivo para el caso del azúcar blanco. Chen (1985).

1.2. Centrífugas

Después de haber obtenido la masa cocida de los tachos, en la cual los cristales de azúcar tienen un revestimiento de miel, se deben separar los cristales del licor madre o miel, para esto se utilizan las centrífugas. En esta etapa se da la separación del azúcar y las mieles, las cuales vuelven a pasar por un proceso de re-cristalización, logrando así el máximo agotamiento y recuperación del azúcar contenido. Rein (2012).

La masa cocida, el agua y el vapor que afluyen continuamente a la centrífuga, a través del dispositivo de alimentación penetran en el distribuidor de producto, donde son mezclados de forma intensa y acelerados y distribuidos uniformemente. La masa cocida preparada de esta manera es transportada

desde la campana de distribución del distribuidor al anillo opresor en la parte inferior de la canasta y desde ahí, es transportada con cuidado sobre la tela de trabajo de la canasta. Rein (2012).

En la canasta, la del licor madre o miel se separa de la masa cocida bajo la influencia de la fuerza centrífuga. El lavado de los cristales se realiza mediante la adición de agua, a través del dispositivo de lavado. Rein (2012).

Bajo la influencia de la fuerza centrífuga los cristales de azúcar limpios pasan por encima del borde de la canasta al espacio de azúcar. Desde allí, el azúcar continuamente en el elemento de transporte instalado debajo de la centrífuga o se disuelve o empasta dentro de la centrífuga para ser conducido a un tratamiento ulterior, a través de una tubería. Rein (2012).

1.2.1. Centrífugas continuas

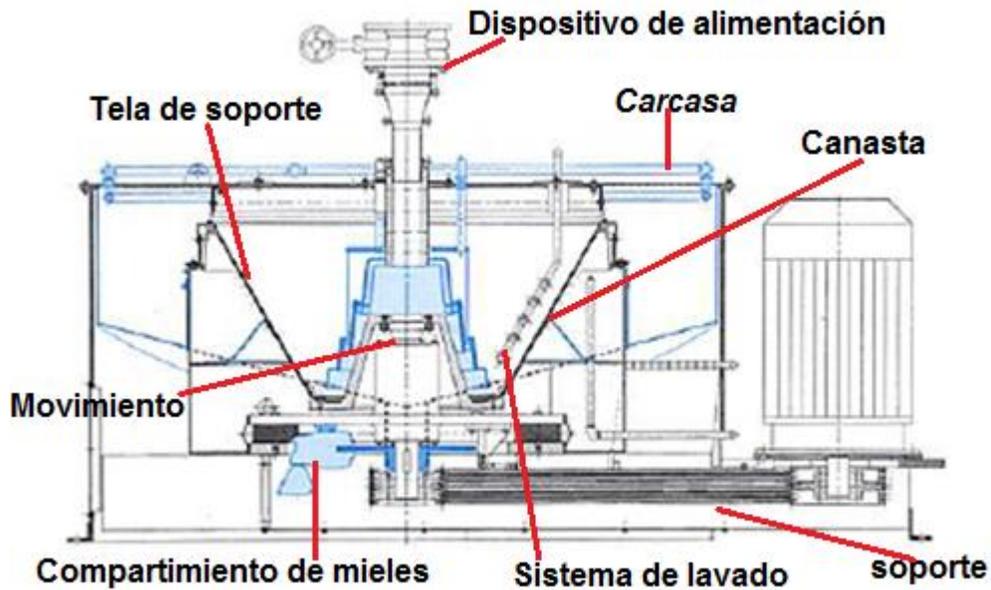
La centrífuga continua está realizada en construcción vertical. El accionamiento de la canasta se lleva a cabo desde abajo, por medio de un motor. Todas las piezas giratorias están envueltas de la carcasa, lo cual da lugar a una construcción cerrada. De esta manera, la carcasa y el dispositivo de alimentación impiden la entrada de aire frío, lo que favorece el trabajo de separación que lleva a cabo la centrífuga, especialmente en el caso de masas cocidas de alta viscosidad. Rein (2012).

Todos los elementos de construcción que entran en contacto con la masa cocida son de acero inoxidable. Como material de la canasta es empelado un acero que cuenta con una resistencia destacada y que además es resistente a la corrosión por tensofisuración, así como particularmente resistente a iones de cloro. Rein (2012).

Las canastas disponen de una tapa atornillada grande fácilmente desmontable, que asegura una buena accesibilidad a todo el interior de la centrífuga. Además están provistas de una pequeña tapa de montaje para el cambio fácil de los segmentos de tela. Una buena obturación entre el borde superior de la canasta y la tapa de la carcasa, así como un conducto circular que se ha trasladado más hacia el exterior evitan que en las centrífugas de disolución y de empastado el agente de disolución o de empastado pueda penetrar en el espacio de jarabe, y así en las mieles. Rein (2012).

La centrífuga continua cuenta con amortiguadores de goma especiales, dispuestos entre la brida de la caja de la pivotería y el fondo de la carcasa, así como la posición favorable del centro de gravedad de todas las piezas giratorias referente a la pivotería y la descarga de tracción de la transmisión por correa trapezoidal facilitan una marcha estable y regular de la centrífuga. Dado que las máquinas cuentan con un alojamiento especial de la canasta y que sólo las piezas giratorias son amortiguadas elásticamente, la máquina opera a un nivel de vibraciones muy bajo. Rein (2012).

Figura 2. **Centrífuga continua**



Fuente: Programa técnico, Centrífuga continua BMA, Referencia 1.

1.2.2. Las partes de una centrífuga continua son las siguientes

A continuación se describen las partes de una centrífuga continua:

1.2.2.1. **Carcasa**

Es la parte exterior de la centrífuga, la cual contiene el azúcar purgado y lo dirige al conductor de azúcar por medio de dos conos bipartidos. Chung (1993).

1.2.2.2. Canasta

Las canastas están diseñadas para el turbinaje de masas cocidas de baja y de alta pureza. Estas son cónicas. Llevando a cabo varios ensayos variando el ángulo de 24° a 35°, han mostrado que un ángulo de 30° supone la posición más favorable. Son de acero inoxidable y perforadas para darle salida a la miel. Chung (1993).

1.2.2.3. Tela de soporte y tela de trabajo

La ejecución de la tela de soporte asegura un flujo sin impedimento de la miel sobre el cuerdo de la canasta, así como un soporte óptimo de la tela de trabajo. Las telas son dos o tres, según el tamaño de la centrífuga y se fijan al canasto mordeándolas por presión, van atornilladas al cabezal del movimiento y sujetadas por tres retenedores. Las telas son de acero inoxidable de 0.2 a 0.27 mm de espesor con agujeros cónicos de 0.06 mm. Chung (1993).

1.2.2.4. Dispositivo de alimentación

El dispositivo de alimentación, el cual está provisto de una válvula reguladora que conduce la masa cocida al centro del soporte, sirve a su vez de cono invertido para llevar la masa al fondo y regresarla hacia arriba de la tela. La masa baja formando un cono ligeramente cónico, que es lubricado con agua por una varilla interior con pequeñas perforaciones y un sistema de lavado coaxial exterior que puede ser solamente con agua o agua y vapor. Chung (1993).

1.2.2.5. Sistema de lavado

Se encuentra dentro de la canasta y está compuesto por dos tubos perforados paralelos a la canasta. El lavado se lleva a cabo con agua y vapor en un tiempo determinado. Chung (1993).

1.2.2.6. Compartimiento de mieles

El compartimiento de mieles recolecta la miel que fue previamente purgada y la deposita dentro de un tanque.

1.2.2.7. Soporte

El soporte se encuentra conectado al motor por medio de una suspensión que cuenta con amortiguadores de hule, un eje y una polea. Además, está conectado al tazón de carga y a la canasta. Chung (1993).

1.2.2.8. Movimiento

Este está formado por dos poleas, una en el eje de la centrífuga y la otra en el eje del motor eléctrico y están unidas por fajas. Chung (1993).

1.2.3. Según BMA (2007) los datos específicos de una centrífuga continua BMA son los siguientes:

A continuación se presenta una tabla con datos de las centrífugas BMA:

Tabla I. **Datos específicos para las centrífugas continuas BMA de los modelos K2200, K2300, K2400 y K2500**

		<i>K 2200</i>	<i>K 2300</i>	<i>K 2400</i>	<i>K 2500</i>
Diámetro superior de la canasta	[mm]	1.200	1.300	1.400	1.500
Inclinación de la canasta		30°	30°	30°	30°
Superficie cribante	[cm ²]	16.000	19.200	22.200	25.014
Diámetro de la carcasa	[mm]	2.120	2.120	2.300	2.300
Altura de la carcasa	[mm]	1.190	1.190	1.250	1.250
Factor de separación máximo (g)		2.957	2.906	2.914	2.568
Velocidad máxima	[1/min]	2.100	2.000	1.930	1.750
Masa cocida de bajo grado remol. * [t/h]		15	16	17	18
Masa cocida de bajo grado caña * [t/h]		13	14	15	15
Masa cocida de azúcar bruto remol. * [t/h]		22	27	28	32
Masa cocida de azúcar bruto caña * [t/h]		20	23	24	28

Fuente: BMA, (2007) Programa técnico, Centrífuga continua.

1.3. Microscopio Morphologi G3

El Microscopio Morphologi G3 es un instrumento basado en el análisis de imagen automatizado. Proporciona imágenes de microscopio de alta calidad e información estadística sobre el tamaño y forma de la partícula, a través de un análisis rápido de cientos de miles de partículas. El Morphologi G3 es totalmente automático. Malvern (2008).

1.3.1. Emulsiones y suspensiones

El microscopio Morphologi G3 con sus 2ml de capacidad interior y área de escaneo, permite medir un mayor volumen de la muestra, por lo que la célula de vía líquida supera estas limitaciones de un microscopio convencional. Malvern (2008).

1.3.2. Diagrama de dispersión o clasificación

El diagrama de dispersión permite una visualización de los datos de medida y puede ser utilizado para aplicar clasificaciones y filtros que permiten agrupar o excluir ciertos valores basados en parámetros de tamaño y forma. Malvern (2008).

1.3.3. SOP

El procedimiento de operación estándar (SOP) elimina la tendencia inherente del usuario en los métodos de microscopía manual, además permiten el desarrollo de métodos y fácil transferencia electrónica. Malvern (2008).

1.3.4. Morphologi G3 ID

El sistema Morphologi G3 ID de caracterización de partículas combina análisis automático de imagen con identificación química de partículas individuales, mediante espectroscopia. Este sistema completamente automatizado mide el tamaño de la partícula, la forma de la partícula y la identifica, mediante una única plataforma. Malvern (2008).

Figura 3. **Microscopio Morphologi G3**



Fuente: Malvern, I. (2008). Microscopio Morphologi G3, Manual de uso Morphologi G3.

1.4. Sistemas de planificación de la producción

La actividad relativa a la planificación de la producción está destinada a relacionar apropiadamente la demanda, a través de una labor comercial, con la oferta externa dentro de un plano temporal definido a medio y largo plazo de manera que se pueden concretar planes de producción con cantidades específicas de cada producto, en virtud de una serie de etapas o períodos, tratando de estar dentro de los límites de la capacidad instalada y bajo los criterios de disposición de flujos sobre materiales y recursos técnicos, lo que configura un esquema adecuado para satisfacer dicha demanda.

Según Chapman (2006), el conjunto de elementos que integran el plan de producción se listan a continuación:

- Horizonte de planificación: a corto y largo plazo.
- Capacidad de producción instalada: influyente en los costes fijos y en las variables del proceso técnico.
- Cantidades a fabricar en cada período para satisfacer la demanda acumulada de productos.
- Nivel de los inventarios, que se mantienen de un período a otro, de materiales, componentes, útiles, semielaborados y productos terminados.
- Objetivo global: maximizar el margen de explotación o el rendimiento del proceso o minimizar los costes de producción en el nivel de satisfacción de la demanda, logrando maximizar la calidad de los productos planificados.

Chase (2000), habla del proceso que encierra la planificación de la producción, en el cual se observan los elementos que se citan a continuación:

- Planificación agregada de la producción. Indica el nivel agregado de decisión, en la que se configura una mezcla de factores bajo condiciones generadas y deseables, con el fin de obtener un *output* de productos derivados de los procesos técnicos. Busca optimizar la capacidad productiva teniendo en cuenta los inventarios existentes, los recursos disponibles y la demanda prevista. Así, se convierte en un planteamiento global para una línea de producción.
- Plan maestro de producción. Partiendo de la planificación agregada se deben especificar los productos que serán fabricados, las cantidades y los períodos. Todos estos datos se recogen en el plan maestro,

determinando las diferentes cargas de trabajo de los centros de coste, las horas de trabajo, materiales necesarios, etc. Para este fin se usan modelos y técnicas operativas o cuantitativas que faciliten la articulación de la programación de la producción.

- Planificación de la capacidad. Dada la capacidad instalada total, es preciso determinar el conjunto de necesidades de recursos, buscando el equilibrio existente entre las líneas de fabricación y la capacidad que ostenta cada centro de trabajo o dispositivo, haciendo que el plan maestro cumpla su propósito y tratando de evitar incidencias negativas. En este sentido, destacan los sistemas denominados; planificación de requerimiento de capacidad (CRP) y la planificación de requerimiento de materiales II (MRP II).
- Planificación y control de los inventarios. Partiendo del plan maestro, se requiere la planificación y control de las necesidades sobre los diferentes materiales, teniendo en cuenta la minimización de los *stocks* y, por ende, de los costes de almacenamiento. En este caso, los sistemas más utilizados son la cantidad económica de orden (EOQ), la planificación de requerimiento de materiales I (MRP I) y el justo a tiempo (JIT).
- Programación de las operaciones. Se ciñe al conjunto de modelos y técnicas operativas, analíticas y gráficas que ponen en marcha el plan maestro, tanto de forma parcial como agregada, combinando los requerimientos de materiales y las limitaciones de capacidad de las partes del sistema; así se asegura el siguiente paso a la formulación del programa de producción.

- Control de la producción. Actividad estrechamente vinculada a la tarea de planificación, acaparando la labor de vigilancia del cumplimiento del plan maestro y del control de costes, además de los rendimientos del proceso productivo, complementado así el control de calidad.
- Control de calidad. Representa el seguimiento de las especificaciones de la funcionalidad y atributos de los productos, siguiendo ciertos estándares de certificación, persiguiendo tener cero defectos y tratando de evitar los costes y daños de la no calidad.

1.4.1. Santos, J. (2000) menciona puntos importantes de la planificación de la producción

Para el sistema de dirección de la empresa, las funciones de planificación y control representan su verdadero contenido científico y práctico. Son el medio de planteamiento de objetivos y la medida de la eficacia de dicho sistema. La planificación proporciona un marco de referencia a la toma de decisiones y resulta el proceso de conexión entre estrategias empresariales y las estrategias de operaciones (misión, competencia, distintiva, objetivos y políticas) de la empresa, y por lo tanto, representa el estudio y la fijación de objetivos de la misma, tanto a largo como a corto plazo, y referentes al sistema total como a cada uno de los subsistemas empresariales. En este proceso resulta una vía para aprovechar fortalezas y eliminar las debilidades de nuestro sistema, a la vez, de conocer y utilizar las oportunidades amenaza del entorno.

La planificación es conveniente en sí misma. Incluso si se fracasa en la consecución de los objetivos del plan, en el proceso se consigue un mejor conocimiento de la empresa, de sus posibilidades, de su entorno, de sus medios. Planificar obliga a una disciplina de estudios e investigación que genera

un conocimiento que, como todo saber, es conveniente es sí mismo y contribuye a los resultados de la empresa.

La planificación de la producción consiste en definir el volumen y el momento de fabricación de los productos, estableciendo un equilibrio entre la producción y la capacidad a los distintos niveles, en busca de la competitividad deseada. Para ello, se requiere un proceso concatenado de planes que vinculen los distintos niveles jerárquicos de la organización.

La planificación es la función que procura definir, a su vez, la estructura de la organización más adecuada, según las estrategias formuladas, los objetivos planteados y el nivel de cambio del entorno socio - económico. Además, debe cumplir con los siguientes principios básicos:

- Contribución a los objetivos.
- Eficacia de la planificación.
- Generalización de la planificación a todos los niveles y en todas las funciones de la empresa.
- Eficiencia de los planes en términos de consecución del máximo rendimiento de los recursos asignados.
- Reconocimiento de oportunidades existentes.
- Selección de los objetivos del plan.
- Evaluación de alternativas.
- Selección de alternativas.
- Seguimiento y control del plan.

El proceso de planificar, puede tener diferentes significados, en función de los objetivos buscados. De la misma forma que puede establecerse una jerarquización de estos últimos, se puede establecer el rango de los planes.

Este proceso es abordado de diferentes formas por los diversos autores, pero a la vez, con una amplia coincidencia en las etapas generales del proceso y en la necesidad que cada una se debe tener presente en el cálculo de las capacidades instaladas. Estas etapas son:

- Planificación estratégica: para la organización.
- Plan de producción agregada.
- Planificación de la producción desagregada: por artículos.
- Plan de requerimientos de materiales
- Programación de la producción: asignación, secuenciación, temporización.

La planificación estratégica es elaborada por los niveles ejecutivos más altos de la empresa sobre la base de los pronósticos del entorno, expresándose en forma global y con un horizonte de 6 a 18 meses.

La planificación agregada se expresa para líneas o familias de productos, abarca de 6 a 18 meses y se expresa en intervalos de semanas o meses, requiriéndose de la determinación de capacidad agregada. La cual fija la porción de la producción que será consumida traduce los planes de producción en términos de insumos.

Planificación desagregada o sistema maestro de producción (MSP) posee como propósito satisfacer las demandas de cada uno de los productos dentro de sus líneas. Este nivel de planeación más detallado desagrega las líneas de productos en cada uno de los productos e indica cuando deben ser producidos y vendidos. Requiere de la planeación aproximada de la capacidad. Con vista a determinar su factibilidad, realizándose con más detalle en los cuellos de botella. Gaither (2012).

Planeación de los requerimientos de materiales (MRP) es el plan que mueve al sistema de planeación de materiales e inventarios, mientras que la planificación detallada de la capacidad, éste es un proceso paralelo que se realiza para determinar la capacidad requerida. Establece la carga o cantidad de insumos requeridos por cada operación, la secuenciación o forma de entrada de los materiales al proceso y la temporización o cuando deben estar los materiales en cada fase u operación del proceso.

Programación de la producción establece, siguiendo los lineamientos anteriores, la coordinación, seguimiento y control de las actividades semanales o diarias utilizando los procedimientos de asignación, secuenciación y temporización de la producción adecuados al tipo de proceso productivo que se desarrolle en cada empresa.

1.5. Rentabilidad

Gaither, N. (2004) define que la rentabilidad mide la eficiencia entre los beneficios que proporciona determinada operación de una empresa impactando en sus resultados financieros. Decir que una empresa es eficiente, es decir, que no desperdicia recursos. Cada empresa utiliza su capital para obtener ganancias. Estos patrimonios son, por un lado, el dinero (que aportan los accionistas) y, por otro, la deuda (que aportan los acreedores). A esto hay que añadir las reservas: los beneficios que ha retenido la empresa en ejercicios anteriores, con el fin de autofinanciarse (estas reservas, junto con el capital, constituyen los “Fondos propios”).

Si una empresa utiliza unos recursos financieros muy elevados, pero obtiene unos beneficios pequeños, se dice que ha desperdiciado recursos

financieros: ha utilizado muchos recursos y ha obtenido poco beneficio con ellos.

Por el contrario, si una empresa ha utilizado pocos recursos, pero ha obtenido unos beneficios relativamente altos, se dice que ha aprovechado bien sus recursos. Por ejemplo, puede que sea una empresa muy pequeña que, pese a sus pocos recursos, está muy bien gestionada y obtiene beneficios elevados.

En realidad, hay varias medidas posibles de rentabilidad, pero todas tienen la siguiente forma:

$$\text{Rentabilidad} = \text{Beneficio} / \text{Recursos Financieros}$$

Ec. 1.

El beneficio debe dividirse por la cantidad de recursos financieros utilizados, debido a que no hay interés en que una inversión genere beneficios muy altos, si para ello se tienen que utilizar muchos recursos. Una inversión es mejor cuanto mayores son los beneficios que genera y menores son los recursos que requiere para obtener esos beneficios.

Claramente no se podría utilizar simplemente el beneficio como medida de rentabilidad, puede que una empresa tenga un beneficio aparentemente alto, pero si no se sabe qué recursos ha utilizado, no se puede decir nada acerca de su eficiencia.

Las dos medidas de rentabilidad más utilizadas son la rentabilidad económica y la rentabilidad financiera, que se definen a continuación:

1.5.1. Rentabilidad económica

Para calcular la rentabilidad económica utilizando el beneficio económico como medida de ganancias y el Activo Total (o Pasivo Total) como medida de recursos utilizados:

$$RE = BE / AT$$

Ec. 2.

Donde:

BE=beneficio obtenido

AT=activo total

El beneficio económico es igual a los ingresos de la empresa menos todos los costes no financieros. Es decir, para calcular esta medida de beneficios, se toman las entradas totales de la empresa y restamos todos los costes excepto los intereses de la deuda y otros costes financieros. Tampoco restamos los impuestos. Por eso, el beneficio económico también se conoce como beneficio antes de intereses e impuestos. Otros términos bastante comunes son beneficio operativo, beneficio de explotación o beneficio bruto.

1.5.2. Rentabilidad financiera

La rentabilidad financiera se calcula utilizando el beneficio neto como medida de beneficios y los fondos propios como medida de los recursos financieros utilizados:

$$RF = BN / K$$

Ec. 3.

Dónde:

BN=beneficio neto

K=fondos propios = capital + reservas

También se le llama rentabilidad neta o rentabilidad de los fondos propios. El beneficio neto (BN) es beneficio que ganan los propietarios de la empresa, una vez pagados los intereses y otros gastos financieros y los impuestos:

$$BN = BBE - \text{Intereses} - \text{Impuestos}$$

Ec. 4.

En efecto, la primera obligación de una empresa es pagar los intereses de la deuda y, a continuación, los impuestos. Si sobra dinero, ese remanente (que es el beneficio neto), se utilizará para repartir dividendos. Al igual que antes, se puede comprobar que la medida de beneficios que estamos utilizando es consistente con la medida de recursos financieros. Se sabe porque el BN se va a utilizar para pagar a los accionistas, pero no se va a utilizar para pagar a los acreedores (ya se ha pagado a los acreedores, puesto que está restando los intereses).

1.6. Método robusto estadístico Taguchi

Phadke, M. (1989), define que el objetivo primordial de un diseño robusto es identificar el conjunto de parámetros o factores que proporcionan al producto o al proceso la capacidad de ser 'insensibles' o invariantes frente a cambios en las condiciones de operación medio-ambientales. Una vía para reducir los efectos de factores externos sobre el producto (el medio-ambiente operativo) es incluir una lista de condiciones de operatividad recomendadas. Sin embargo, esta vía no siempre es aconsejable, puesto que algunas condiciones medio-ambientales no pueden ser modificadas, y en otros casos no es deseable incluir una lista demasiado larga de restricciones sobre las condiciones de funcionamiento, puesto que la tolerancia de un producto frente a cambios medio-ambientales es también una medida de su calidad.

Para conseguir que productos y procesos sean robustos se requiere un estudio activo de los factores medio-ambientales. Taguchi incorpora el estudio de factores medio-ambientales en la fase del diseño de los parámetros. Más concretamente, propone construir dos matrices del diseño ortogonales: Una para los parámetros del diseño o factores controlables, y otra para los factores de ruido o factores no controlables. El procedimiento para estudiar los factores de ruido es el mismo que el procedimiento empleado para el estudio de los parámetros del diseño (factores controlables). Se seleccionan los factores de ruido que deben ser considerados, definiendo entonces un diseño ortogonal apropiado para estos factores.

Para los parámetros del diseño, Taguchi considera una matriz que se conoce como matriz del diseño interno, mientras que para el diseño de los factores de ruido se considera otra matriz que se refiere como matriz del diseño externo. Cada combinación de los niveles de los factores de ruido determina

unas condiciones medio-ambientales para cada combinación de los niveles de los factores controlables asociados a la matriz del diseño interno. Cada fila de la matriz del diseño interno lleva asociado entonces un conjunto de m medidas, donde m representa el número de filas de la matriz del diseño externo. Cada conjunto de m medidas se combina entonces en términos de una razón señal-ruido apropiada, de acuerdo con los objetivos del estudio.

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación se presenta y explica el desarrollo de la investigación:

2.1. Análisis de la situación de la operación de las centrífugas de B de crudo

En la estación de centrífugas se trabaja con cinco máquinas, a las cuales se les ha detectado problemas con la recuperación de sacarosa en el proceso de centrifugación, en el cual se separa la miel del azúcar, se supone que a un ducto específico llega el azúcar y a otro la miel, lo que sucede es que dentro del ducto de la miel se encuentra azúcar que no se logró separar.

Cuando se descarga un tacho con masa cocida y esta se tiene que purgar, se operan las centrífugas a una carga máxima de 80 Amperios, el agua que se le aplica para facilitar la separación no se regula y el vapor que tienen las máquinas sólo se utiliza en la limpieza de las mismas.

Cuatro veces por semana se realiza un análisis de imagen de las mieles por medio del analizador de partículas Morphologi G3, en las cuales se puede observar que siempre hay granos de azúcar que se van en las mieles, lo cual produce una pérdida en la recuperación de sacarosa de la estación. Se ha revisado de las partes críticas cada una de las máquinas, como por ejemplo, los empaques de las mismas o si existen fugas.

Por lo descrito anteriormente, se ha determinado que este problema amerita llevar a cabo la presente investigación, a partir de las variables de

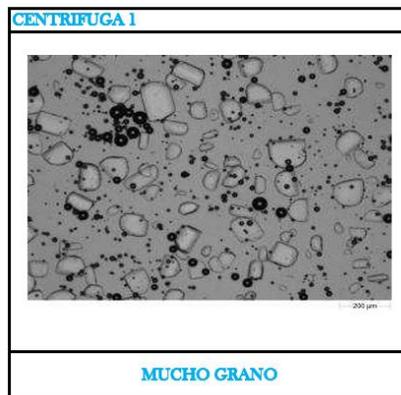
operación de las máquinas centrífugas, para proponer una mejora en la operación y así aumentar la recuperación de sacarosa de la estación y por tanto, aumentar la rentabilidad del ingenio.

2.2. Reportes de laboratorio de analizador de partículas

En las siguientes imágenes que se presentan se puede observar la pérdida de granos de azúcar en la miel de cada una de las centrífugas de la estación B de crudo, esto para identificar el problema de la pérdida de recuperación.

Figura 4. **Evidencia de pérdidas de azúcar en centrífuga 1**

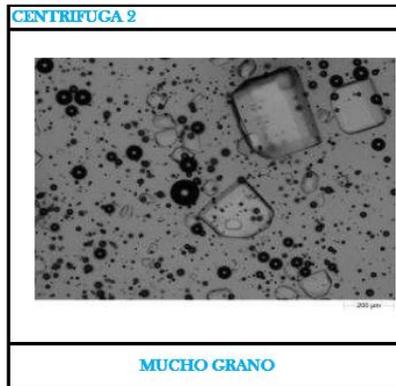
En la figura 4, se evidencia que hay granos de azúcar en la miel de la centrífuga 1:



Fuente: Analizador de partículas Morphologi G3

Figura 5. **Evidencia de pérdidas de azúcar en centrífuga 2**

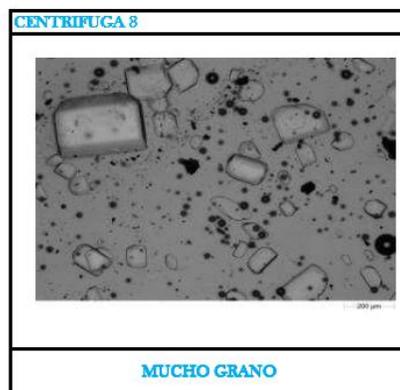
En la figura 5, se evidencia que hay existencia de granos de azúcar en la miel de la centrífuga 2:



Fuente: Analizador de partículas Morphologi G3

Figura 6. **Evidencia de pérdidas de azúcar en centrífuga 3**

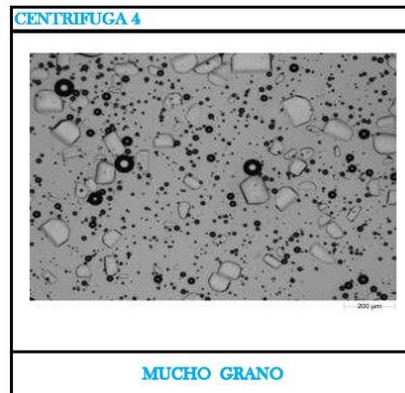
En la figura 6, se evidencia que hay existencia de granos de azúcar en la miel de la centrífuga 3:



Fuente: Analizador de partículas Morphologi G3

Figura 7. Evidencia de pérdidas de azúcar en centrífuga 4

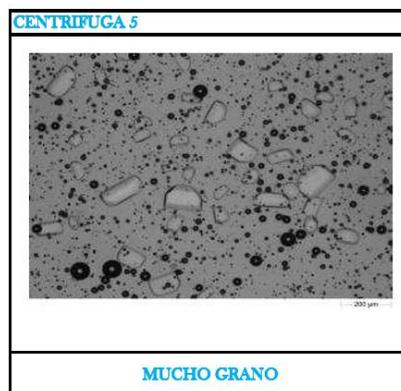
En la figura 7, se evidencia que hay existencia de granos de azúcar en la miel de la centrífuga 4:



Fuente: Analizador de partículas Morphologi G3

Figura 8. Evidencia de pérdidas de azúcar en centrífuga 5

En la figura 8, se evidencia que hay existencia de granos de azúcar en la miel de la centrífuga 5:



Fuente: Analizador de partículas Morphologi G3

2.3. Operación del personal encargado del área

Al observar al personal que trabaja operando las centrífugas de B de crudo, se evidenció que únicamente se dedica a ver que las mismas funcionen y no se ocupan de ver la forma de evitar problemas como la pérdida de recuperación de sacarosa.

Se observó que el personal operativo no regula la carga (A) que se le suministra a las máquinas, ni el agua que se le abastece a las centrífugas en función a la cantidad de masa que hay disponible para purgar, tampoco se ocupan de aplicar vapor en caso de obtener masas cocidas de viscosidad alta.

Otra de las cosas que afecta el proceso es que la fábrica opera en época de zafra las 24 horas del día por lo que el personal trabaja en turnos rotativos de 8 horas, entonces al hacer el cambio de turno, no se transmiten la información necesaria para darle un buen seguimiento al proceso en el turno que está entrando a operaciones.

2.4. Variables tomadas en cuenta en la investigación

Las variables que se tomaron en cuenta dentro del trabajo de investigación fueron carga, flujo de agua, flujo de vapor, porcentaje de recuperación de sacarosa y porcentaje de agotamiento de cristales en la miel. Las variables fueron elegidas en función a la importancia que tienen dentro de la operación de las centrífugas, ya que la carga, el flujo de agua y el flujo de vapor son variables que se pueden manipular, el porcentaje de recuperación de sacarosa y el porcentaje de agotamiento de cristales en la miel son las variables, que determinan si hay una mayor o menor recuperación en la

operación de la estación de centrifugas. Las variables serán descritas a continuación.

Tabla II. **Definición operacional y descripción de las variables independientes**

Núm.	Variable	Dimensional	Tipo	Variable independiente	Variable dependiente
1	Carga	<i>A</i>	Nominal	X	
2	Flujo de agua	<i>L/h</i>	Ordinaria	X	
3	Flujo de vapor	–	Ordinaria	X	
4	Porcentaje recuperación de sacarosa	%	Continua		x
5	Porcentaje agotamiento de cristales en la miel	%	Continua		x

Fuente: elaboración propia.

2.5. Técnicas que se utilizaron en la investigación

La técnica de análisis de información que se utilizó para llevar a cabo la obtención de la información fue el método estadístico de Taguchi L_9 . Este método estadístico propone que se lleven a cabo diferentes corridas de nueve pruebas con variación en el proceso, las cuales contarán con dos repeticiones por corrida, durante un lapso de la zafra 2016-2017 de un ingenio azucarero.

De estas pruebas llevadas a cabo en el laboratorio, se hizo una comparación de la situación de la estación antes de empezar a realizar las pruebas y observación la recolección de los datos.

Para diagnosticar los procedimientos a seguir en la operación de la estación de centrifugas en busca del aprovechamiento de los recursos

productivos, se hizo una investigación de cuáles son los factores que afectan el proceso, de lo que se encontró que son: la carga, el flujo de agua y el flujo de vapor. Por lo que se planteó una variación de estos tres factores dentro de los siguientes parámetros en tres niveles:

Tabla III. **Factores que afectan el proceso y sus niveles**

Factor	Niveles		
	1	2	3
Carga (A)	85	90	95
Flujo Agua (L/h)	200	250	300
Flujo de vapor (apertura de válvula)	1/2	3/4	1

Fuente: elaboración propia.

Después de haber llevado a cabo la recolección de los datos obtenidos por medio de las pruebas, se llevó a cabo una hoja de cálculo en el software Excel, para hacer el análisis de observación de las cualidades de los datos y por medio de esto se determinaron los parámetros de control fundamentales en la operación que reflejaron que las pruebas llevadas a cabo fueron satisfactorias y en función de los mejores resultados se llevaron a cabo cálculos para determinar cuántos quintales de azúcar se obtendrán como ganancia en una zafra completa.

Por último, al saber la cantidad de quintales de azúcar, fue factible establecer un valor en dólares de las ganancias obtenidas para el ingenio con base a los cambios llevados a cabo en el proceso de centrifugación, y se determinó si esto aumenta la rentabilidad de la empresa. A partir de esto, se llevó a cabo una planificación del proceso y de las operaciones tomar en cuenta, a partir de la siguiente zafra.

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos del estudio llevado cabo, en la estación de centrifugas B de crudo:

En la tabla IV, se presenta la matriz de experimentos de acuerdo al modelo estadístico Tabuchi L₉, la cual se compone por 9 experimentos que combinan los 3 factores más importantes dentro del proceso de centrifugación, los cuales son: carga, flujo de agua y distribución de vapor.

Tabla IV. **Matriz de experimentos**

Núm.	Columna de números de factores asignados		
	Carga (A)	Flujo de agua (L/h)	Distribución de agua
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	2	3
5	2	3	1
6	2	1	2
7	3	3	2
8	3	1	3
9	3	2	1

Fuente: Phadke, M. Quality engineering using robust design. p. 45.

A continuación, en la tabla V, se describe la sustitución de los valores dentro de la matriz de experimentos, de acuerdo a los factores que afectan el proceso con sus respectivos niveles. A partir de estos valores, se llevaron a cabo las 9 experimentaciones combinadas.

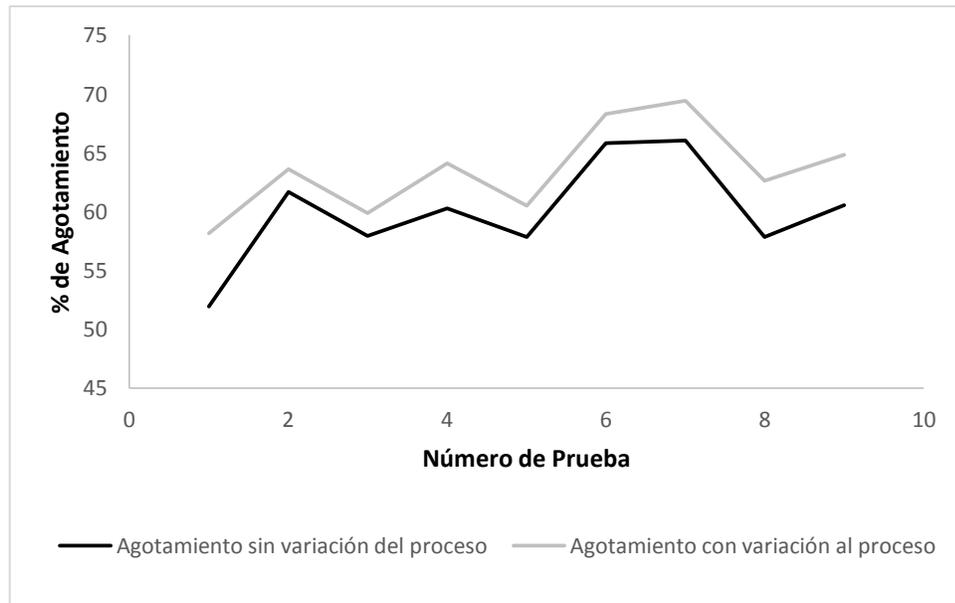
Tabla V. **Sustitución de valores en matriz de experimentos**

Núm.	Columna de números de factores asignados		
	Carga (A)	Flujo de agua (L/h)	Distribución de agua
1	85	200	1/2
2	85	250	3/4
3	85	300	1
4	90	250	1
5	90	300	1/2
6	90	200	3/4
7	95	300	3/4
8	95	200	1
9	95	250	1/2

Fuente: elaboración propia.

En la figura 9, se refleja que el comportamiento del agotamiento de las masas antes y después de variar el proceso sigue una misma tendencia, con la diferencia de que antes de variarlo, se obtiene un menor agotamiento y después de variarlo, se obtiene un mayor agotamiento. Esto se determinó por medio de los 9 experimentos expuestos anteriormente.

Figura 9. **Agotamiento de las masas antes y después de variar el proceso**



Fuente: elaboración propia.

En la tabla VI, se detallan los datos para grafican la figura 8, además se hace una resta del agotamiento después de variar el proceso menos el agotamiento antes de variar el proceso.

Tabla VI. Agotamiento de las masas antes y después de variar el proceso

Núm. Corrida	Agotamiento sin variación del proceso	Agotamiento con variación al proceso	Diferencia antes-después
1	51.96	58.17	6.21
2	61.68	63.62	1.94
3	57.94	59.86	1.92
4	60.29	64.13	3.84
5	57.85	60.49	2.64
6	65.85	68.3	2.45
7	65.95	69.90	4.05
8	57.83	62.65	4.82
9	60.57	64.84	4.27

Fuente: elaboración propia.

En la tabla VII, se muestra el diagnóstico de los procedimientos para el aprovechamiento de los recursos productivos en la cual se determinó como punto óptimo para hacer un mejor uso de los recursos se debe trabajar con las centrífugas a una carga de 95 A, 300 L/h de flujo de agua y $\frac{3}{4}$ de abertura de la válvula para el flujo de vapor.

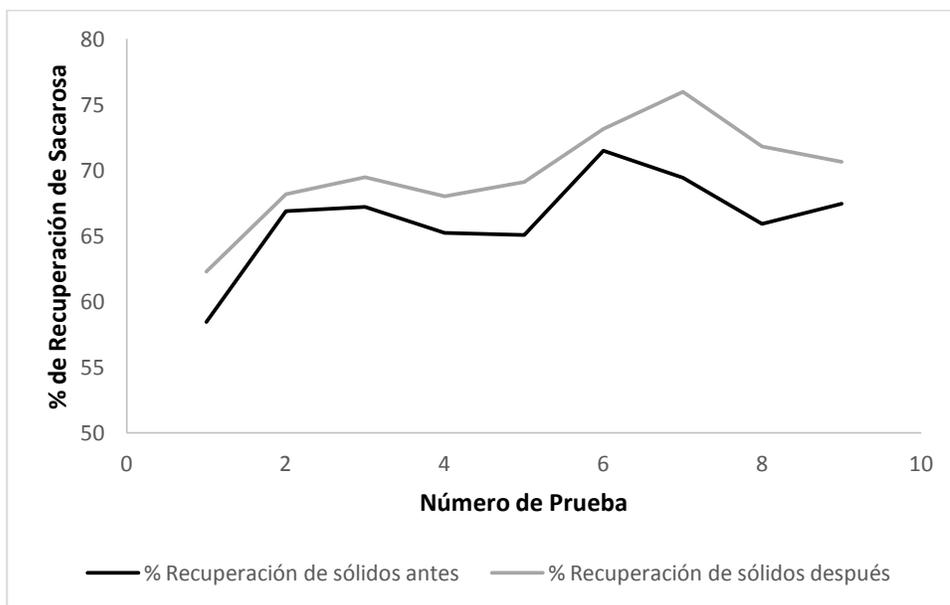
Tabla VII. **Diagnóstico de los procedimientos a seguir para el aprovechamiento de los recursos productivos**

Factor	Niveles		
	1	2	3
Carga (A°)	85	90	95
Flujo de agua (L/h)	200	250	300
Flujo de vapor (Abertura válvula)	1/2	3/4	1

Fuente: elaboración propia.

En la figura 10 de la sección de resultados, se verifica que existe una mayor recuperación de sacarosa al llevar a cabo las variaciones en el proceso, ya que al observar la tendencia de la misma esta no varía el proceso, se puede notar que ésta siempre se ubica por debajo de la tendencia al variarlo.

Figura 10. **Porcentaje de recuperación de sacarosa antes y después de variar el proceso**



Fuente: elaboración propia.

En la tabla VIII, se muestra el análisis de los procedimientos de operación determinando con cuál de ellos se tiene una mayor recuperación de sacarosa, y además se hace una resta del porcentaje de recuperación después de variar el proceso menos el porcentaje de recuperación antes de variar el proceso.

Tabla VIII. Análisis de los procedimientos de operación determinando con cuál de ellos se tiene una mayor recuperación de sacarosa

Núm. Corrida	% Recuperación de sólidos antes	% Recuperación de sólidos después	% Diferencia antes-después
1	58.46	62.28	3.82
2	66.9	68.17	1.27
3	67.23	69.48	2.25
4	65.25	68	2.75
5	65.06	69.13	4.07
6	71.49	73.14	1.65
7	69.42	75.97	6.55
8	65.91	71.83	5.92
9	67.47	70.66	3.19

Fuente: elaboración propia.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El objetivo de la investigación es implementar mejoras en la recuperación de sacarosa de la estación de centrifugas B de crudo de un ingenio azucarero, para optimizar su rentabilidad. Para esto, se planteó un diseño experimental que redujo el número de pruebas y combinó todas las variables presentes. Antes de iniciar con las variaciones en el proceso se llevaron a cabo pruebas sin variarlo para tener un parámetro de comparación con respecto a las mejoras a implementar.

Las limitaciones que se vieron durante el proceso de experimentación fueron enfocadas a la poca flexibilidad que tiene el proceso puesto en marcha. Si se mueven los parámetros, todas las áreas de las que se requieren para producir azúcar deben estar organizadas. Pero a pesar de las limitantes se contó con el apoyo incondicional de parte de todo el personal de fábrica y de laboratorio encontrando un espacio prudente para obtener las muestras y así contribuir a una mejor recuperación de sacarosa y a mejorar la rentabilidad del ingenio.

Los resultados obtenidos se consideran confiables, debido a que su origen fue directamente en el área de centrifugas B de crudo del ingenio, esto significa que se obtuvieron por medio de personal capacitado para el mismo, asegurando así que la toma de muestras se llevara a cabo de la mejor manera para no agregar factores que afectaran los mismos. Además, se le dio un seguimiento especializado, consistió en una persona encargada de la realización de la investigación.

Los datos obtenidos como resultados fueron comparados con procedimientos utilizados en la región. Con esto, se determinó que cada ingenio lleva a cabo un procedimiento similar, mas no utilizan exactamente los mismos parámetros diagnosticados en esta investigación, ya que aunque tengan el mismo fin, el cual es la fabricación de azúcar, tienen diferentes métodos para llegar a esto. Pero, a pesar de esto, todos los ingenios coinciden en que estos parámetros expuestos en el presente trabajo son los que determinan la correcta o incorrecta operación de las máquinas centrífugas continuas.

Entre los objetivos, se propuso diagnosticar los procedimientos para el aprovechamiento de los recursos productivos, por lo cual se llevaron a cabo pruebas del agotamiento de las masas y porcentaje de recuperación de sacarosa en función a las diferentes variaciones de carga, flujo de agua y flujo de vapor. Con estos resultados, se realizó una gráfica para ver la tendencia con cada variación. Se pudo observar que fue beneficioso porque en cada una de las nueve pruebas aumentó el agotamiento de las masas B de crudo.

A partir de lo descrito anteriormente, se diagnosticó que el aprovechamiento de los recursos productivos se da al variar la carga, el flujo de agua y el flujo de vapor, dentro de los procedimientos para llevar a cabo la centrifugación de las masas B de crudo.

En la tabla IV de la sección de resultados, se presentó la matriz de experimentos de acuerdo al modelo estadístico Tabuchi L_9 , el cual se compone de 9 experimentos que combinan los 3 niveles de los 3 factores más

importantes dentro del proceso de centrifugación, los cuales fueron: carga, flujo de agua y distribución de vapor.

En la tabla V de la sección de resultados, se detalla cómo se llevó a cabo la sustitución de los valores reales de operación dentro de la matriz de experimentos, de acuerdo a los factores que afectan el proceso con sus respectivos niveles. A partir de estos valores, se llevaron a cabo las 9 experimentaciones combinadas, por medio de las cuales se obtuvieron los resultados de agotamiento de las masas y porcentaje de recuperación de sacarosa.

En la figura 8 de la sección de resultados, se observa el agotamiento de las masas antes y después de variar el proceso de centrifugación. En la figura se refleja que el comportamiento del agotamiento de las masas antes y después de variar el proceso sigue una misma tendencia, con la diferencia de que antes de variar el proceso se obtiene un menor agotamiento, después de variarlo, se obtiene un mayor agotamiento.

En la tabla VI de la sección de resultados, se detallan los datos para graficar la figura 8, además se hace una resta del agotamiento después de variar el proceso menos el agotamiento antes de variar el proceso, esto para determinar si se aumentó el agotamiento con las variaciones en el proceso. En las restas, se puede notar que se tiene un mayor agotamiento con las variaciones, teniendo agotamientos mayores de 4.05 %, 4.82 % y 4.27 %.

En la tabla VII de la sección de resultados, se muestra el diagnóstico de los procedimientos para el aprovechamiento de los recursos productivos en la cual se determina como punto óptimo para hacer un mejor uso de los

recursos se debe trabajar con las centrífugas a una carga de 95 A, 300 L/h de flujo de agua y $\frac{3}{4}$ de abertura de la válvula para el flujo de vapor. Con base a los mejores resultados en cada una de las 9 pruebas, se eligió cuál es la que permitió los mejores resultados, tanto de agotamiento de masas como de porcentaje de recuperación de sacarosa.

Luego se analizaron los procedimientos de operación de la estación para mejorar la recuperación de sacarosa. Para esto, se llevaron a cabo análisis de la centrifugación de las masas B de crudo con las variaciones, esto para determinar el porcentaje de recuperación de sacarosa. Esto fue exitoso, ya que al igual que el agotamiento, en todas las pruebas se obtuvo mayor recuperación de sacarosa.

La tendencia del porcentaje de recuperación de sacarosa antes y después de variar el proceso, se muestra en la figura 9 de la sección de resultados, se verifica que existe una mayor recuperación de sacarosa al llevar a cabo las variaciones en el proceso, ya que al ver la tendencia de la misma sin variar el proceso se puede notar que siempre se ubica por debajo de la tendencia al variarlo.

En la tabla VIII se muestra el análisis de los procedimientos de operación determinando con cuál de ellos se tiene una mayor recuperación de sacarosa, además se hace una resta del porcentaje de recuperación, después de variar el proceso menos el porcentaje de recuperación antes de variar el proceso, esto para determinar si se aumentó el porcentaje de recuperación con las variaciones en el proceso.

En esta tabla, se determinó que la mejor corrida para el proceso fue la número 7, teniendo una resta de 75.97 % después de las variaciones menos 69.42 % antes de las variaciones, obteniendo una resta de 6.55 % de mayor recuperación de sacarosa. Por lo que es notable que las mejoras llevadas a cabo en la estación de centrífugas fueron beneficiosas.

Al finalizar esta investigación, se concluyó que las mejoras implementadas en la recuperación de sacarosa de la estación de centrífugas B de crudo de un ingenio azucarero, se encuentran en el control de la operación en cuanto a la carga, flujo de agua y flujo de vapor, los cuales son los parámetros centrales, para obtener los mejores resultados.

Por último, se determinó que sí son rentables las mejoras llevadas a cabo en la estación B de crudo para el ingenio. Se dice que si son rentables las mejoras, ya que al llevarlas a cabo únicamente se hicieron variaciones del mismo proceso y no se invirtió en materiales para hacer mejoras en las centrífugas, esto quiere decir que con los mismos recursos que ya se tenían, se pudo obtener mayor cantidad de azúcar. Las mejoras en el proceso de recuperación de sacarosa equivalen a un aumento de 240 qq diarios de producción de azúcar crudo, lo cual equivale a \$ 3,120 diarios, tomando como valor referencial el valor del quintal de azúcar crudo de \$ 13.

Al saber que se obtuvieron mejores resultados, se concluyó que las mejoras llevadas a cabo en la estación de centrífugas B de crudo sí son rentables para el ingenio, ya que con cambios operativos se obtuvo una mejor recuperación de sacarosa sin invertir en cambios físicos de la misma.

La gerencia del área industrial del ingenio tomó la decisión de implementar estas variaciones, así con los mismos recursos obtener más azúcar, gracias a un mayor agotamiento y una mayor recuperación, haciendo un mejor uso de la estación de centrifugas. Obtener más azúcar al precio de cambios operativos significa ganancias para la empresa, lo cual aumenta su rentabilidad.

CONCLUSIONES

1. Las mejoras implementadas en la recuperación de sacarosa de la estación de centrífugas B de crudo de ingenio azucarero, se encuentran en el control de la operación en cuanto a una carga de 95 A, un flujo de agua de 300 L/h y un flujo de vapor de $\frac{3}{4}$ de abertura de la válvula, los cuales fueron determinados como el punto óptimo de operación.
2. Se diagnosticó que los procedimientos críticos por medio de los cuales se aprovecha al máximo los recursos productivos son el aumento de la carga suministrada a las centrifugas y el control del flujo de agua y vapor proporcional a la carga.
3. Se analizó que al utilizar los parámetros diagnosticados anteriormente en los procedimientos de operación, se obtiene una mayor recuperación de sacarosa en la estación de centrífugas B de crudo, por lo tanto, la misma mejora, alcanzando hasta un 6.55 % de mayor recuperación de azúcar.
4. Se determinó que las mejoras llevadas a cabo en la estación de centrífugas B de crudo sí son rentables para el ingenio, ya que con cambios operativos se obtiene una mejor recuperación de sacarosa sin invertir en cambios físicos de la estación. Las mejoras en el proceso de recuperación de sacarosa equivalen a un aumento de 240 qq diarios de producción de azúcar crudo, lo cual equivale a \$ 3,120 diarios, tomando como valor referencial el quintal del valor de azúcar de \$ 13.00.

RECOMENDACIONES

1. Tener bajo control las mejoras implementadas en la recuperación de sacarosa de la estación de centrífugas, para que haya un mayor aprovechamiento de los recursos y siga aumentando la recuperación de sacarosa, así aumente la rentabilidad del ingenio.
2. Realizar diagnósticos semanales para mantener la eficiencia de las centrifugas B de cruda para el óptimo aprovechamiento de los recursos.
3. Continuar con la investigación de nuevas mejoras, para aumentar la recuperación de sacarosa de la estación de centrífugas B de crudo a un nivel mayor del 6.55 % obtenido en el presente estudio.
4. Realizar mediciones de carga, flujo de agua y vapor cada 4 horas, para control de las mejoras implementadas y mantener la producción diaria de quintales de azúcar crudo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BMA, N. (2007). *Programa Técnico Centrifugas Continuas*. Alemania. Única edición. Editorial BMA. P. 20-57.
2. Chapman, S. (2006). *Planificación y control de la producción*. México. Única edición. Editorial Pearson. P 125-162.
3. Chase, A. (2000). *Administración de producción y operación*. Colombia. Octava edición. McGrawHill.
4. CHEN, J. (1985). *Manual del azúcar de caña*. México. Única edición. Editorial Noriega Editores. P245-263.
5. Chung, C. (1993). *Cane Sugar Handbook*. Nueva York. Doceava edición. Editorial J.C.P. Chen. P 258-284.
6. Crespo, T. (2005). *Producción, planificación, programación y control. Ejercicios resueltos*. España. Segunda edición. Editorial Universidad de Vigo. P 243-287.
7. Cutz, L. (2004). *Determinación de la pérdida de azúcar por exceso de lavado en una centrifuga semiautomática 1.22m x 0.76m*. Guatemala. Única edición.

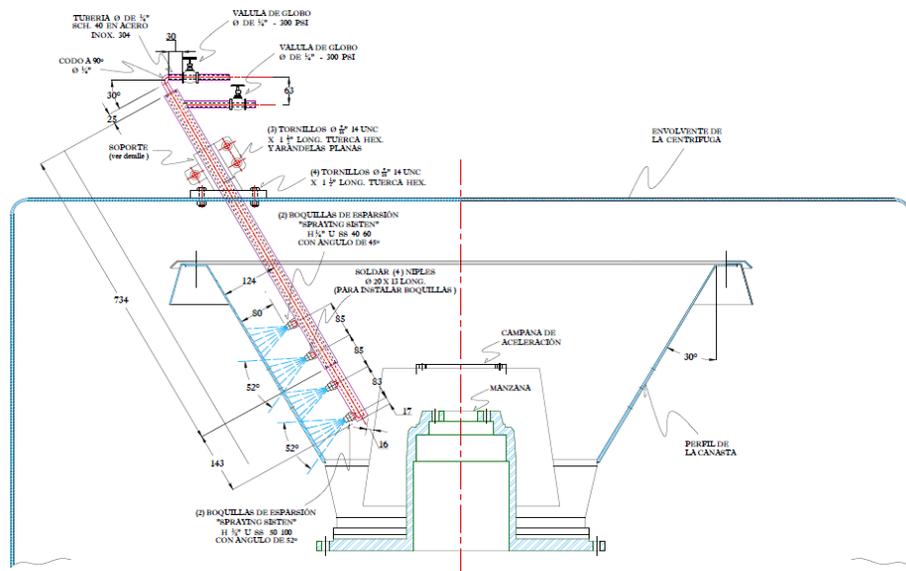
8. Diringer, A. (2011-2013). *Mejoras en la eficiencia de las centrifugas mediante control automático de rociado de agua, basado en la medición de color en línea*. Guatemala, Única edición.
9. Malvern, I. (2008). *Manual de uso, Morphologi G3*. Reino Unido, Inglaterra. Única edición. P 17-34.
10. Gaither, N. (2004), G. *Administración de la producción y operaciones*. México. Cuarta edición. International Thomson.
11. Navarro, S. (2006). *Optimización del proceso de fabricación de azúcar blanca para mejorar la calidad*. Guatemala. Única edición.
12. Phadke, M. (1989). *Quality engineering using robust design*. Estados Unidos. Segunda edición. AT&T Bell Laboratories.
13. Perry, R. (2001). Sección: Datos físicos y químicos 2-91, 2-95. *Manual del Ingeniero químico*. Séptima edición. España: McGraw-Hill, Inc.
14. Rein, p: (2012). *Ingeniería de la caña de azúcar*. Alemania. Única edición. Editorial Bartens.
15. Samayoa, L. (2015), *Optimización de la eficiencia de las centrifugas en la estación "B de crudo" del Ingenio la Unión, mediante el uso de la lámpara estroboscópica TKRS y el microscopio Morphologi G3, a partir de la zafra 2014-2015*. Guatemala, Única edición.
16. Santos, J. (2000). *Planificación de procesos industriales*. México. Única edición. Editoriales Técun.

17. Valenzuela, V. (2004). *Optimización del sistema de separación centrífuga entre separadoras de marca Alfa Laval y Westfalia utilizadas en la purificación del aceite lubricante*. Guatemala. Única edición.

ANEXOS

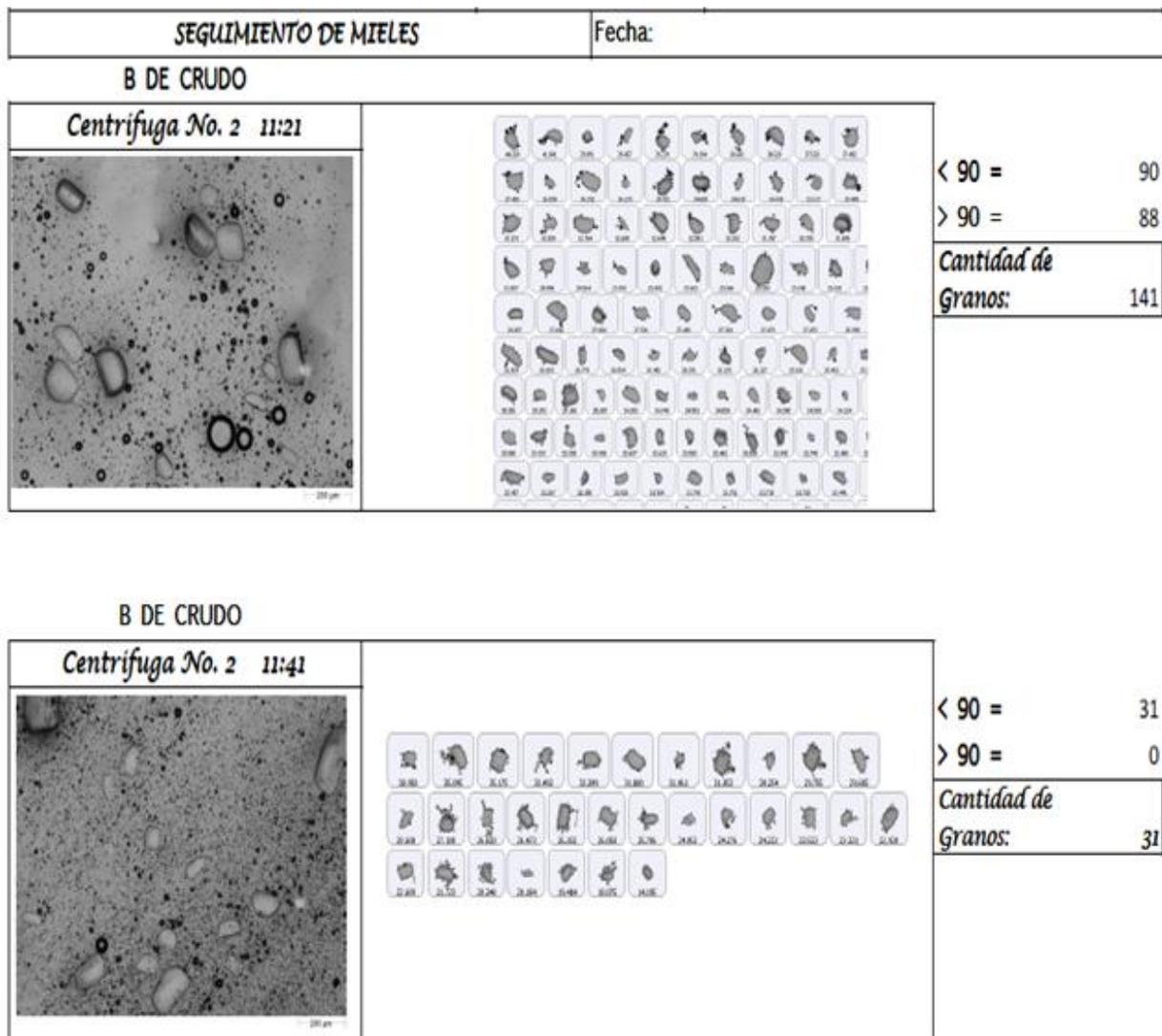
A continuación se presenta material de apoyo para una explicación más completa del estudio llevado a cabo.

Figura 11. Diseño de la tubería de vapor en las centrífugas B de crudo



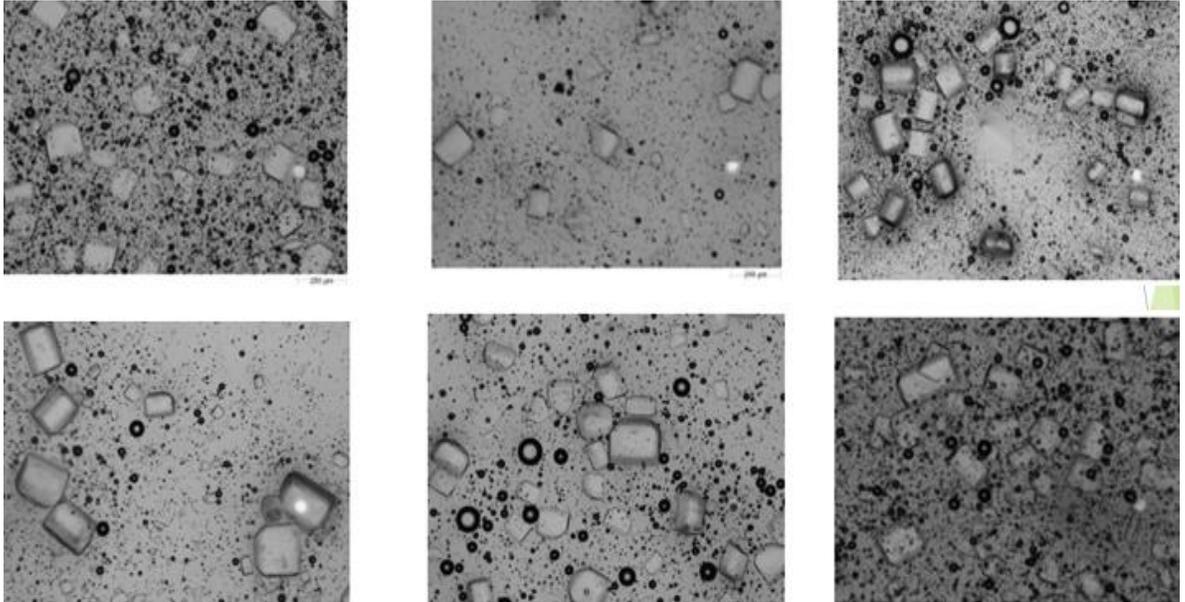
Fuente: referencia 1.

Figura 12. Reporte de grano en miel de centrifuga 2, estación B de crudo



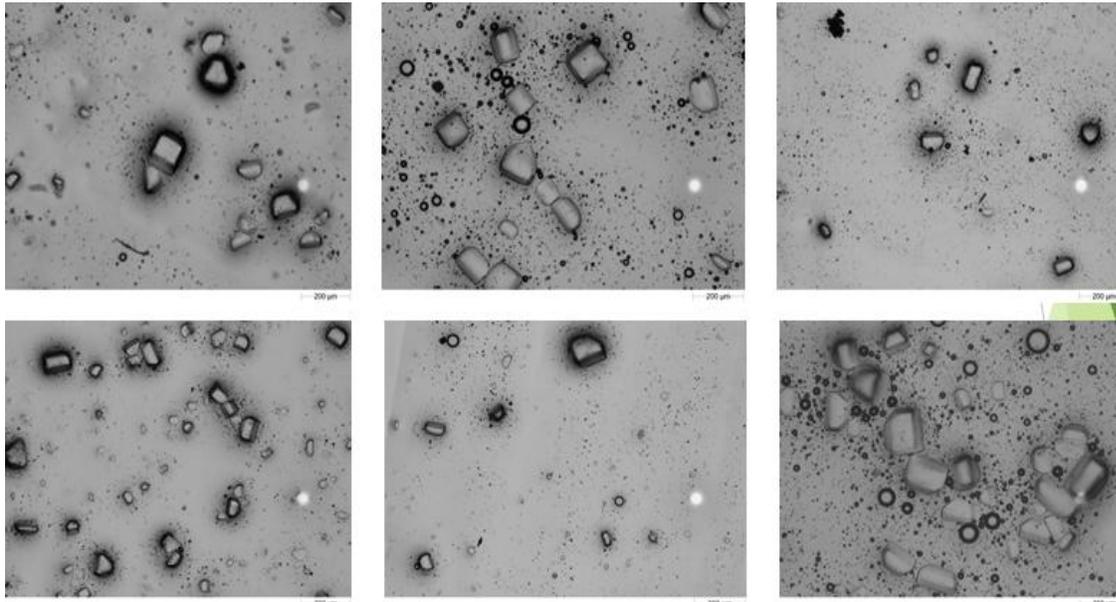
Fuente: referencia 3.

Figura 13. Estado de las centrífugas de B de crudo antes de llevar a cabo variaciones en el proceso



Fuente: referencia 3.

Figura 14. Estado de las centrifugas de B de crudo después de llevar a cabo variaciones en el proceso



Fuente: referencia 3.