



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**ESTUDIO DEL IMPACTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO
DE FILTRADO PARA REDUCIR LOS SÓLIDOS INSOLUBLES PRESENTES
EN LA MELADURA CLARIFICADA EN UN INGENIO AZUCARERO**

Vania Melissa Godoy Durán

Asesorado por el Ing. Ludwing Milton Miranda Miranda

Guatemala, noviembre de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DEL IMPACTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO
DE FILTRADO PARA REDUCIR LOS SÓLIDOS INSOLUBLES PRESENTES
EN LA MELADURA CLARIFICADA EN UN INGENIO AZUCARERO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

VANIA MELISSA GODOY DURÁN

ASESORADO POR EL ING. LUDWING MILTON MIRANDA MIRANDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus
EXAMINADOR	Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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:

ESTUDIO DEL IMPACTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE FILTRADO PARA REDUCIR LOS SÓLIDOS INSOLUBLES PRESENTES EN LA MELADURA CLARIFICADA EN UN INGENIO AZUCARERO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha agosto 2012.



Vania Melissa Godoy Durán

Guatemala, 19 de septiembre de 2013

Ingeniero

Víctor Manuel Monzón Valdez

Director de la Escuela de Ingeniería Química

Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ing. Monzón:

Deseándole éxitos en sus actividades diarias, me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que he aprobado el informe final de Trabajo de Graduación de la Srta. **Vania Melissa Godoy Durán** quien se identifica con el número de carné **200815298**, titulado: **"ESTUDIO DEL IMPACTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE FILTRADO PARA REDUCIR LOS SÓLIDOS INSOLUBLES PRESENTES EN LA MELADURA CLARIFICADA EN UN INGENIO AZUCARERO"**. El cuál asesoré durante la planeación y ejecución.

Agradeciendo la atención a la presente.

Atentamente,



Ing. Qco. Ludwig Milton Miranda Miranda

Colegiado 880

Asesor

INGENIERO QUIMICO
Ludwig Milton Miranda Miranda
COL. 880



Guatemala, 14 de octubre de 2013
Ref. EI.Q.TG-IF.067.2013

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el Acta TG-013-2013-IF le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por la estudiante universitaria: **Vania Melissa Godoy Durán.**

Identificada con número de carné: **2008-15298.**

Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA.**

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

ESTUDIO DEL IMPACTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE FILTRADO PARA REDUCIR LOS SÓLIDOS INSOLUBLES PRESENTES EN LA MELADURA CLARIFICADA EN UN INGENIO AZUCARERO

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Ludwin Milton Miranda Miranda.**

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **VANIA MELISSA GODOY DURÁN** titulado: **"ESTUDIO DEL IMPACTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE FILTRADO PARA REDUCIR LOS SÓLIDOS INSOLUBLES PRESENTES EN LA MELADURA CLARIFICADA EN UN INGENIO AZUCARERO"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.



Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, noviembre 2013

Cc: Archivo
VMMV/ale



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 Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO DEL IMPACTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE FILTRADO PARA REDUCIR LOS SÓLIDOS INSOLUBLES PRESENTES EN LA MELADURA CLARIFICADA EN UN INGENIO AZUCARERO**, presentado por la estudiante universitaria **Vania Melissa Godoy Durán**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, noviembre de 2013

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por el don de la vida y los sueños, que con perseverancia y amor se vuelven realidad.
Mi padre	Axel Godoy, por su valentía, amor y esfuerzo para sacarnos adelante.
Mi madre	Nelly Durán, por su apoyo, amor, confianza y lucha constante para formarme como mujer de bien.
Mis hermanos	Axel y Jeffrey Godoy, por los consejos y cuidados y sobre todo por ser la mejor compañía.
Mis abuelos	Piedad Guzmán, Benjamín Durán (q.e.p.d.), Esperanza Corado y Manfredo Godoy, por ser los pilares de mi familia.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser parte fundamental de mi formación académica.
Mis catedráticos	Por compartir sus experiencias personales y profesionales en la formación de sus alumnos.
Mis amigos de la facultad	Sindi Reyes, Ximena Barrera, María Isabel Oliva, Gabriela Jo, Karla Mis, Ana Montes, Ana Santizo, Oscar Córdova, Max Perez, José Ramás, Mario Maldonado, Eddie Raxón, Daniel Ávila, Alejandro Gálvez, Edwin Cortez, Victor Ríos y Otto Sic por su amistad y apoyo en todo momento.
Mis amigas de la infancia	María Fernanda Monzón, Pamela Juárez, Stybalis González, María Ester Pinto, Jocelyne Milla y Aurora Ortiz, por su enorme cariño y apoyo.
José López	Por su confianza y apoyo durante los últimos años de mi carrera.

Luis Ruiz Funes

Por su amistad y apoyo en el desarrollo de este proyecto.

Ingenio Concepción

Por abrirme las puertas y darme la confianza para realizar este proyecto.

Ing. Ludwing Miranda

Por brindarme su tiempo para compartir su experiencia y orientarme en la elaboración de este proyecto.

Fausto Escobar

Por su amistad, apoyo y sobre todo por compartir con alegría sus conocimientos.

Mis amigos del ingenio

Franty Miranda, Aldo Buechsel, Francisco Leiva y Daniel Carrillo, por compartir este tiempo conmigo y apoyarme.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Justificación	2
1.2. Determinación del problema.....	3
1.2.1. Definición	3
1.2.2. Delimitación	3
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Filtración	5
2.2. Teoría de filtración.....	5
2.3. Tipo de filtración	6
2.3.1. Por fuerza motriz	6
2.3.2. Por mecanismo de filtración.....	7
2.3.3. Por objetivo.....	7
2.3.4. Por ciclo de operación	7
2.3.5. Por naturaleza de los sólidos.....	7
2.1. Medio filtrante	8
2.2. Filtración continua	8
2.2.1. Filtros de operación continua.....	9

	2.2.1.1.	Filtro de banda al vacío	9
	2.2.1.2.	Filtro rotatorio de tambor al vacío	10
	2.2.1.3.	Filtro espesador.....	11
	2.2.1.4.	Filtro continuo a presión	11
	2.2.1.5.	Filtro continuo de precapa	11
2.3.		Ingenio azucarero	12
	2.3.1.	Proceso de fabricación de azúcar	12
		2.3.1.1. Clarificación de meladura por fosfo- flotación	14
2.4.		Sacarosa	18
	2.4.1.	Análisis de soluciones de azúcar	18
		2.4.1.1. Brix	19
		2.4.1.2. Pol	19
		2.4.1.3. Pureza	19
		2.4.1.4. Sólidos insolubles.....	20
		2.4.1.5. Filtrabilidad	20
		2.4.1.6. Test de sedimentos	21
		2.4.1.7. Color ICUMSA.....	21
		2.4.1.8. Turbidez ICUMSA	22
		2.4.1.9. Análisis de ceniza por conductividad....	22
3.		MARCO METODOLÓGICO	23
	3.1.	Variables	23
		3.1.1. Variables dependientes	23
		3.1.2. Parámetro de respuesta	24
	3.2.	Delimitación de campo de estudio	24
	3.3.	Recursos humanos disponibles	24
	3.4.	Recursos materiales disponibles.....	25
		3.4.1. Equipo	25

3.4.2.	Materia prima.....	26
3.4.3.	Reactivos.....	26
3.4.4.	Cristalería.....	27
3.4.5.	Software.....	28
3.5.	Técnica cuantitativa.....	28
3.5.1.	Cálculo de la pureza de meladura.....	28
3.5.1.1.	Determinación de pol de meladura.....	29
3.5.1.2.	Determinación de grados brix de meladura.....	30
3.5.2.	Ensayo de sólidos insolubles en meladura.....	30
3.5.3.	Filtrabilidad de meladura.....	32
3.5.4.	Test de sedimentos.....	33
3.5.5.	Ensayo de color y turbidez ICUMSA en azúcar blanco.....	34
3.5.6.	Ensayo de materia insoluble en azúcar blanco.....	36
3.5.7.	Ensayo de cenizas por conductividad.....	37
3.5.8.	Ensayo de filtrabilidad en azúcar blanco.....	38
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	39
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	40
3.8.	Análisis estadístico.....	41
3.8.1.	Determinación de número de muestras.....	41
3.8.2.	Determinación de la media muestral.....	42
3.8.3.	Determinación de error de muestreo.....	44
3.8.3.1.	Desviación estándar.....	44
3.8.3.2.	Varianza.....	46
3.8.3.3.	Coficiente de variabilidad.....	48
3.9.	Plan de análisis de los resultados.....	49

3.9.1.	Métodos y modelos de los datos según tipo de variables	49
3.9.1.1.	Análisis de varianza (ANOVA).....	49
3.9.2.	Programas utilizados en el análisis de datos.....	55
4.	RESULTADOS.....	57
4.1.	Determinación de la efectividad del proceso de filtración de meladura	57
4.2.	Determinación del efecto producido por la filtración de meladura en la fabricación de azúcar blanco	61
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	67
	CONCLUSIONES.....	69
	RECOMENDACIONES	71
	BIBLIOGRAFÍA.....	73
	APÉNDICES.....	77
	ANEXOS.....	127

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Filtro de banda al vacío	10
2.	Proceso de fabricación de azúcar	13
3.	Diagrama de flujo del sistema de clarificación de meladura por fosfo-flotación.....	17
4.	Molécula de sacarosa	18
5.	Ensayo para la determinación de pol en meladuras	29
6.	Ensayo de sólidos insolubles en meladuras.....	31
7.	Ensayo de filtrabilidad en meladuras.....	33
8.	Ensayo para la realización de test de sedimentos	34
9.	Ensayo de color y turbidez ICUMSA en azúcar blanco	35
10.	Ensayo de materia insoluble en azúcar blanco	37
11.	Ensayo de cenizas a azúcar blanco por conductividad	38
12.	Ensayo de filtrabilidad en azúcar blanco	39
13.	Comportamiento promedio de la pureza de meladura medida a la entrada y a la salida del filtro de banda.....	57
14.	Comportamiento promedio de la filtrabilidad de meladura a la entrada y salida del filtro de banda	58
15.	Comportamiento de los sólidos insolubles presentes en la meladura a la entrada y salida del filtro de banda.....	59
16.	Test de sedimentos de meladura	60
17.	Gráfica de puntos de color en azúcar blanco	61
18.	Gráfica de puntos de la turbidez en azúcar blanco	62
19.	Gráfica de puntos del porcentaje de ceniza en azúcar blanco	63

20.	Gráfica de puntos de la materia insoluble presente en el azúcar blanco.....	64
21.	Gráfica de puntos del porcentaje de filtrabilidad en azúcar blanco	65

TABLAS

I.	Media aritmética de brix, pol y pureza de meladura clarificada y meladura filtrada	42
II.	Media aritmética de filtrabilidad en meladura clarificada y meladura filtrada.....	43
III.	Media aritmética de sólidos insolubles en meladura clarificada y meladura filtrada	43
IV.	Media aritmética de los parámetros de calidad medidos en azúcar blanco.....	43
V.	Desviación estándar de brix, pol y pureza de meladura clarificada y meladura filtrada	45
VI.	Desviación estándar de filtrabilidad en meladura clarificada y meladura filtrada	45
VII.	Desviación estándar de sólidos insolubles en meladura clarificada y meladura filtrada	45
VIII.	Desviación estándar de los resultados de azúcar blanco	46
IX.	Varianza de brix, pol y pureza de meladura clarificada y meladura filtrada.....	46
X.	Varianza de filtrabilidad en meladura clarificada y meladura filtrada.....	47
XI.	Varianza de sólidos insolubles en meladura clarificada y meladura filtrada.....	47
XII.	Varianza de color y turbidez de azúcar blanco	47

XIII.	Coeficiente de variabilidad de las variables analizadas en meladura clarificada y meladura filtrada.....	48
XIV.	Análisis de varianza	51
XV.	Análisis de varianza del color de azúcar blanco	52
XVI.	Análisis de varianza de la turbidez en azúcar blanco.....	52
XVII.	Análisis de varianza de cenizas de azúcar blanco	53
XXVIII.	Análisis de varianza de la materia insoluble en azúcar.....	54
XIX.	Análisis de varianza de filtrabilidad de azúcar blanco.....	54
XX.	Medidas de dispersión de los resultados de pureza	58
XXI.	Medidas de dispersión de los resultados de filtrabilidad	59
XXII.	Medidas de dispersión de los resultados de sólidos insolubles	60
XXIII.	Medidas de dispersión de los resultados de color	61
XXIV.	Medidas de dispersión de los resultados de la turbidez.....	62
XXV.	Medidas de dispersión de los resultados de las cenizas.....	63
XXVI.	Medidas de dispersión de los resultados de la materia insoluble ...	64
XXVII.	Medidas de dispersión de los resultados de filtrabilidad	65

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Abs	Absorbancia
Abs_a	Absorbancia del agua
Abs_m	Absorbancia de la muestra
cm	Centímetro
F	Coefficiente de distribución de Fisher
Z	Coefficiente de distribución normal
CV	Coefficiente de variabilidad
C	Conductividad
S_x	Desviación estándar
E	Error de estimación
°C	Grado Celsius
g	Gramo
H₁	Hipótesis alterna
H₀	Hipótesis nula
Kg	Kilogramo
L	Litro
b	Longitud de celda
m	Masa
X	Media aritmética
µm	Micrómetro
min	Minuto
mg	Miligramo
ml	Mililitro

M	Molaridad
nm	Nanómetro
α	Nivel de riesgo aceptable
n	Número de muestras
k	Número de niveles
%p/p	Porcentaje en peso
pH	Potencial de hidrógenos
p	Probabilidad de éxito
q	Probabilidad de fracaso
$\mu\text{S/cm}$	Unidades de conductividad (micro siemens por centímetro)
UI	Unidades ICUMSA
σ	Varianza

GLOSARIO

ANOVA	<i>Analisis of variance</i> , por sus siglas en inglés; es un método estadístico que prueba la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales. La hipótesis nula establece que las medias de las poblaciones (medias de los niveles de factores) son iguales mientras que la hipótesis alterna establece que al menos una es diferente.
Baño ultrasónico	Equipo de laboratorio utilizado para eliminar las burbujas en una muestra por medio de sonificación.
Brix	Escala utilizada para determinar el porcentaje en peso de sólidos disueltos en una solución.
ICUMSA	Comisión Internacional para la Unificación de los Métodos de Análisis del Azúcar.
Medio filtrante	Material permeable utilizado para separar los componentes sólidos de una suspensión durante un proceso de filtración.
Meladura	Jugo concentrado de caña de azúcar con alto contenido de sólidos, entre 65-70 grados Brix.

Octapol	Agente clarificador en polvo, compuesto por calcio, sílice, oxígeno y metales pesados; utilizado en análisis de laboratorio para clarificar productos contaminados con sustancias solubles.
Pol	Ángulo de rotación de un plano de luz polarizada que atraviesa una solución que contiene compuestos ópticamente activos.
Pureza	Porcentaje de sacarosa en una solución medida a partir de la cantidad de sólidos totales (brix) y la cantidad de sacarosa aparente presente (pol).
Sacarosa	Disacárido formado por una molécula de glucosa y una de fructosa que se encuentra en altas cantidades en la caña de azúcar y en la remolacha azucarera.
Turbidez	Falta de transparencia que presenta una solución debida a la dispersión de la luz ocasionada por las partículas en suspensión.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación muestra el estudio realizado acerca del impacto producido en la calidad del azúcar blanco, debido a la implementación de un sistema de filtración de meladura clarificada. Se realizaron una serie de ensayos fisicoquímicos para caracterizar la meladura clarificada antes y después del sistema de filtración y con estos resultados se determinó la efectividad de esta operación, posteriormente se realizaron ensayos fisicoquímicos al azúcar blanco para determinar si existieron cambios significativos o no en sus parámetros de calidad.

Para el desarrollo del estudio se utilizó un filtro de banda al vacío instalado posterior al proceso de clarificación de meladura. Este filtro se compone de una malla de poliéster para retener partículas de hasta 36 micrómetros. Los resultados de los ensayos de las muestras de meladura tomadas a la entrada y salida del filtro se compararon gráficamente; las muestras de azúcar blanco se compararon con los datos obtenidos antes de la operación del filtro y fueron analizados estadísticamente mediante un análisis de varianza.

Los resultados mostraron una reducción de materia extraña en la meladura filtrada lo cual provocó un incremento de la pureza y la filtrabilidad de este material azucarado.

El análisis de varianza realizado a los resultados obtenidos en el azúcar determinó que existe un impacto significativo de la filtración, en la calidad de este producto. Se observó la reducción de la turbidez, reducción del porcentaje

de cenizas y materia insoluble así como el aumento de la filtrabilidad. A través del análisis de varianza también se determinó que la filtración de meladura no afecta significativamente los resultados de color en el azúcar.

Los análisis fisicoquímicos efectuados a la meladura y al azúcar se realizaron en el laboratorio de fábrica del Ingenio Concepción S. A.

OBJETIVOS

General

Evaluar la efectividad del proceso de filtración de meladura clarificada para la producción de azúcar blanco.

Específicos

1. Determinar el efecto de la filtración de meladura clarificada en términos de: reducción sólidos insolubles, incremento de la filtrabilidad, incremento de la pureza y análisis sensorial de sedimentos.
2. Determinar el impacto de la filtración de meladura clarificada en el azúcar blanco en términos de: reducción de color, turbidez, cenizas, materia insoluble e incremento de la filtrabilidad

INTRODUCCIÓN

La filtración es una operación unitaria que consiste en la separación de partículas sólidas de un medio líquido, a través de un medio filtrante. El medio filtrante debe ser seleccionado de acuerdo a la naturaleza de las partículas a extraer (tamaño, forma, reactividad, compresibilidad, entre otros).

El proceso de filtración ha sido utilizado en la industria azucarera para la separación de materia insoluble en el jugo de caña, obteniendo resultados exitosos.

En un ingenio azucarero con capacidad de molienda de 8 500 toneladas métricas de caña, se estudió el impacto de la filtración de meladura clarificada por medio de un filtro de banda al vacío diseñado para operar con meladura, licor o jugo claro. El filtro consiste en una membrana de poliéster que se desplaza a través de rodillos. La meladura es alimentada al filtro hacia una bandeja distribuidora instalada arriba de la membrana del filtro. Bajo la membrana se encuentran una caja de succión en donde se recibe la meladura filtrada y es dirigida hacia un tanque de separación. La succión es provocada por medio de un ventilador de tiro inducido conectado al tanque de separación.

El presente estudio busca informar acerca del uso de la filtración en la meladura como medio de reducción de materia extraña para obtener una meladura más limpia.

1. ANTECEDENTES

La filtración es una operación unitaria de separación líquido-sólido muy utilizada por ser un método sencillo, efectivo y de bajo costo.

En la industria azucarera la filtración juega un papel muy importante en la separación de la materia extraña presente en el jugo de caña desde de su extracción hasta su cristalización. Un filtro de tambor rotatorio conocido como *Cush Cush*, es utilizado para separar la fibra de caña y el jugo en la estación de extracción. En el proceso de clarificación de jugo se utilizan tambores rotatorios al vacío para extraer el excedente de jugo en la cachaza, y filtros vibratorios para separar el bagacillo y el jugo clarificado. En la refinería, filtros conectados en serie se encargan de eliminar los agentes clarificantes en el jarabe de azúcar.

Sin embargo, en los ingenios azucareros de Guatemala no existen antecedentes del uso de filtros para la meladura.

Actualmente, la meladura es clarificada a través de un método de fosfo-flotación que a pesar de su extenso uso no es suficiente para separar todo el material indeseable de la meladura. La clarificación de meladura por fosfo-flotación se realiza a través de las siguientes etapas: calentamiento, adición de reactivos, aireación, adición de floculante y separación de fases.

El método de fosfo-flotación es un proceso muy eficaz, sin embargo resulta difícil eliminar el cien por ciento de los sólidos insolubles en la meladura por lo que los resultados no son siempre los deseados.

Durante la zafra 2012/2013 en un ingenio guatemalteco con una capacidad de molienda de 8 500 toneladas métricas de caña, se implementó un proceso posterior a la clarificación de la meladura, el cual consiste en la filtración de la meladura clarificada por medio de un filtro horizontal de banda al vacío. Una tecnología nueva en Guatemala importada desde Brasil, en donde se utiliza desde hace algunos años.

Los principales beneficios que se han obtenido de este proceso son la remoción de sólidos en suspensión y materia coloidal en la meladura; estas impurezas son causantes de incumplimiento de especificaciones de clientes de azúcar blanco y refino.

1.1. Justificación

Los ingenios azucareros invierten grandes cantidades de dinero en la compra de nueva tecnología que les permita hacer más eficiente el proceso de fabricación de azúcar, obteniendo como resultado un producto que cumple con los parámetros de calidad requeridos por sus consumidores.

Debido a que la calidad del cristal de azúcar depende de su pureza, es necesario eliminar la mayor cantidad posible de materia extraña de la sacarosa en solución antes de enviarla a la etapa de cristalización. En el proceso de fabricación de azúcar se utilizan diferentes métodos para atrapar esta materia indeseable, sin embargo no han sido suficientes.

Con el objetivo de disminuir la cantidad de materia indeseable en la meladura clarificada se implementó el proceso de filtración de la meladura por medio de un filtro de banda al vacío.

Este estudio está enfocado a evaluar la mejora en la calidad de la meladura clarificada y como consecuencia en el azúcar blanco utilizando el método de filtración.

1.2. Determinación del problema

El proceso de clarificación no es suficiente para remover toda la materia extraña presente en la meladura, esta materia interfiere en la cristalización de la sacarosa y puede ocasionar la formación de cristales de baja pureza.

1.2.1. Definición

La presente es una investigación de tipo exploratoria, que busca informar acerca del uso de un equipo de filtración en la etapa de clarificación de meladura para la producción de azúcar blanco. Esta información será obtenida a través de análisis fisicoquímicos y sensoriales realizados tanto en la meladura clarificada y filtrada como en el producto final (azúcar blanco).

A través de métodos comparativos se determinará si existe un impacto significativo en el proceso de fabricación de azúcar al filtrar la meladura.

1.2.2. Delimitación

El estudio se realizó durante la zafra 2012/2013 en el Ingenio Concepción S. A., ubicado en el kilómetro 56 carretera al Pacífico, departamento de Escuintla, Guatemala.

Para el desarrollo del presente estudio se utilizó un filtro de banda al vacío del cual se extrajeron muestras de meladura a la entrada y a la salida; éstas

fueron analizadas en el laboratorio ubicado en las instalaciones de la fábrica. También se analizaron muestras de azúcar blanco para determinar el efecto en sus características al utilizar meladura filtrada en su fabricación.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Filtración

La filtración es una operación unitaria que consiste en la separación de una mezcla sólido-líquido a través de un medio filtrante. El medio filtrante puede ser cualquier material permeable formado por poros de un tamaño menor a las partículas que se desean retener. La solución que atraviesa el medio se conoce como filtrado y las partículas retenidas son llamadas residuos.

“Los factores que afectan a la filtración son: viscosidad, espesor y porosidad de la torta, presión diferencial y superficie del filtro”¹.

2.2. Teoría de filtración

La teoría de filtración permite realizar cálculos del proceso a gran escala a partir de datos experimentales obtenidos en un laboratorio. El proceso de filtración puede dividirse en dos ramas principales: filtración continua, en donde la resistencia de la torta es mayor al medio filtrante y al drenaje de filtrado, y filtración por lotes (*batch*), en donde la resistencia de la torta es menor al medio filtrante y al drenaje de filtrado.

¹ PELAYO DÍAZ, Susana. Modelado dinámico de filtros de jugo en industria azucarera con Econsimpro. [en línea]. 2ª Reunión de usuarios de Ecosimpro. Madrid, 2003.

La teoría de filtración para ambos tipos de operación, continua y *batch*, está basada en la ecuación de Hagen-Poiseuille:

$$\frac{1}{A} \frac{dV}{d\theta} = \frac{P}{\mu \left(\frac{\alpha \omega V}{A} + r \right)} \quad [\text{Ecuación 1, Ref. 12, 18-83pp}]$$

Donde:

V= volumen de filtrado

Θ = tiempo de filtración

A= área de filtrado

P= presión del sistema

ω = peso de la torta por unidad de volumen de filtrado

μ = viscosidad del filtrado

α = resistencia específica de torta

r= resistencia de medio filtrante

2.3. Tipo de filtración

Existen diversos tipos de filtración, clasificados según el principio de operación del equipo utilizado, el objetivo de la separación, ciclos de operación y la naturaleza del material a separar. A continuación se describe cada uno de ellos.

2.3.1. Por fuerza motriz

En este tipo de filtración, la solución es inducida a atravesar el medio filtrante por acción de gravedad, un gradiente de presión o por fuerza centrífuga.

2.3.2. Por mecanismo de filtración

Este tipo de filtración, se refiere a la posición de los sólidos respecto al medio filtrante. En la filtración por formación de torta las partículas se alojan sobre la superficie del medio filtrante; en el lecho profundo las partículas se depositan dentro del medio filtrante y en la filtración por membrana no hay depósito de sólidos sobre la membrana sino concentración de la solución.

2.3.3. Por objetivo

El objetivo de la filtración pueden ser los sólidos retenidos (la torta es producto de valor), el líquido clarificado (el filtrado es el producto de valor) o ambos.

2.3.4. Por ciclo de operación

La filtración puede realizarse de forma continua o intermitente (*batch*). Los filtros intermitentes pueden operar a presión constante, velocidad constante o presión y velocidad variables con ciclos que varían según el área de filtración y la cantidad de sólidos presentes.

2.3.5. Por naturaleza de los sólidos

Los sólidos filtrados pueden ser compresibles o incompresibles, el tamaño de partícula es de igual orden de magnitud que el tamaño mínimo del poro del medio filtrante (1 micrómetro o mayor) o más pequeño (menor a 1 micrómetro). Este último debe realizarse por ultrafiltración.

2.1. Medio filtrante

El medio filtrante, es un material poroso destinado a la retención de partículas de un tamaño establecido. Los criterios de selección del medio filtrante se basa en:

- Retención de un tamaño mínimo de partículas
- Baja retención de partículas finas en los intersticios
- Resistencia al ataque químico y compatibilidad con el fluido
- Resistencia a la presión de filtración
- Resistencia al desgaste mecánico
- Facilidad de descarga de la torta y limpieza
- Bajo costo

El medio filtrante se encuentra disponible en varios tipos de materiales: fibras naturales y sintéticas, materiales metálicos, materiales cerámicos y polímeros.

2.2. Filtración continua

La principal ventaja que ofrece la filtración continua sobre la filtración intermitente es que no se interrumpe la operación para descartar la torta, ya que los filtros de operación continua poseen un sistema de limpieza que se encarga de retirar la torta de forma periódica por lo que hay un mejor aprovechamiento de la superficie de filtrado.

2.2.1. Filtros de operación continua

Estos filtros son utilizados en procesos continuos, debido a su bajo tiempo de retención y fácil limpieza. A continuación se describen algunos filtros de operación continua, su estructura y principio de operación.

2.2.1.1. Filtro de banda al vacío

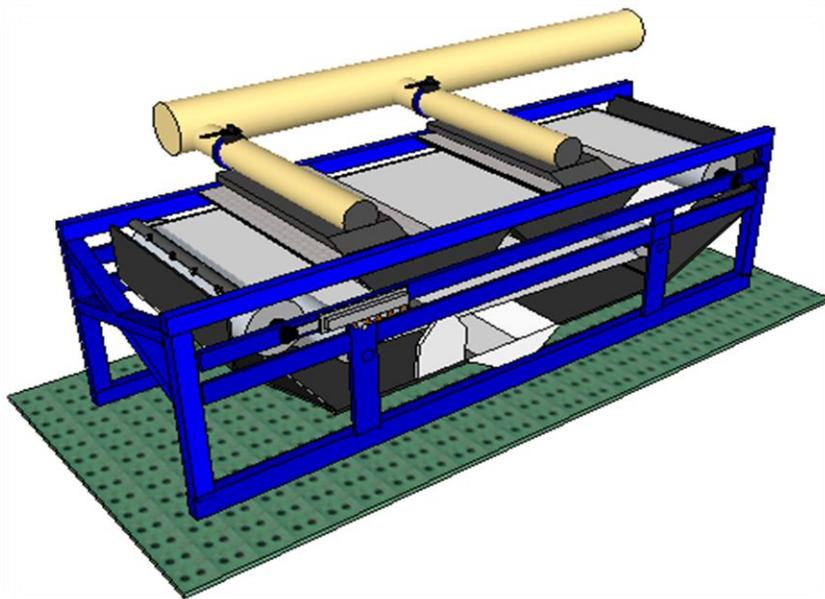
El filtro de banda al vacío, es un equipo compuesto por una banda que se desplaza de forma cíclica a través de rodillos. Este filtro corresponde al tipo de filtración por fuerza motriz ya que se basa en un diferencial de presión para realizar la filtración.

El filtro utilizado en el desarrollo del presente estudio, está construido en acero inoxidable y utiliza como medio filtrante una membrana de poliéster con cara de desgaste en poliamida, malla equivalente a 450 *mesh* para operar con meladura hasta una capacidad de 100 metros cúbicos por hora. Esta membrana puede retener partículas hasta 36 micrómetros y resiste temperaturas de 85 grados Celsius. La tensión de la membrana es ajustada por medio de pistones neumáticos.

La meladura alimentada al filtro cae sobre una bandeja de distribución, donde se derrama sobre la banda y es succionada hacia las cajas recolectoras las cuales se encuentran conectada a un turbo ventilador encargado de generar presión de vacío en el sistema. Los sólidos retenidos en la membrana son retirados por un sistema de limpieza constituido por una flauta de aspersores que inyectan agua a 65 grados Celsius. El drenado es recibido sobre una mesa y direccionado hacia un tanque para su reproceso.

El filtro cuenta con un sistema de asepsia con vapor, el cual se distribuye por medio de aspersores sobre los rodillos encargados del movimiento de la membrana.

Figura 1. **Filtro de banda al vacío**



Fuente: elaboración propia con programa Sketchup.

2.2.1.2. **Filtro rotatorio de tambor al vacío**

El filtro rotatorio de tambor está compuesto por compartimientos conectados a un cabezal que permite la comunicación con la presión de vacío mientras éste gira. Los compartimientos están recubiertos por material filtrante y según su posición respecto al cabezal de mando, éstos pueden estar sometidos a diferente presión.

2.2.1.3. Filtro espesador

Este filtro separa parte del líquido en una suspensión, para obtener otra de mayor concentración. Tiene la apariencia de un filtro de prensa con placas sucesivas de canales apareados que forman una conducción larga en espiral. La suspensión atraviesa el canal a presión mientras una parte de ella fluye por el canal hacia al distribuidor múltiple de descarga de líquido claro.

2.2.1.4. Filtro continuo a presión

Este filtro consiste en un conjunto de discos encerrados en recipientes a presión. La filtración tiene lugar a una presión de hasta 6 bar y el filtrado se descarga a presión atmosférica, o en un recipiente mantenido a una adecuada contrapresión. La descarga de la torta se facilita a través de una válvula doble con el fin de mantener la presión del recipiente.

2.2.1.5. Filtro continuo de precapa

Este filtro es utilizado en la clarificación de suspensiones con sólidos entre 50 a 500 miligramos por kilogramo, opera de manera semejante a los filtros a presión o de vacío. La presión de vacío es aplicada en toda la rotación.

Antes de alimentar el filtro, el medio filtrante es cubierto por una precapa de sólidos entre 75 a 125 milímetros. Al entrar la alimentación, ésta es atrapada en la superficie de la precapa en donde se retira con la ayuda de una chuchilla. En realidad es un filtro *batch* pero con un ciclo extenso, entre 1 a 10 días.

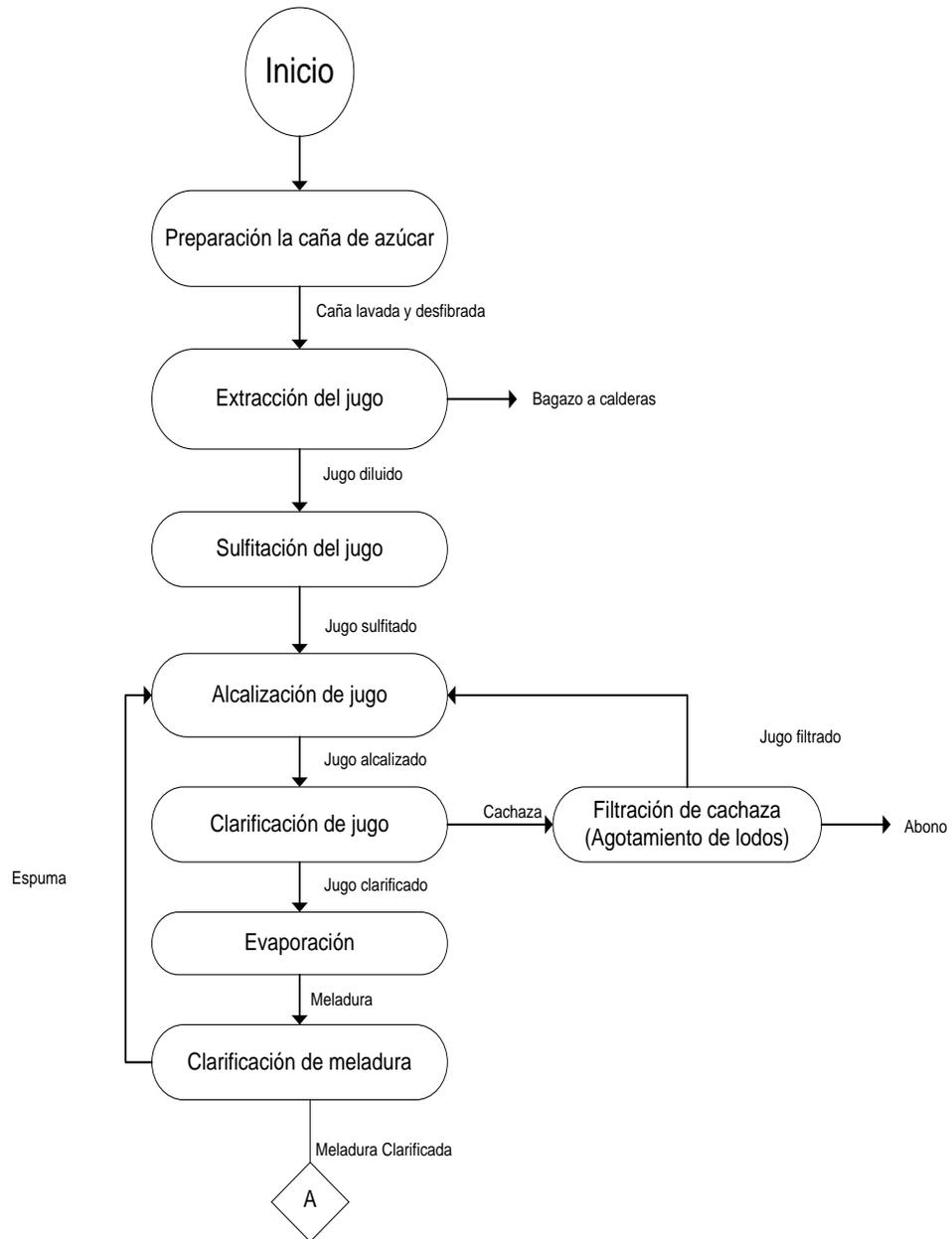
2.3. Ingenio azucarero

Se denomina ingenio azucarero a las instalaciones dedicadas a procesar caña de azúcar, con el objeto de recuperar sacarosa cristalizada, alcohol y otros subproductos. Su antecesor es el trapiche, cuya escala de producción era muy pequeña.

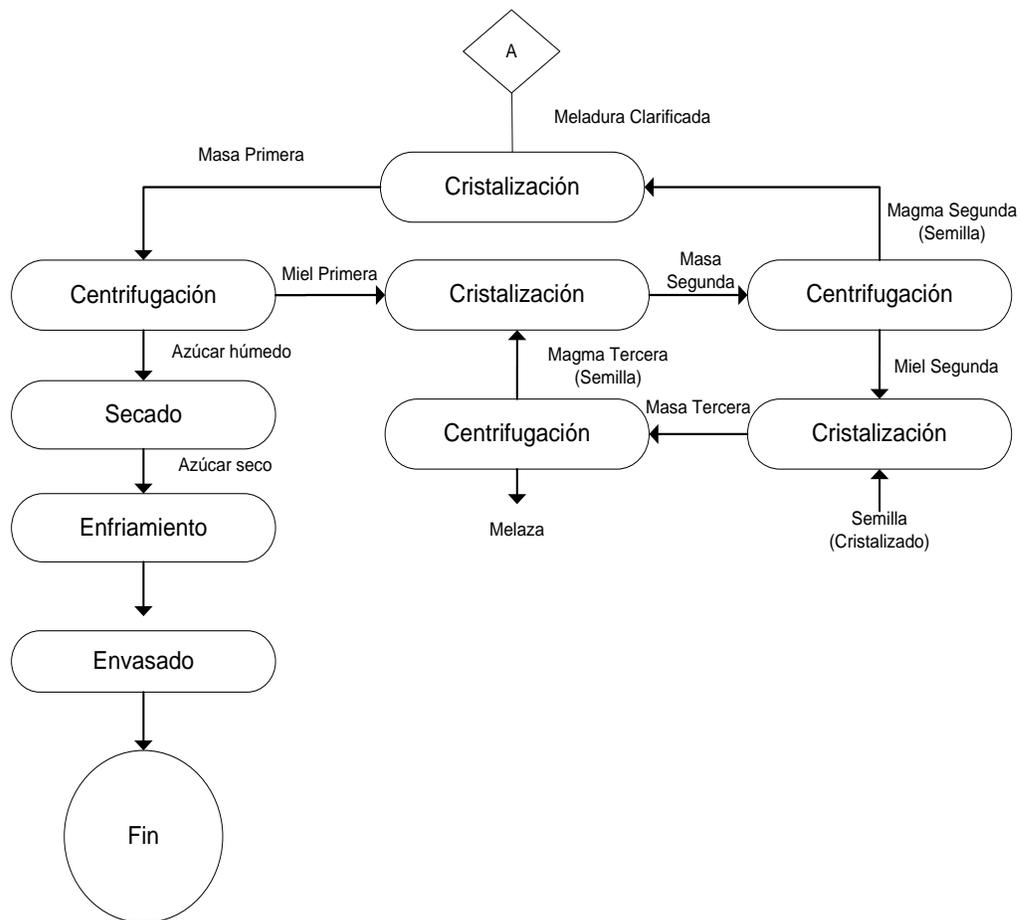
2.3.1. Proceso de fabricación de azúcar

La producción de azúcar conlleva un proceso extenso de purificación del jugo de caña, cristalización de la sacarosa (azúcar) en solución, acondicionamiento del producto y envasado; como se muestra en la siguiente figura.

Figura 2. **Proceso de fabricación de azúcar**



Continuación de la figura 2.



Fuente: elaboración propia.

2.3.1.1. Clarificación de meladura por fosfo-flotación

La fosfo-flotación, es un método utilizado para extraer la materia extraña en la meladura por medio de la formación de flóculos y aireación.

El proceso de clarificación por fosfo-flotación inicia con el ajuste de temperatura de la meladura, por medio de intercambiadores de calor. Con ello que se busca disminuir la viscosidad de la meladura y acelerar las reacciones de precipitación y floculación en la etapa posterior.

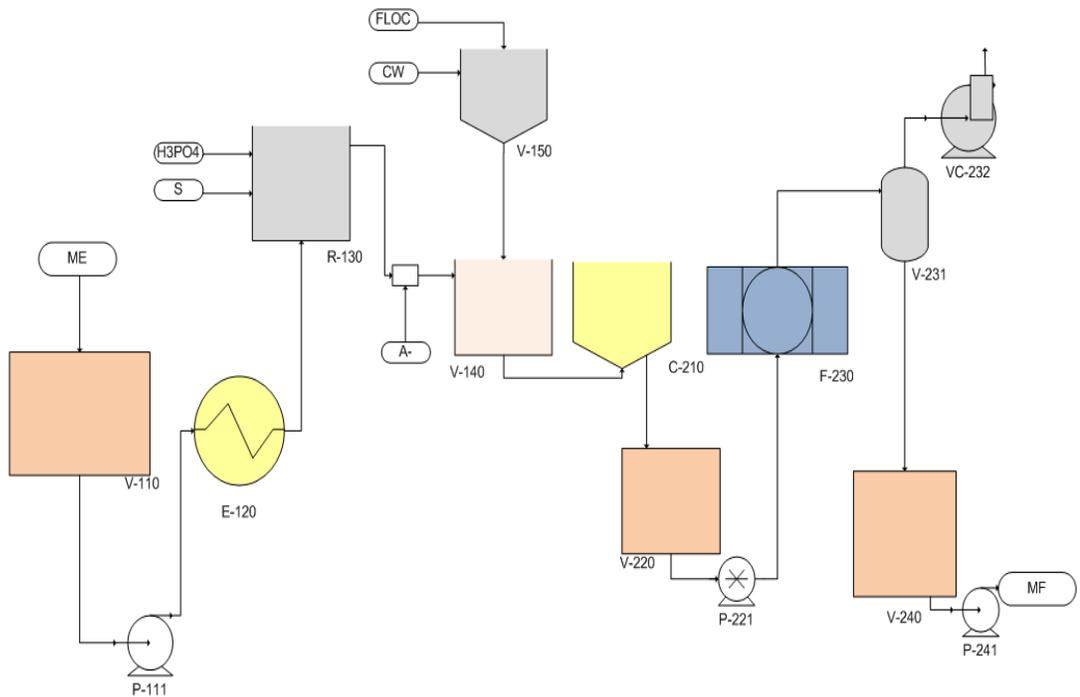
Al salir de los intercambiadores, la meladura es bombeada a un tanque de reacción en donde se adiciona ácido fosfórico y sacarato de calcio (una mezcla de cal, agua, jugo diluido y meladura en proporciones establecidas). El ácido fosfórico reacciona con el sacarato de calcio formando así el fosfato de calcio, que tiende a precipitar por la alta temperatura de la meladura. La precipitación del fosfato de calcio genera la coprecipitación de las partículas en suspensión.

La meladura baja por gravedad a un sistema de aeración en donde se inyecta aire a través de sondas de microporos generando microburbujas. Estas microburbujas, son las encargadas de la microfloculación que consiste en la aglomeración de las partículas finas precipitadas. La meladura es dirigida a unos tanques de rebalse, con el objetivo de disminuir la velocidad del fluido. La disminución de la velocidad es un factor determinante para evitar el daño mecánico de los flóculos formados y crear un flujo laminar antes de entrar al clarificador. El floculante adicionado es el encargado de desestabilizar la mezcla y aglomerar los microflóculos en macroflóculos.

La meladura tratada es bombeada hacia los clarificadores circulares en los que ingresa por medio de un tubo central. En este punto es necesario evitar la agitación de la meladura para permitir la separación de fases. La espuma generada por la aireación, es retirada por medio de raspadores que giran a baja revolución. La meladura clarificada sale por la parte inferior de los clarificadores y es bombeada hacia los tachos para la etapa de cristalización.

En el siguiente diagrama se muestran las conexiones de los equipos en la estación de clarificación de meladura por fosfo-flotación y el equipo de filtración instalado al final de esta etapa.

Figura 3. Diagrama de flujo del sistema de clarificación de meladura por fosfo-flotación



Lista de equipos	
Equipo	Descripción
C-210	Clarificador de meladura
E-120	Calentador de meladura
F-230	Filtro de banda al vacío
P-111	Bomba de meladura evaporada
P-221	Bomba de meladura clarificada
P-241	Bomba de meladura filtrada
R-130	Tanque reactor
V-110	Tanque de meladura evaporada
V-140	Tanque de aplicación de floculante
V-150	Tanque de preparación de floculante
V-220	Tanque de meladura clarificada
V-231	Tanque de descarga de meladura filtrada
V-240	Tanque de meladura filtrada
VC-232	Ventilador centrífugo generador de vacío

Lista de servicios	
Servicio	Descripción
A-	Aire comprimido
CW	Agua fría
Floc	Floculante
H3PO4	Ácido fosfórico
S	Sacarato

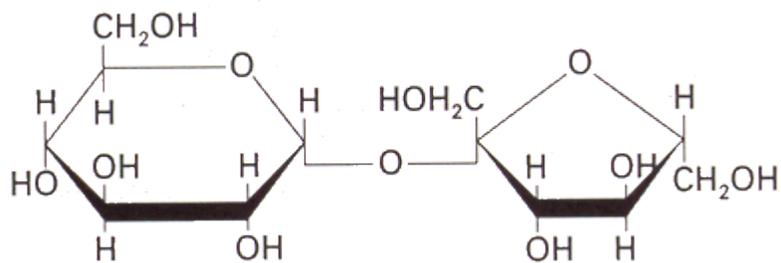
Fuente: elaboración propia.

2.4. Sacarosa

La sacarosa es un disacárido compuesto por glucosa y fructosa, obtenida a partir de caña de azúcar o remolacha. Cuando se hidroliza mediante un ácido o una enzima invertasa, produce cantidades equimolares de glucosa y fructosa.

La sacarosa (comúnmente llamada azúcar) es de gran importancia comercial debido a que es fácilmente cristizable a escala industrial en comparación a la glucosa y la fructosa, y posee mayor poder endulzante.

Figura 4. **Molécula de sacarosa**



Fuente: Morrison, Robert, 1308pp.

2.4.1. Análisis de soluciones de azúcar

Los análisis de soluciones azucaradas dentro de la industria azucarera, son determinados por la Comisión Internacional de Métodos Uniformes para el Análisis de Azúcar (ICUMSA, por sus siglas en inglés).

2.4.1.1. Brix

El grado brix representa el porcentaje en peso de la sacarosa en una solución de azúcar pura. Sin embargo en la industria azucarera se utiliza esta variable como una medición de los sólidos totales disueltos en solución, ya sea sacarosa u otro material. El grado Brix es medido por lectura directa en un refractómetro.

2.4.1.2. Pol

La pol es el ángulo de rotación de un plano de luz polarizada, obtenido como resultado de la actividad óptica de los componentes de una solución. La sacarosa es denominada azúcar dextrorrotatorio, esto quiere decir que hace rotar el plano de polarización en sentido de las manecillas del reloj. Esta rotación varía según la concentración de la solución, la longitud de celda utilizada en la medición, la longitud de onda y la temperatura. “Si se tiene una longitud de celda y de onda constante, la rotación se vuelve función de la concentración de la muestra”². La pol es medida a través de un equipo llamado Polarímetro.

2.4.1.3. Pureza

En la industria azucarera la pureza está definida como “el azúcar de caña presente en términos de porcentaje de la materia sólida”³. La pureza se puede expresar de la siguiente forma:

² CHEN, James C. P. Manual del azúcar de caña. 887pp

³ CHEN, James C. P. Manual del azúcar de caña. 987pp

- Pureza aparente por aerómetro: este término es utilizado cuando la pureza es dada en términos del cociente de la pol entre los grados brix de una solución medidos en un aerómetro.
- Pureza aparente por refractómetro: este término es utilizado cuando la pureza es dada en términos del cociente de la pol entre los grados brix de una solución dados por un refractómetro.
- Pureza verdadera: término utilizado para expresar el porcentaje de sacarosa por la determinación de sólidos por secado.

2.4.1.4. Sólidos insolubles

Una solución puede estar compuesta por sólidos disueltos y sólidos en suspensión. Estos últimos son conocidos como sólidos insolubles y pueden ser separados por tratamientos físicoquímicos, sedimentación y filtración.

El análisis de sólidos insolubles permite conocer la cantidad de materia insoluble presente en una solución. La solución se filtra y los sólidos retenidos en la membrana de filtración son secados para obtener la cantidad real de materia presente en la solución. Los sólidos insolubles, son expresados en miligramos de materia insoluble por kilogramos de solución (partes por millón).

2.4.1.5. Filtrabilidad

La filtrabilidad es una medida de la facilidad con la que una solución atraviesa un medio filtrante durante un período de tiempo. La filtrabilidad se ve afectada por la temperatura, presencia de agua y/o aditivos y por el tipo de medio filtrante.

En los ingenios azucareros, la filtrabilidad es un factor determinante en el proceso de refinación ya que afecta la capacidad de producción de azúcar refinado. Los agentes causantes de la disminución de la filtrabilidad son la naturaleza del material alimentado y la cantidad de impurezas presentes.

2.4.1.6. Test de sedimentos

El test de sedimentos es un análisis sensorial, realizado para evaluar la eficacia del proceso de clarificación, asignándole un número representativo en una escala de 1 a 4 según la cantidad de sedimentos observables (1=excelente; 4=exceso de sedimentos) en la membrana por la cual se hace pasar determinada cantidad de la muestra. El test de sedimentos permite evaluar de forma instantánea la condición del proceso y tomar decisiones de manera inmediata.

2.4.1.7. Color ICUMSA

Es el valor del índice de absorbancia multiplicado por 1000 a una longitud de onda de 420 nanómetros. Los valores resultantes se designan como unidades ICUMSA (UI). "El índice de absorbancia se debe utilizar para cualquier cálculo de la eficiencia de la decoloración, así como para la comparación de los resultados de color"⁴ ICUMSA (*International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis*).

⁴ LIMA GODÍNEZ, José Abel. Evaluación del efecto que generan dos procesos de producción de azúcar blanco (procesos blanco directo y proceso blanco cristal) sobre el color del azúcar producida en un ingenio azucarero guatemalteco. Trabajo de graduación de Ing. Químico. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2009. 58 p.

2.4.1.8. Turbidez ICUMSA

La turbidez medida de la falta de transparencia de una solución debida a la dispersión de la luz ocasionada por las partículas en suspensión. En la industria azucarera se utiliza el método ICUMSA, ya que es el método aceptado internacionalmente. Éste establece la turbidez a partir de la diferencia en la medición del color ICUMSA en una solución de azúcar sin filtrar y una solución filtrada, a una longitud de onda de a 420 nanómetros.

2.4.1.9. Análisis de ceniza por conductividad

El análisis de ceniza en azúcar se basa en la mala conductividad de las soluciones de sacarosa pura. Las impurezas minerales y las sales orgánicas son las causantes de la conductividad de una solución, ya que estas partículas se disocian en iones por medio de los cuales es posible estimar el porcentaje de ceniza en una muestra.

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Las variables estudiadas son características de las soluciones azucaradas que determinan su calidad. A través de ellas también puede determinarse el estado de un proceso y realizar ajustes de ser necesario.

3.1.1. Variables dependientes

Las variables dependientes, son aquellas que no son manipuladas durante un estudio y que son el resultado de otras variables. En este caso se estudiarán algunas características fisicoquímicas de los productos del proceso de fabricación de azúcar, las cuales están determinadas por la materia prima que entra al proceso.

- Brix
- Pol
- Filtrabilidad
- Sólidos insolubles
- Absorbancia
- Conductividad

3.1.2. Parámetro de respuesta

Los parámetros de respuesta que se utilizaron en este estudio, son las características que determinan la calidad de los productos en la industria azucarera.

- Pureza aparente
- Materia insoluble (mg/kg)
- Porcentaje de filtrabilidad
- Escala numérica de test de sedimentos
- Turbidez ICUMSA
- Color ICUMSA
- Cenizas

3.2. Delimitación de campo de estudio

Esta investigación corresponde al área de alimentos y fue desarrollado en la industria azucarera, en donde se evaluó el efecto del proceso de filtración de meladura clarificada en la producción de azúcar blanco. El estudio fue realizado en las instalaciones del Ingenio Concepción S. A., en el departamento de Escuintla.

3.3. Recursos humanos disponibles

Durante esta investigación se contó con el apoyo del personal administrativo del Ingenio Concepción S. A.; el personal de fábrica y laboratorio de calidad.

- Investigador: Br. Vania Melissa Godoy Durán
- Asesor: Ing. Ludwing Milton Miranda Miranda

3.4. Recursos materiales disponibles

Los recursos materiales utilizados durante los análisis pertenecen al laboratorio de calidad, Ingenio Concepción S. A. En el presente estudio se utilizaron los siguientes equipos, materia prima, cristalería y reactivos:

3.4.1. Equipo

Para el desarrollo del presente estudio, se utilizó un equipo de filtración horizontal de banda, al vacío. Además se utilizó equipo de laboratorio para el análisis de las muestras de meladura y azúcar. Este equipo se evaluó para verificar su calibración.

- Refractómetro
- Polarímetro
- Espectrofotómetro
- pH-metro
- Balanza analítica $\pm 0,0001$ g
- Horno de convección
- Autofilt
- Bomba de vacío
- Agitador mecánico
- Agitador magnético
- Baño ultrasónico
- Equipo de filtración

- Plancha de calentamiento
- Balanza semianalítica ± 1 g
- Conductímetro
- Computador

3.4.2. Materia prima

En la realización de este estudio se tomaron muestras de los siguientes materiales, los cuales fueron analizados a través de métodos fisicoquímicos para determinar sus características:

- Meladura clarificada
- Meladura filtrada
- Azúcar blanco

3.4.3. Reactivos

Los reactivos utilizados durante el análisis de los materiales en estudios, fueron proporcionados por el laboratorio de calidad de fábrica, estos se utilizaron de forma responsable y fueron descartados bajo medidas de seguridad.

- Agua desmineralizada
- Agua desmineralizada filtrada a $0,45 \mu\text{m}$
- Hidróxido de sodio 0,1 M
- Octapol (ayuda filtrante)

3.4.4. Cristalería

A continuación se encuentra una lista de la cristalería utilizada para el desarrollo de los análisis realizados a las muestras de meladura y azúcar. Se designaron recipientes específicos para cada material y se lavaron entre cada análisis para evitar su contaminación.

- Beacker 250 ml
- Celda de 5 cm para espectrofotómetro
- Pizeta
- Cápsula de pesaje
- Balón aforado de 100 y 200 ml
- Desecador
- Tubos de ensayo
- Kitasato
- Parafilm
- Micropipeta plástica
- Membrana de nitrato de celulosa de 0,45 μ m
- Filtro TC 900
- Membrana hidrofóbica AE99/5 de 8 μ m de poro
- Caja Petri plásticas
- Jarras de acero inoxidable 1000 ml
- Sílica con indicador de humedad
- Papel filtro Whatman No. 91
- Pipeta 25 ml
- Recipiente plástico 500 ml

3.4.5. Software

En la presentación del presente estudio, se utilizaron las siguientes herramientas informáticas, para el análisis estadístico de los resultados y la realización de gráficas:

- Microsoft Word 2010
- Microsoft Excel 2010
- Microsoft Office Visio 2007
- Minitab 16

3.5. Técnica cuantitativa

Para el estudio de las variables mencionadas se tomaron muestras de meladura clarificada, meladura filtrada y azúcar blanco y se procedió según los ensayos establecidos en el instructivo Calidad de Conformidad Industrial del laboratorio de fábrica del Ingenio Concepción S. A.

3.5.1. Cálculo de la pureza de meladura

La pureza de la meladura está dada como el porcentaje de sacarosa en la solución (pol) con respecto al total de sólidos disueltos (brix). Y se calcula según la ecuación 2.

$$\text{Pureza} = \frac{\text{Pol}}{^{\circ}\text{Brix}} * 100 \quad \text{[Ecuación 2]}$$

Donde:

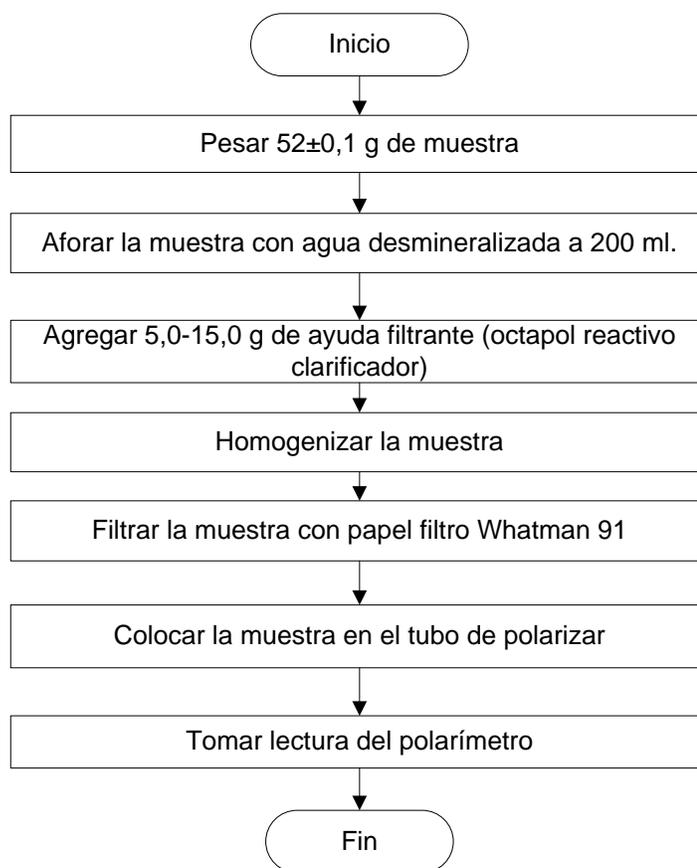
Pol= polarización de la sacarosa medida por un polarímetro [%]

°Brix= concentración de sólidos disueltos [%p/p]

3.5.1.1. Determinación de pol de meladura

La pol de la meladura clarificada y la meladura filtrada, se determinó a partir del procedimiento descrito en la figura 5. Este análisis se realiza con la ayuda de un polarímetro.

Figura 5. Ensayo para la determinación de pol de meladuras



Fuente: Instructivo Calidad de Conformidad Industrial. Laboratorio de fábrica, Ingenio Concepción S. A.: 2010.

3.5.1.2. Determinación de grados brix de meladura

Los grados brix están dados por la lectura directa de una alícuota del material en un refractómetro. La muestra debe analizarse a temperatura ambiente y debe verificarse la calibración del equipo.

3.5.2. Ensayo de sólidos insolubles en meladura

Este método consiste en la separación física de los sólidos insolubles de una solución a través de una membrana. Los sólidos atrapados en la membrana deben secarse y pesarse.

$$\text{Sólidos insolubles} = \frac{m_2 - m_1 * 10^6}{m_0} \quad [\text{Ecuación 3}]$$

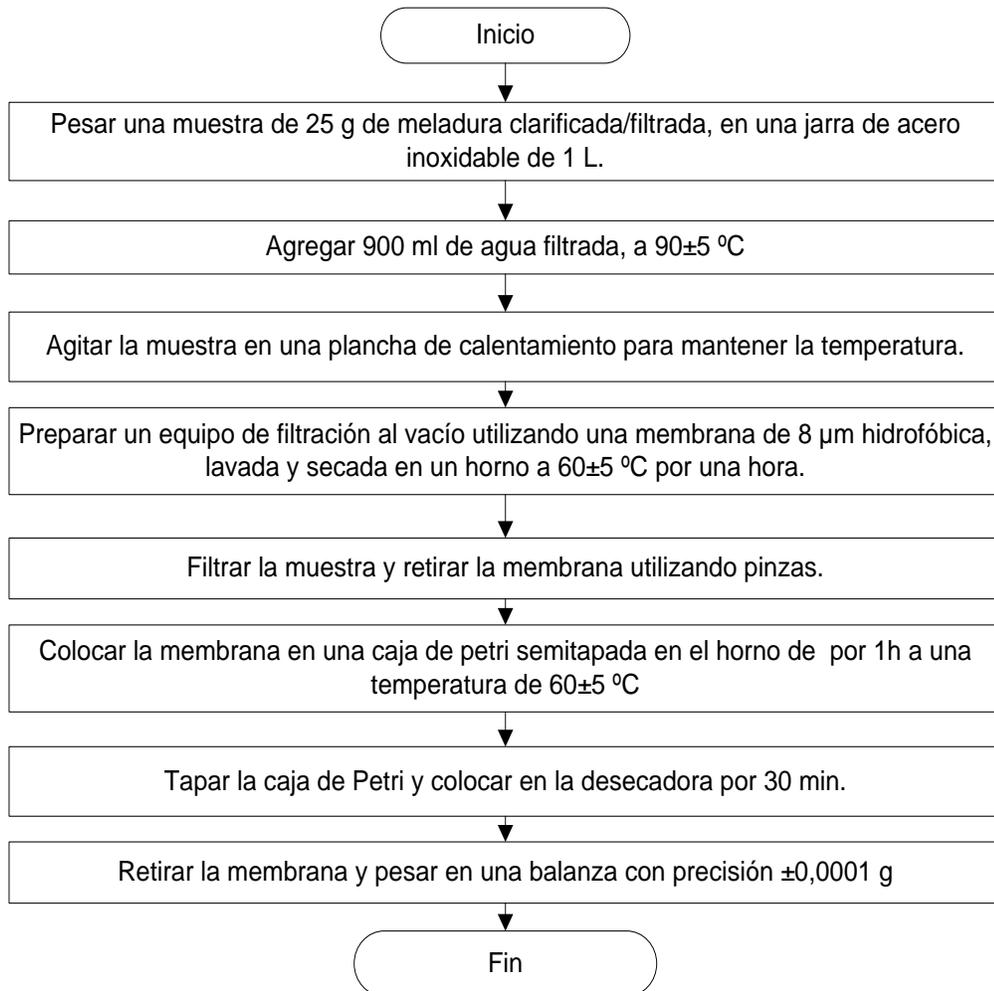
Donde:

m_1 = masa de la membrana [g]

m_2 = masa de la membrana con los residuos del filtrado [g]

m_0 = masa de la muestra [g]

Figura 6. **Ensayo de sólidos insolubles en meladuras**



Fuente: Instructivo Calidad de Conformidad Industrial. Laboratorio de fábrica, Ingenio Concepción S. A.: 2010.

3.5.3. Filtrabilidad de meladura

La filtrabilidad de una muestra de meladura se mide con base en el peso del filtrado recolectado durante un período de tiempo. Este es un análisis de la velocidad con la que una solución atraviesa un medio filtrante.

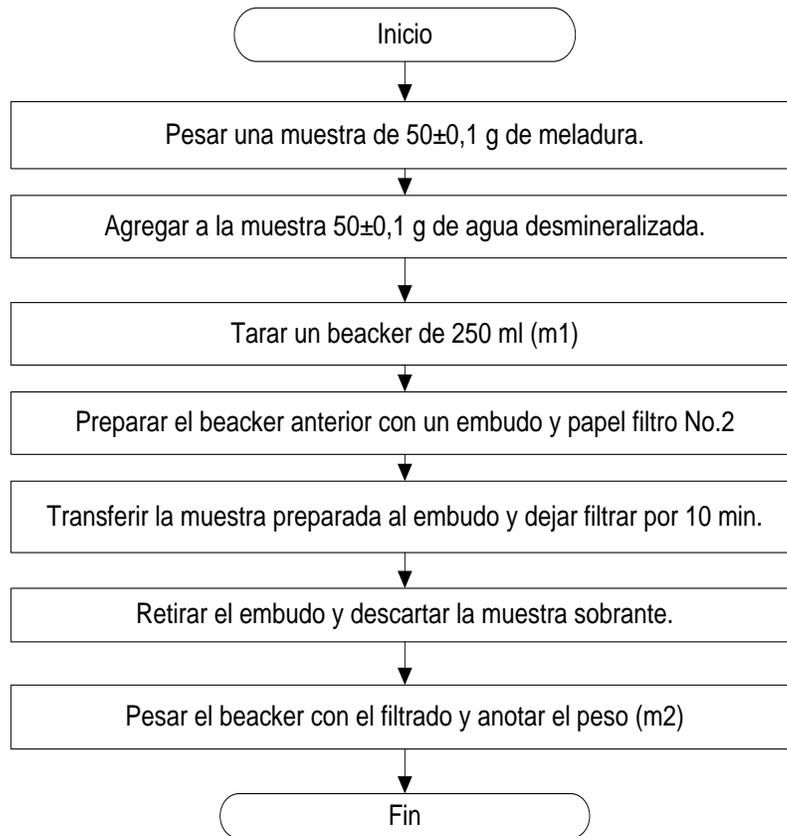
$$\% \text{Filtrabilidad} = m_2 - m_1 \quad [\text{Ecuación 4}]$$

Donde:

m_1 = masa del beacker [g]

m_2 = masa del beacker con el filtrado [g]

Figura 7. **Ensayo de filtrabilidad en meladuras**

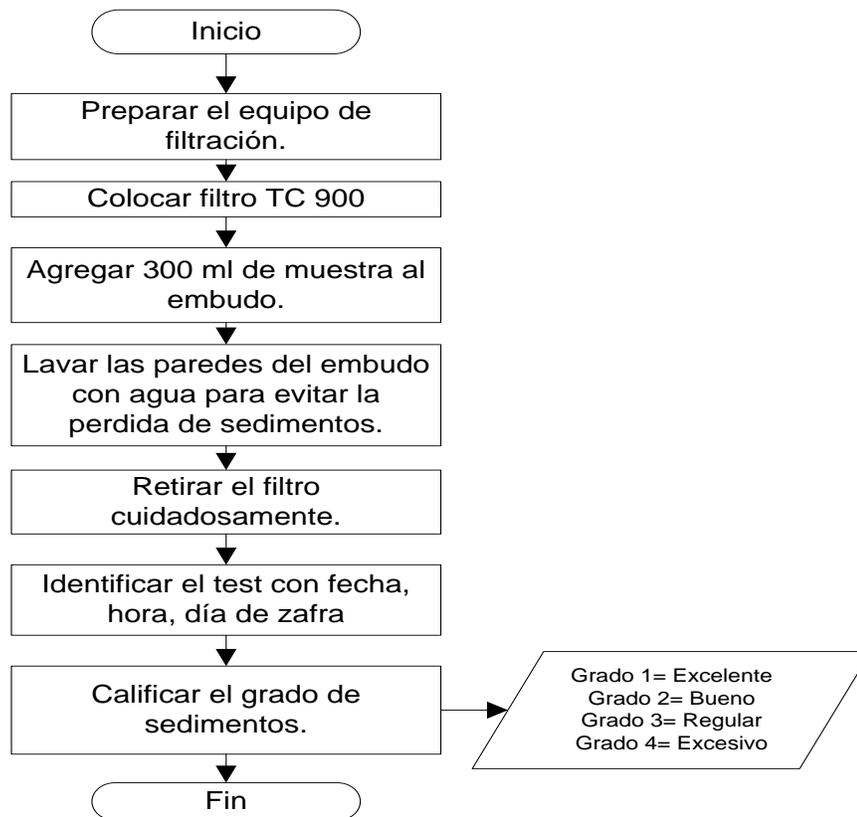


Fuente: Instructivo Calidad de Conformidad Industrial. Laboratorio de fábrica, Ingenio Concepción S. A.: 2010.

3.5.4. Test de sedimentos

El test de sedimentos, es un análisis sensorial de la cantidad de sedimentos presentes en una muestra de meladura clarificada o filtrada. Este análisis permite apreciar la efectividad de la filtración de la meladura.

Figura 8. **Ensayo para la realización de test de sedimentos**

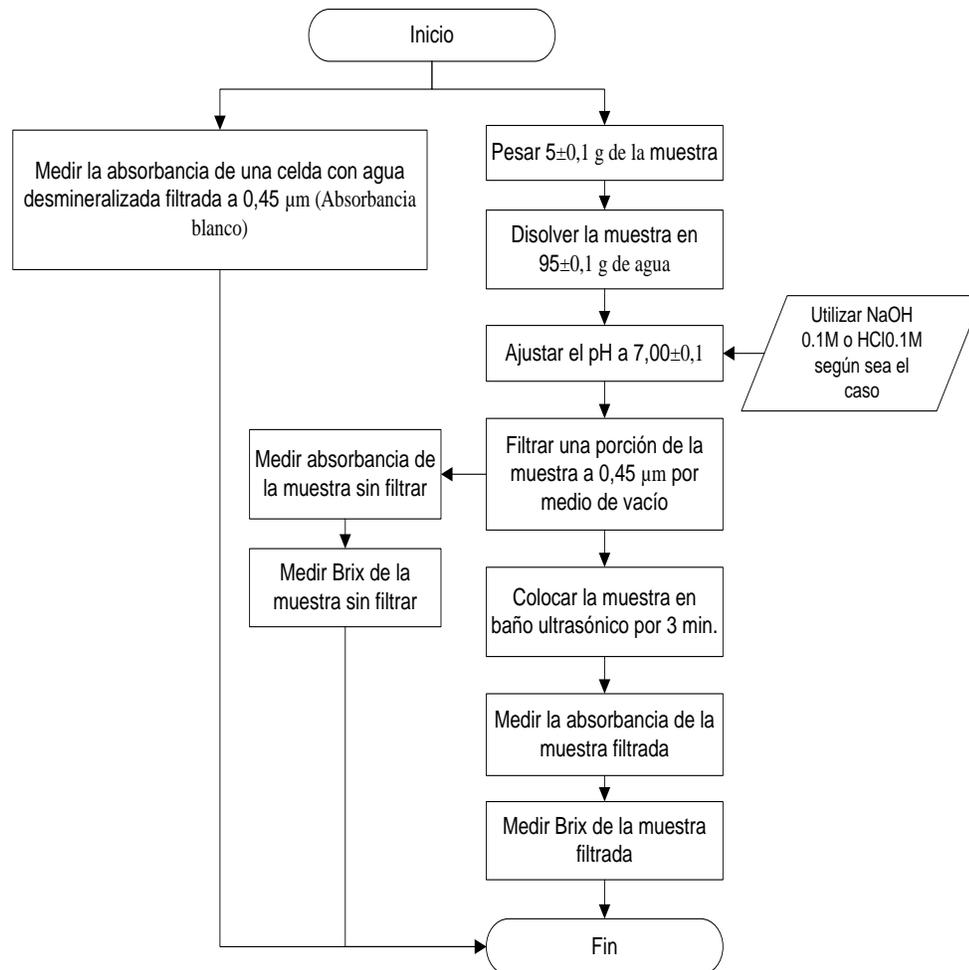


Fuente: Instructivo Calidad de Conformidad Industrial. Laboratorio de fábrica, Ingenio Concepción S. A.: 2010.

3.5.5. **Ensayo de color y turbidez ICUMSA en azúcar blanco**

El ensayo de color y turbidez se realiza por medio de un espectrofotómetro en donde se miden las absorbancias de una muestra filtrada y una muestra sin filtrar de una solución azucarada.

Figura 9. **Ensayo de color y turbidez ICUMSA en azúcar blanco**



Fuente: Instructivo Calidad de Conformidad Industrial. Laboratorio de fábrica, Ingenio Concepción S. A.: 2010.

Los resultados de color y turbidez se calculan de la siguiente manera:

$$\text{Color (UI)} = \text{Absorbancia corregida} \cdot 1000 / (b \cdot c) \quad [\text{Ecuación 5}]$$

Donde:

b= longitud de la celda de paso de luz [cm]

c= °Brix * (densidad aparente⁵ / 100000)

$$\text{Absorbancia corregida} = \text{Abs}_a - \text{Abs}_m \quad [\text{Ecuación 6}]$$

Turbidez (UI)= Color solución sin filtrar – Color solución filtrada

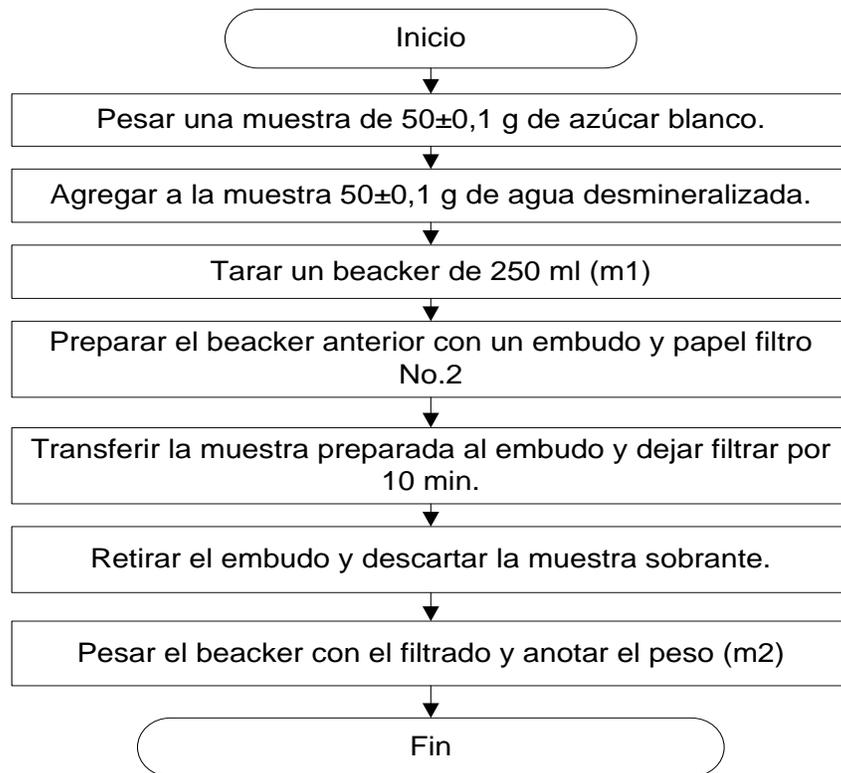
[Ecuación 7]

3.5.6. Ensayo de materia insoluble en azúcar blanco

Este ensayo se realiza a una solución de azúcar en agua caliente, la cual se hace pasar por una membrana de 8,0 micrómetros. La materia insoluble retenida se seca y se pesa. Los resultados se obtienen en miligramos por kilogramo según la ecuación 3.

⁵ Ver anexo, tabla XLI.

Figura 10. **Ensayo de materia insoluble en azúcar blanco**



Fuente: Instructivo Calidad de Conformidad Industrial. Laboratorio de fábrica, Ingenio Concepción S. A.: 2010.

3.5.7. **Ensayo de cenizas por conductividad**

En este método se asume que la conductividad de una solución, se relaciona de forma directa con su contenido de cenizas por medio de un factor constante. La conductividad de las cenizas permite medir la concentración de sales solubles ionizadas en la solución.

$$\%C_{20^{\circ}C} = C_1 - 0.35 * C_2 * 0.006 \quad \text{[Ecuación 8]}$$

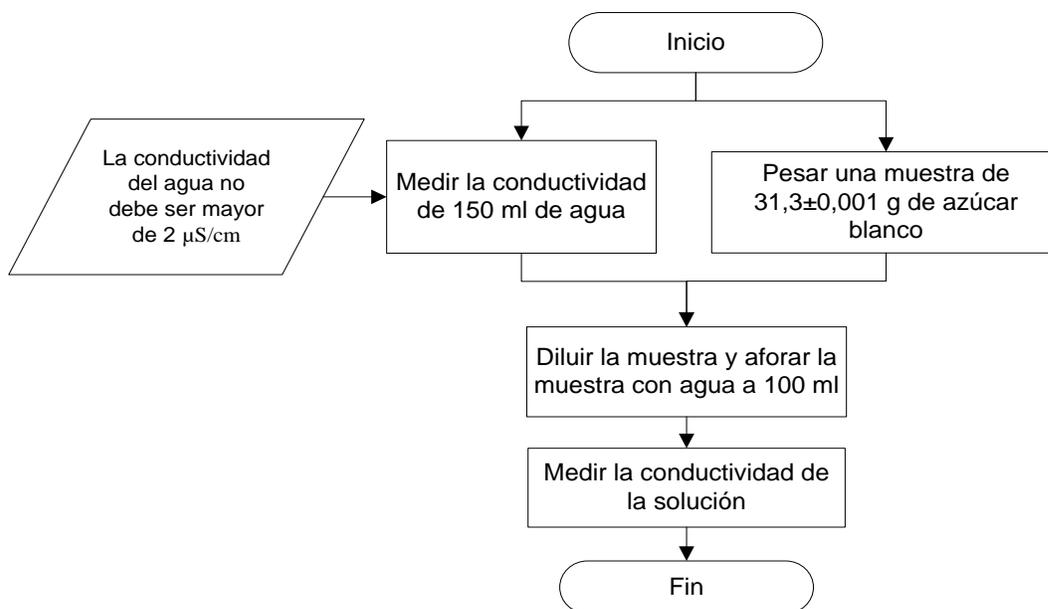
Donde:

C_1 = conductividad de la solución [$\mu\text{S}/\text{cm}$ a 20°C]

C_2 = conductividad del agua [$\mu\text{S}/\text{cm}$ a 20°C]

%C= porcentaje de cenizas conductimétricas

Figura 11. **Ensayo de ceniza en azúcar blanco por conductividad**

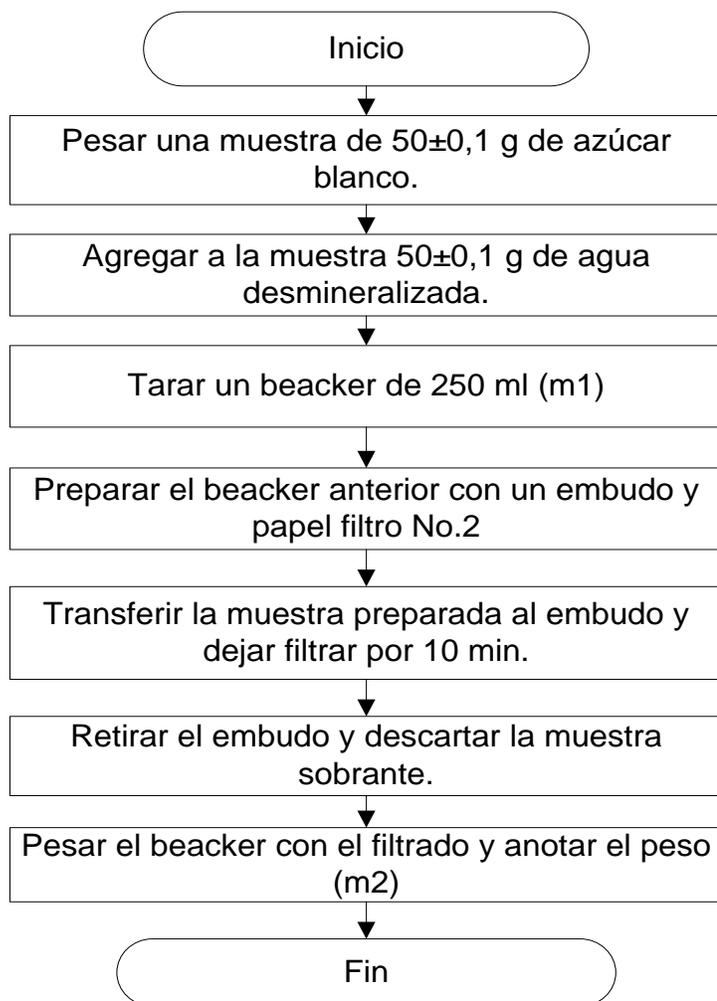


Fuente: Instructivo Calidad de Conformidad Industrial. Laboratorio de fábrica, Ingenio Concepción S. A.: 2010.

3.5.8. **Ensayo de filtrabilidad en azúcar blanco**

La filtrabilidad de una muestra de azúcar blanco se mide con base en el peso del filtrado recolectado durante un período de tiempo y se calcula según la ecuación 4.

Figura 12. **Ensayo de filtrabilidad en azúcar blanco**



Fuente: Instructivo Calidad de Conformidad Industrial. Laboratorio de fábrica, Ingenio Concepción S. A.: 2010.

3.6. **Recolección y ordenamiento de la información**

Las muestras de meladura clarificada, meladura filtrada y azúcar blanco se tomaron en recipientes plásticos de 500 mililitros rotulados, específicos para cada material.

En el caso de las meladuras clarificada y filtrada, se desecharon dos tomas para descartar el error por recipientes contaminados, utilizando la tercera toma como muestra para los análisis; por otra parte, las muestras de azúcar blanco fueron recolectadas de los envases jumbo en el área de llenado, tomando la mitad de la muestra de cada uno de los jumbos.

Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de fábrica, Ingenio Concepción S. A. y los resultados se muestran en el apéndice.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Las muestras de meladura clarificada y meladura filtrada fueron sometidas a los análisis de pureza, sólidos insolubles, sedimentos y filtrabilidad.

El análisis numérico y gráfico se realizó con la ayuda del programa Microsoft Excel y Minitab16 en donde se programó una hoja de cálculo con las ecuaciones correspondientes a cada variable. El cálculo de pureza es dada por la ecuación 2; los sólidos insolubles se calcularon con la ecuación 3 y la filtrabilidad con la ecuación 4. El ensayo de sedimentos es un análisis sensorial.

Los cálculos de los parámetros de calidad de azúcar blanco se realizaron de la misma manera que en la meladura, utilizando las ecuaciones 6 y 7 para el cálculo de color, ecuación 8 para turbidez, ecuación 3 para materia insoluble, ecuación 4 para filtrabilidad y ecuación 9 para el cálculo de cenizas.

3.8. Análisis estadístico

El análisis estadístico es un conjunto de técnicas que permiten interpretar datos obtenidos de forma experimental y determinar el comportamiento o características de una población.

3.8.1. Determinación de número de muestras

La determinación del número de muestras, permite conocer el número de corridas que deben realizarse para cada material, de manera que los resultados obtenidos sean representativos.

$$n = \frac{(Z_{\alpha/2})^2 * p * q}{E^2} \quad \text{[Ecuación 9, Ref.13]}$$

Donde:

n= número de muestras [adimensional]

$Z_{\alpha/2}$ = nivel de confianza [adimensional]

p= probabilidad de éxito [adimensional]

q= probabilidad de fracaso [adimensional]

E= error de estimación [adimensional]

Resolviendo la ecuación anterior para un nivel de confianza de 99 por ciento, se tiene $Z_{\alpha/2}=2,58$, con una probabilidad de éxito y fracaso de 0,8 y 0,2 respectivamente; y un error estimado del 15 por ciento debido a la variación del tipo de caña que entra al proceso, se obtuvo el número de muestras a evaluar:

$$n = \frac{(2,58)^2 * 0,8 * 0,2}{0,15^2}$$

$$n \approx 47,33$$

El número de muestras a evaluar se aproximó a 50 las cuales se realizaron durante la zafra 2012-2013.

3.8.2. Determinación de la media muestral

La media es el promedio aritmético de los parámetros medidos en las muestras de meladura clarificada, meladura filtrada y azúcar blanco. Esta permite conocer el comportamiento promedio de un conjunto de muestras.

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1+x_2+\dots+x_n}{n} \quad [\text{Ecuación 10, Ref.13}]$$

Donde:

X = media aritmética [dimensional de la variable tratada]

x_n = valor del parámetro medido [dimensional de la variable tratada]

n = número de muestras [adimensional]

Tabla I. **Media aritmética de brix, pol y pureza de meladura clarificada y meladura filtrada**

	°Brix	Pol	% Pureza
M. Clarificada	65,72	55,11	83,85
M. Filtrada	65,18	55,56	85,23

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. **Media aritmética de filtrabilidad en meladura clarificada y meladura filtrada**

% Filtrabilidad	
M. Clarificada	23,51
M. Filtrada	33,71

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Media aritmética de sólidos insolubles en meladura clarificada y meladura filtrada**

Sólidos Insolubles (mg/kg)	
M. Clarificada	40,91
M. Filtrada	26,08

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Media aritmética de los parámetros de calidad medidos en azúcar blanco**

	Color (UI)	Turbidez (UI)	% Cenizas	Materia Insoluble (mg/kg)	% Filtrabilidad
Azúcar blanco	202	14	0,02680	1,49	40,6

Fuente: elaboración propia.

3.8.3. Determinación de error de muestreo

Para conocer la reproducibilidad de los ensayos realizados en meladura clarificada, filtrada y azúcar blanco se realizó el análisis de dispersión de los datos, el cual brinda información acerca de la fluctuación de los datos respecto a la media. El análisis de dispersión indica qué tan semejantes son los resultados de los ensayos realizados en las mismas condiciones y siguiendo el mismo procedimiento.

La precisión de un conjunto de datos puede ser conocida a través del cálculo de la desviación estándar, la varianza y el coeficiente de variabilidad.

3.8.3.1. Desviación estándar

Cuantifica el valor promedio de dispersión de los valores obtenidos de un parámetro respecto a un valor central (media aritmética). Esta permite determinar el error de precisión en los resultados obtenidos de los análisis.

$$S_x = \frac{\sqrt{\sum_i^n X - X_i^2}}{n-1} \quad [\text{Ecuación 11, Ref.13}]$$

Donde:

S_x = desviación estándar [dimensional de la variable tratada]

X = media aritmética [dimensional de la variable tratada]

n = número de muestras

x_i = valores del parámetro medido [dimensional de la variable tratada]

Tabla V. **Desviación estándar de brix, pol y pureza de meladura clarificada y meladura filtrada**

	°Brix	Pol	% Pureza
M. Clarificada	1,90	1,99	2,13
M. Filtrada	1,96	1,89	1,94

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Desviación estándar de filtrabilidad en meladura clarificada y meladura filtrada**

	% Filtrabilidad
M. Clarificada	5,28
M. Filtrada	6,22

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Desviación estándar de sólidos insolubles en meladura clarificada y meladura filtrada**

	Sólidos Insolubles (mg/kg)
M. Clarificada	7,44
M. Filtrada	2,17

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Desviación estándar de los resultados de azúcar blanco**

	Color (U)	Turbidez (U)	% Cenizas	Materia Insoluble (mg/kg)	% Filtrabilidad
Azúcar blanco	20,24	1,58	0,0015	0,36	3,62

Fuente: elaboración propia.

3.8.3.2. Varianza

Es una medida de dispersión de los valores obtenidos de un parámetro respecto al valor central. La varianza se obtiene elevando al cuadrado la desviación estándar, por lo que está expresada en unidades al cuadrado.

$$\sigma = S_x^2 \quad \text{[Ecuación 12, Ref.13]}$$

Donde:

σ = varianza [dimensional de la variable tratada]

S_x = desviación estándar [dimensional de la variable tratada]

Tabla IX. **Varianza de brix, pol y pureza de meladura clarificada y meladura filtrada**

	°Brix	Pol	% Pureza
M. Clarificada	3,60	3,94	4,52
M. Filtrada	3,84	3,56	3,77

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Varianza de filtrabilidad en meladura clarificada y meladura filtrada**

% Filtrabilidad	
M. Clarificada	27,84
M. Filtrada	38,65

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Varianza de sólidos insolubles en meladura clarificada y meladura filtrada**

Sólidos Insolubles (mg/kg)	
M. Clarificada	55,29
M. Filtrada	4,70

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Varianza de color y turbidez de azúcar blanco**

	Color (UI)	Turbidez (UI)	% Cenizas	Materia Insoluble (mg/kg)	% Filtrabilidad
Azúcar blanco	409,72	2,49	2,27E-06	0,13	13,12

Fuente: elaboración propia.

3.8.3.3. Coeficiente de variabilidad

El coeficiente de variabilidad establece la relación entre la desviación estándar de una variable respecto a su media para determinar qué tan consistente es esta última. El coeficiente de variabilidad también brinda información para la comparación de dos grupos de datos; en este caso se utilizará para evaluar la dispersión entre la calidad de la meladura a la entrada y a la salida del filtro de banda.

El coeficiente de variabilidad se calcula de la siguiente manera:

$$CV = \frac{S}{X} * 100 \quad \text{[Ecuación 13, Ref.5]}$$

Donde:

CV= coeficiente de variabilidad [adimensional]

S= desviación estándar [dimensional de la variable tratada]

X= media aritmética [dimensional de la variable tratada]

Tabla XIII. **Coeficiente de variabilidad de las variables analizadas en meladura clarificada y meladura filtrada**

	Pureza	Filtrabilidad	Sólidos Insolubles (mg/kg)
M. Clarificada	2,53%	22,44%	17,27%
M. Filtrada	2,28%	18,44%	8,93%

Fuente: elaboración propia.

La comparación entre los coeficientes de variabilidad de la pureza, filtrabilidad y sólidos insolubles medidos en las muestras de meladura clarificada y meladura filtrada, permiten determinar que la calidad de la meladura al salir del filtro tiene menor variabilidad por lo que se está logrando una meladura más estandarizada.

3.9. Plan de análisis de los resultados

Los resultados de las muestras de meladura clarificada y filtrada se analizaron por comparación gráfica; los resultados obtenidos en azúcar se analizaron por medio del análisis de varianza.

3.9.1. Métodos y modelos de los datos según tipo de variables

Las variables analizadas en el azúcar blanco, se compararon por medio del análisis de varianza para determinar si existe o no un efecto significativo en el uso de meladura filtrada en su fabricación.

3.9.1.1. Análisis de varianza (ANOVA)

Los datos obtenidos fueron comparados a través de un análisis de varianza, por medio del cual se determinó el impacto producido por el proceso de filtrado sobre los parámetros de calidad del azúcar blanco. Para ello se recopilieron datos de muestras de azúcar analizadas antes de la instalación del filtro de banda en el proceso.

El análisis de varianza es utilizado para comparar medias poblacionales a partir de los siguientes supuestos:

- Las muestras son tomadas de poblaciones con distribución normal
- La varianza de las poblaciones es igual
- Las muestras son independientes

La hipótesis nula se define como:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

La hipótesis alternativa se define como:

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Donde:

μ_1 = media muestral de los parámetros de calidad de azúcar producida antes de la instalación del filtro de banda.

μ_2 = media muestral de los parámetros de calidad de azúcar producida antes de la instalación del filtro de banda.

La hipótesis se comprueba a través de la distribución de Fisher (distribución F), la cual determina la tasa de variación de las medias poblacionales. Una variación arriba del valor crítico indica que la hipótesis nula es falsa. El valor crítico de la distribución de Fischer se encuentra tabulado (ver anexo, tabla XLII) y está determinado por los grados de libertad.

La tasa de variación se determina de la siguiente manera:

$$SST = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y} \dots)^2 \quad [\text{Ecuación 14. Ref.12}]$$

$$SSA = n \sum_{i=1}^k \bar{Y}_i - \bar{Y} \dots^2 \quad [\text{Ecuación 15. Ref.12}]$$

$$SSE = SST - SSA \quad [\text{Ecuación 16. Ref.12}]$$

Donde:

SST= suma total de cuadrados

SSA= suma de cuadrados de tratamientos

SSE= suma de cuadrados del error

k= número total de niveles

i= número de la muestra que está siendo analizada

n= número de observaciones para cada muestra

Y_{ij}= valor observado de la muestra i

Y= media de los valores observados para la muestra i

Y_i = media de los valores observados para todas las muestras

Tabla XIV. **Análisis de varianza**

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Calculada
Tratamientos	SSA	k-1	$S_1^2 = \frac{SSA}{k-1}$	$f = \frac{S_1^2}{S^2}$
Error	SSE	k(n-1)	$S^2 = \frac{SSE}{k n-1}$	
Total	SST	n-1		

Fuente: WALPOLE, Ronald. Probabilidad y estadística para ingenieros. México, 1999.

El análisis de varianza se realizó con la ayuda del programa Minitab 16, en que se obtuvieron los datos resumidos en las siguientes tablas.

Tabla XV. **Análisis de varianza del color de azúcar blanco**

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Calculada
Tratamientos	460	1	460	0,68
Error	74569	110	678	
Total	75029	111		

Fuente: elaboración propia (ver apéndice, análisis de varianza).

Según la tabla de valores para el coeficiente de distribución de Fisher (F) con grado de libertad 1 en el numerador y 110 en el denominador, con un grado de confiabilidad de 95 por ciento, el valor del coeficiente es 3,931. Como $0,68 < 3,931$ se acepta la hipótesis nula, concluyendo que el efecto en el color del azúcar provocado por el proceso de filtrado no es significativo.

Tabla XVI. **Análisis de varianza de la turbidez en azúcar blanco**

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Calculada
Tratamientos	88465	1	88465	544,57
Error	17870	110	162	
Total	106335	111		

Fuente: elaboración propia (ver apéndice, análisis de varianza).

Según la tabla de valores para el coeficiente de distribución de Fisher (F) con grado de libertad 1 en el numerador y 110 en el denominador, con un grado de confiabilidad de 95 por ciento, el valor del coeficiente es 3,931. Como $544,57 > 3,931$ se rechaza la hipótesis nula, concluyendo que el efecto en la turbidez del azúcar provocado por el proceso de filtrado es significativo.

Tabla XVII. **Análisis de varianza de cenizas de azúcar blanco**

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Calculada
Tratamientos	0,0163516	1	0,0163516	1505,34
Error	0,0011949	110	0,0000109	
Total	0,0175464	111		

Fuente: elaboración propia (ver apéndice, análisis de varianza).

Según la tabla de valores para el coeficiente de distribución de Fisher (F) con grado de libertad 1 en el numerador y 110 en el denominador, con un grado de confiabilidad de 95 por ciento, el valor del coeficiente es 3,931. Como $1505,34 > 3,931$ se rechaza la hipótesis nula, concluyendo que el efecto en el porcentaje de cenizas del azúcar provocado por el proceso de filtrado es significativo.

Tabla XVIII. **Análisis de varianza de la materia insoluble en azúcar**

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Calculada
Tratamientos	2033,8	1	2033,8	129,51
Error	1727,4	110	15,7	
Total	3761,3	111		

Fuente: elaboración propia (ver apéndice, análisis de varianza).

Según la tabla de valores para el coeficiente de distribución de Fisher (F) con grado de libertad 1 en el numerador y 110 en el denominador, con un grado de confiabilidad de 95 por ciento, el valor del coeficiente es 3,931. Como $129,51 > 3,931$ se rechaza la hipótesis nula, concluyendo que el efecto en la concentración de materia insoluble en el azúcar provocado por el proceso de filtrado es significativo.

Tabla XIX. **Análisis de varianza de filtrabilidad de azúcar blanco**

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Calculada
Tratamientos	45,10	1	45,10	4,76
Error	1041,33	110	9,47	
Total	1086,43	111		

Fuente: elaboración propia (ver apéndice, análisis de varianza).

Según la tabla de valores para el coeficiente de distribución de Fisher (F) con grado de libertad 1 en el numerador y 110 en el denominador, con un grado de confiabilidad de 95 por ciento, el valor del coeficiente es 3,931. Como $4,76 > 3,931$ se rechaza la hipótesis nula, concluyendo que el efecto en el porcentaje de filtrabilidad del azúcar provocado por el proceso de filtrado es significativo.

3.9.2. Programas utilizados en el análisis de datos

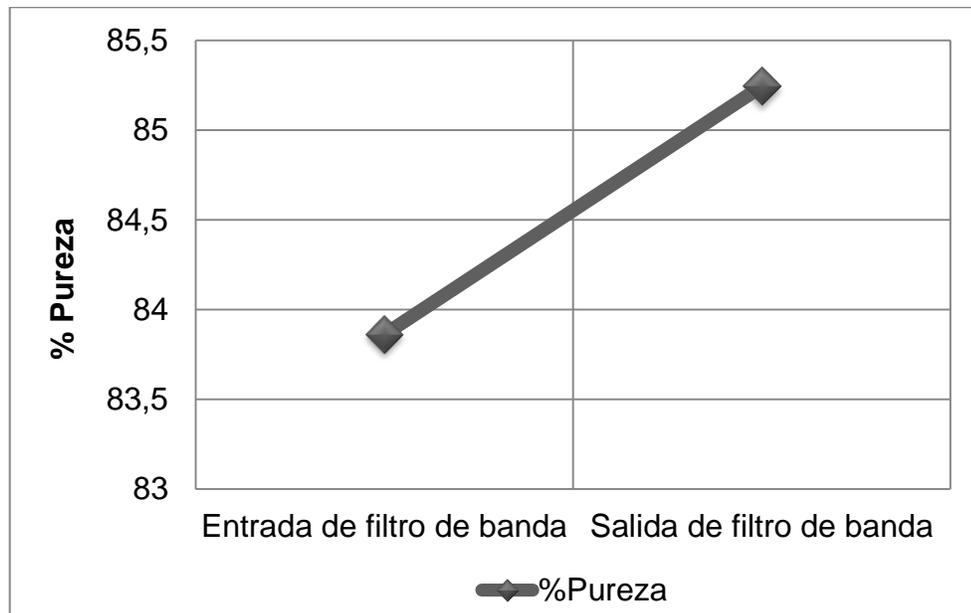
Los resultados obtenidos en los análisis realizados a las muestras de meladura clarificada, meladura filtrada y azúcar, se analizaron gráfica y estadísticamente utilizando los programas Microsoft Excel 2010 y la Minitab 16.

4. RESULTADOS

4.1. Determinación de la efectividad del proceso de filtración de meladura

A continuación se muestran las gráficas comparativas de los parámetros estudiados en la determinación de la efectividad del proceso de filtrado en meladura clarificada para el proceso de producción de azúcar.

Figura 13. **Comportamiento promedio de la pureza de meladura medida a la entrada y a la salida del filtro de banda**



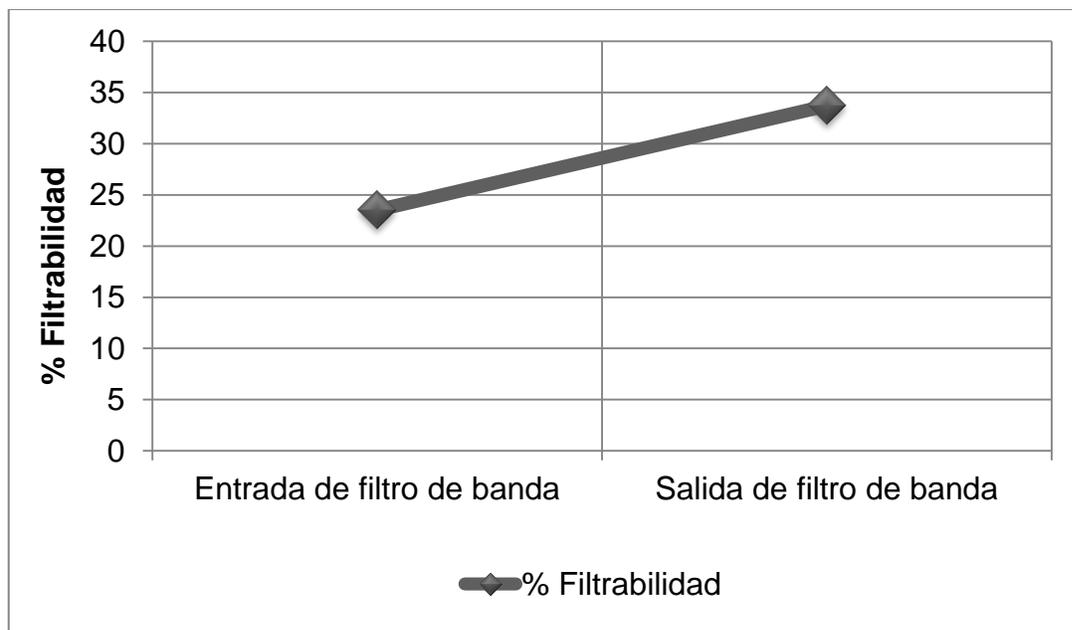
Fuente: elaboración propia (ver datos en apéndice, tabla XXVIII).

Tabla XX. **Medidas de dispersión de los resultados de pureza**

	Media	Desviación	Variabilidad
M. Clarificada	83,85	2,13	2,53%
M. Filtrada	85,23	1,94	2,28%

Fuente: análisis estadístico.

Figura 14. **Comportamiento promedio de la filtrabilidad de meladura a la entrada y salida del filtro de banda**



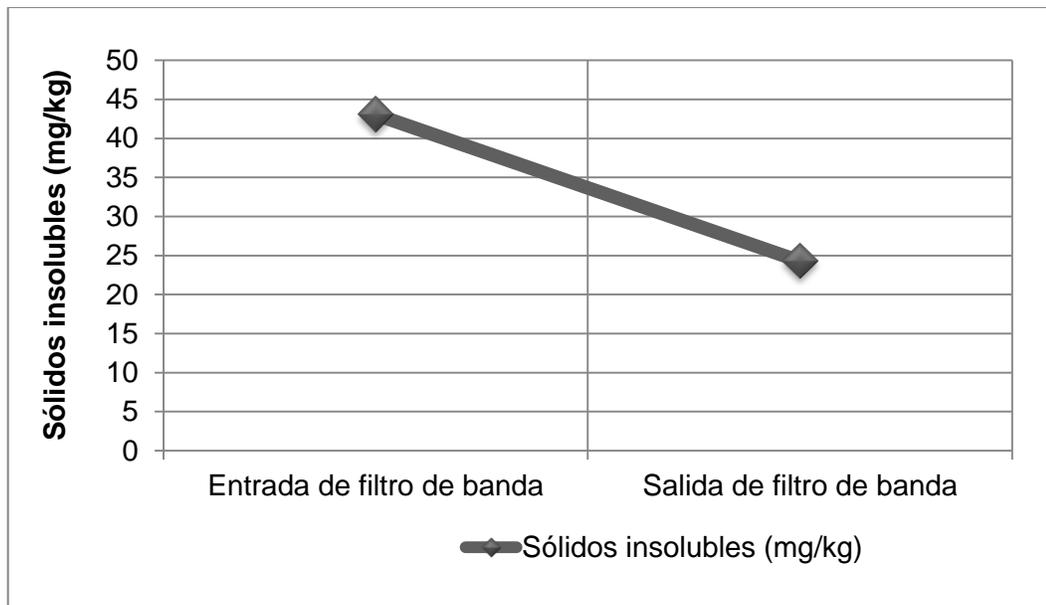
Fuente: elaboración propia (ver datos en apéndice, tabla XXIX).

Tabla XXI. **Medidas de dispersión de los resultados de filtrabilidad**

	Media	Desviación	Variabilidad
M. Clarificada	23,51	5,28	22,44%
M. Filtrada	33,71	6,22	18,44%

Fuente: análisis estadístico.

Figura 15. **Comportamiento de los sólidos insolubles presentes en la meladura a la entrada y salida del filtro de banda**



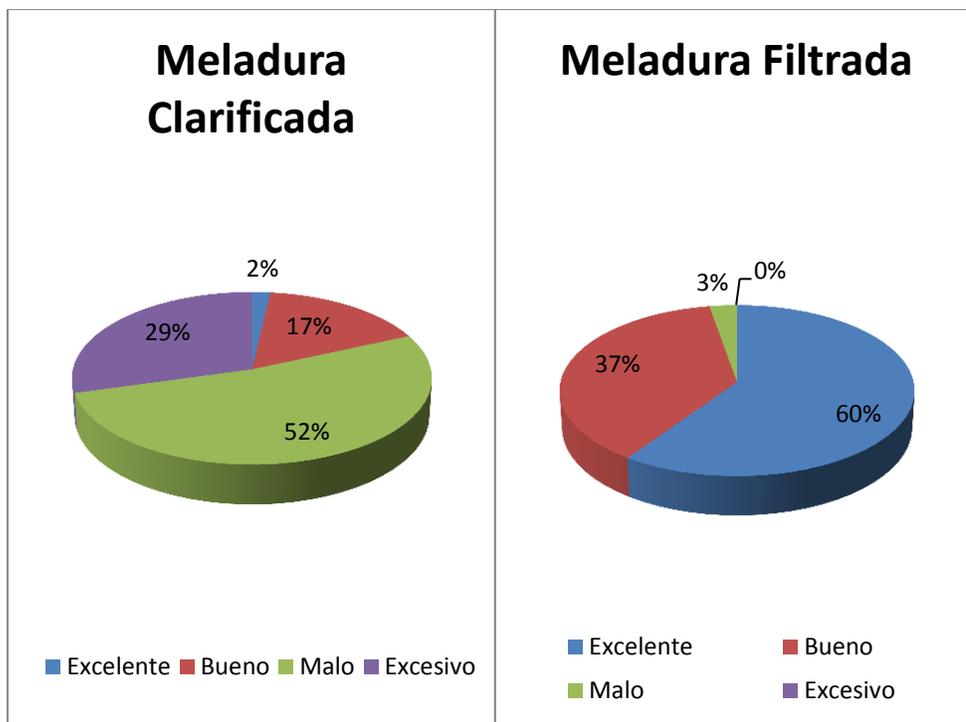
Fuente: elaboración propia (ver datos en apéndice, tabla XXX).

Tabla XXII. **Medidas de dispersión de los resultados de sólidos insolubles**

	Media	Desviación	Variabilidad
M. Clarificada	40,91	7,44	17,27%
M. Filtrada	26,08	2,17	8,93%

Fuente: análisis estadístico.

Figura 16. **Test de sedimentos de meladura**

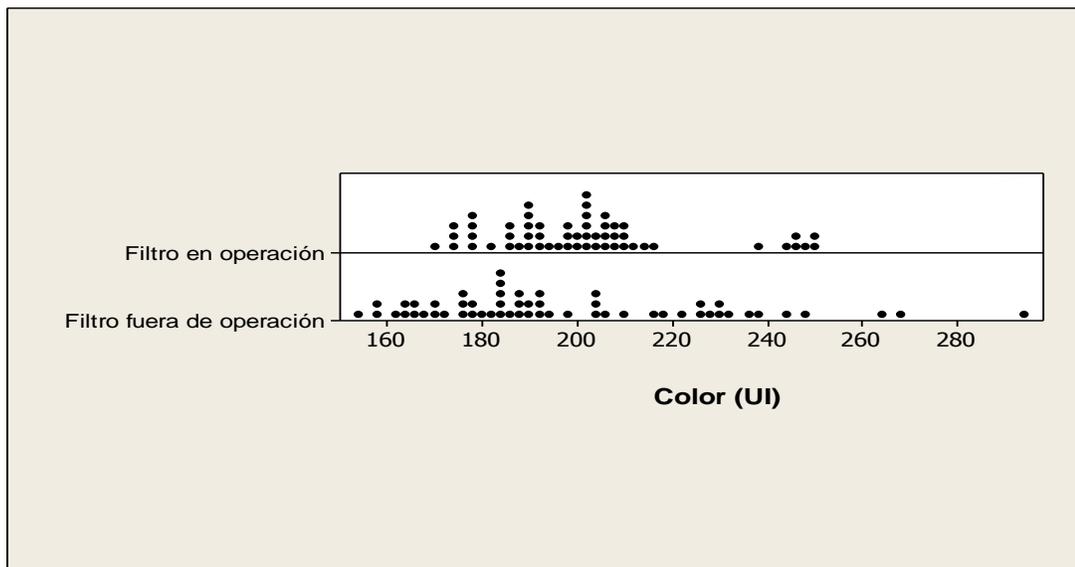


Fuente: elaboración propia (ver datos en apéndice, tabla XXXII).

4.2. Determinación del efecto producido por la filtración de meladura en la fabricación de azúcar blanco

A continuación se presentan gráficas de puntos, en las que se muestra la frecuencia de los parámetros de calidad medidos en el azúcar blanco para la determinación del impacto de la filtración en la producción de azúcar.

Figura 17. Gráfica de puntos de color en azúcar blanco



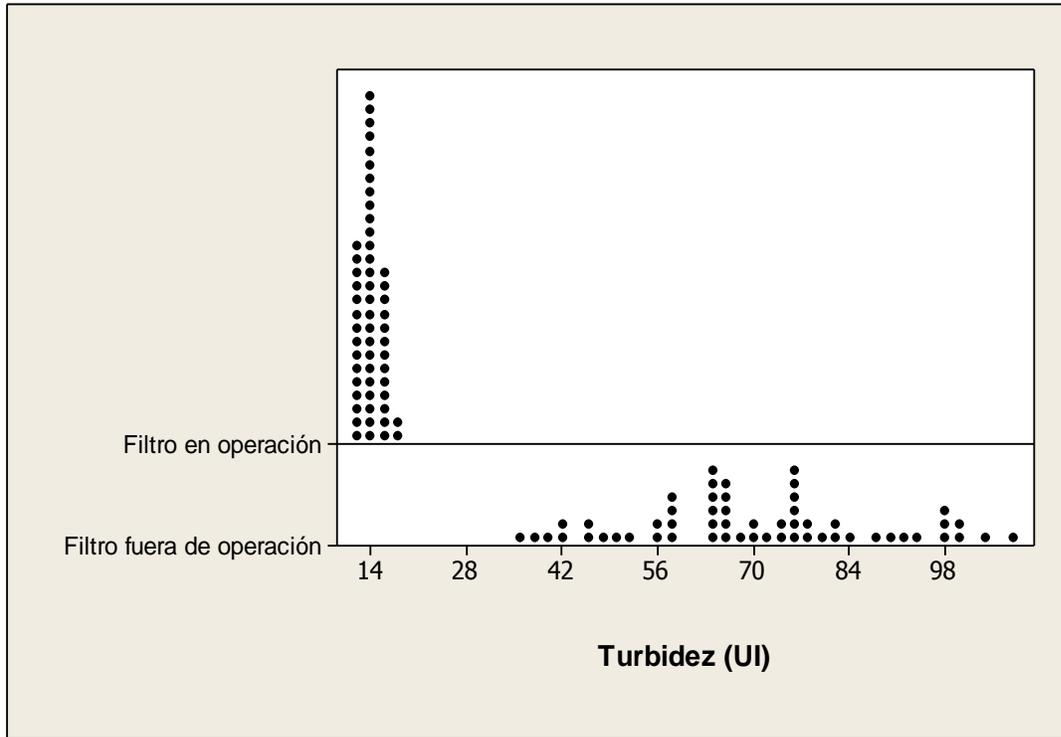
Fuente: elaboración propia (ver datos en apéndice, tabla XXXIII y XXXVII).

Tabla XXIII. Medidas de dispersión de los resultados de color

	Media	Desviación	% Variabilidad
Filtro en operación	202	20,24	10,03
Filtro fuera de operación	198	30,76	15,55

Fuente: análisis estadístico.

Figura 18. Gráfica de puntos de la turbidez en azúcar blanco



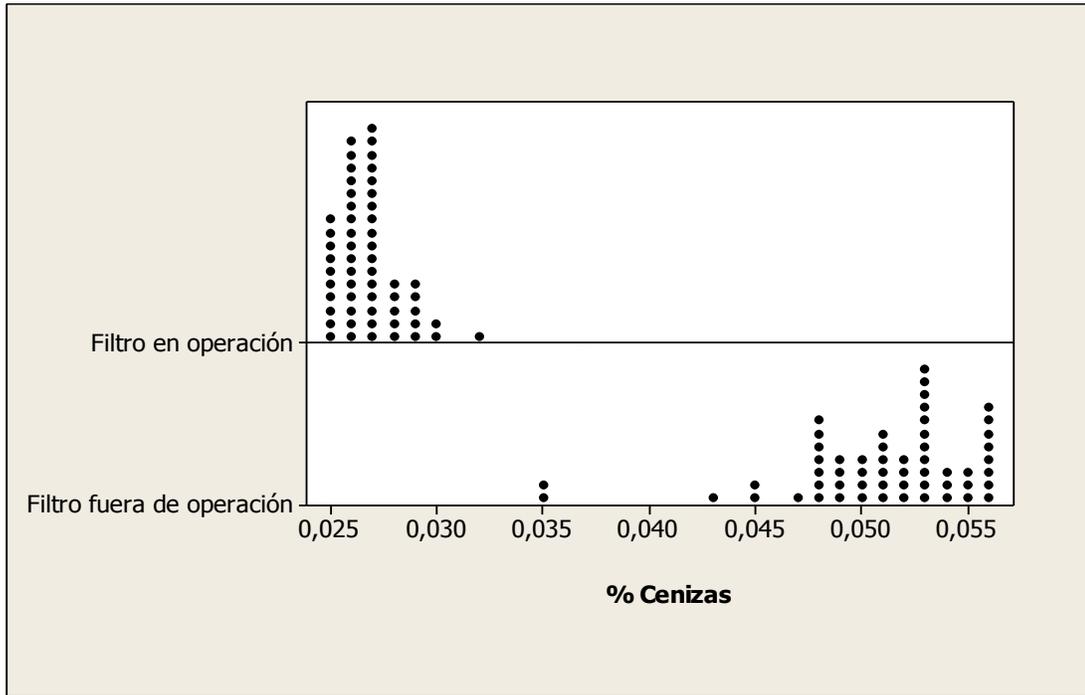
Fuente: elaboración propia (ver datos en apéndice, tabla XXXIII y XXXVII).

Tabla XXIV. Medidas de dispersión de los resultados de la turbidez

	Media	Desviación	% Variabilidad
Filtro en operación	14	1,58	11,15
Filtro fuera de operación	70	17,96	25,52

Fuente: análisis estadístico.

Figura 19. **Gráfica de puntos del porcentaje de ceniza en azúcar blanco**



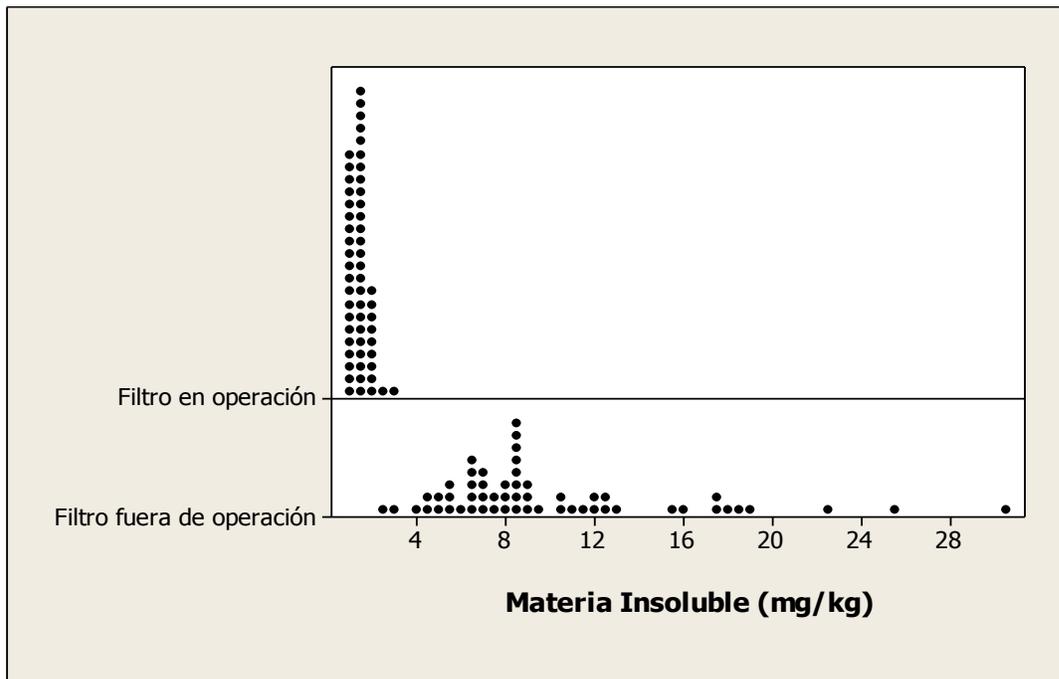
Fuente: elaboración propia (ver datos en apéndice, tabla XXXV y XXXVII).

Tabla XXV. **Medidas de dispersión de los resultados de las cenizas**

	Media	Desviación	% Variabilidad
Filtro en operación	0,02680	0,001507	5,62
Filtro fuera de operación	0,05096	2,41	8,65

Fuente: análisis estadístico.

Figura 20. **Gráfica de puntos de la materia insoluble presente en el azúcar blanco**



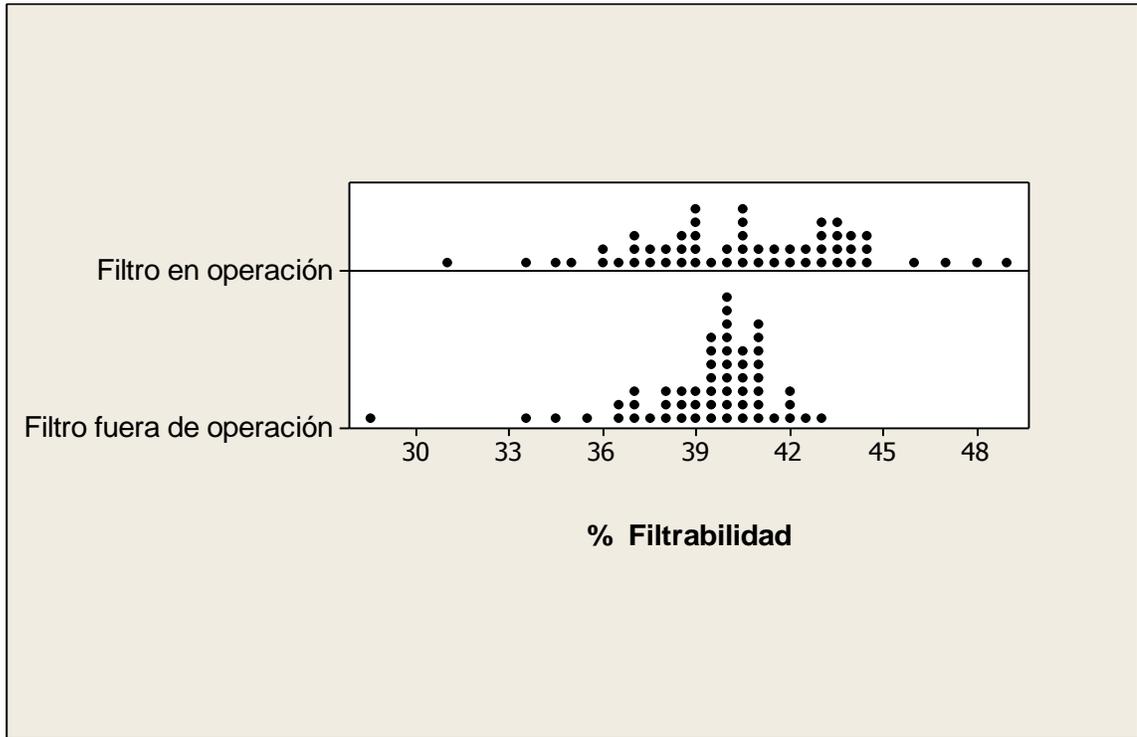
Fuente: elaboración propia (ver datos en apéndice, tabla XXXIV y XXXVII).

Tabla XXVI. **Medidas de dispersión de los resultados de la materia insoluble**

	Media	Desviación	% Variabilidad
Filtro en operación	1,49	0,36	24,13
Filtro fuera de operación	10,01	5,59	55,84

Fuente: análisis estadístico.

Figura 21. **Gráfica de puntos del porcentaje de filtrabilidad en azúcar blanco**



Fuente: elaboración propia (ver datos en apéndice, tabla XXXVI y XXXVII).

Tabla XXVII. **Medidas de dispersión de los resultados de filtrabilidad**

	Media	Desviación	% Variabilidad
Filtro en operación	40,6	3,62	8,92
Filtro fuera de operación	39,3	2,41	6,14

Fuente: análisis estadístico.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los análisis realizados a las muestras de meladura clarificada, meladura filtrada y azúcar blanco, permitieron determinar la eficiencia e importancia del proceso de filtrado en la fabricación de azúcar.

Las figuras 13 a la 15 muestran el comportamiento de los parámetros medidos en la meladura a la entrada y a la salida del filtro de banda. En estas gráficas se observa que existe un aumento de la pureza aparente debida a la remoción de materia extraña; aumento de la filtrabilidad y disminución de sólidos insolubles. En la industria azucarera, la filtrabilidad es un factor de mucha importancia ya que es un indicador de la limpieza del material y permite obtener un mayor volumen de producción en la refinería de azúcar en donde el licor atraviesa el medio filtrante en menor tiempo y con menos ciclos de lavado.

La gráfica 16 muestra los resultados del análisis sensorial de la presencia de materia extraña en la meladura clarificada y la meladura filtrada; este análisis confirma lo dicho anteriormente sobre la reducción de la materia extraña en la meladura, en donde el 60 por ciento de la meladura filtrada rebasa el estándar de calidad de la meladura clarificada. Como se observa en la gráfica, sólo el 2 por ciento de la meladura clarificada alcanza el grado excelente de calidad.

Los sólidos retenidos en la banda del filtro se recircularon al proceso debido a que aún contienen sacarosa, esto fue demostrado por medio del análisis de pureza realizado en muestras de agua tomadas durante el lavado de la banda (ver apéndice).

El análisis estadístico de los resultados obtenidos en la meladura filtrada muestra un descenso de la variabilidad de los datos en comparación con los resultados de meladura clarificada.

En las figuras 17 a la 21 se muestran los resultados obtenidos en los análisis de azúcar blanco antes y durante la operación del filtro. Estas gráficas de puntos representan la frecuencia de los datos obtenidos, siendo perceptible la disminución de la dispersión de los mismos, en las muestras de azúcar blanco tomadas durante la operación del filtro. Al disminuir la dispersión de los datos se asume que la calidad del azúcar se encuentra mejor ajustada a la media, en otras palabras la calidad del azúcar fabricado a partir de la meladura filtrada está más uniforme en comparación con los resultados de las muestras de azúcar fabricado a partir de meladura clarificada.

Según los resultados obtenidos del análisis de varianza realizado en la sección de análisis estadístico, la disminución de la turbidez, cenizas y materia insoluble en el azúcar representa un impacto significativo al utilizar el método de filtración en la meladura. El aumento de la filtrabilidad en el azúcar también fue significativo.

Por otro lado, el análisis de varianza también indicó que la variación en el color del azúcar no es significativa con el uso del método de filtración de la meladura. Esto tiene su explicación en que el color es el resultado de la actividad química de los componentes presentes en la solución. Debido a que la filtración es una operación mecánica (no implica reacciones químicas), el color no se ve afectado.

CONCLUSIONES

1. La meladura filtrada presenta menor porcentaje de materia extraña incrementando así su pureza y filtrabilidad.
2. El test de sedimentos para la meladura filtrada se mantuvo totalmente limpio en el 60 por ciento de las muestras y el 37 por ciento mostraba una cantidad mínima de sedimentos.
3. El uso del método de filtración en la meladura clarificada permite un mejor control de la calidad de la meladura antes de ser utilizada para el proceso de cristalización de azúcar.
4. El análisis de varianza realizado a los resultados de azúcar blanco fabricado a partir de meladura filtrada determinaron un impacto significativo en el descenso de la turbidez, porcentaje de cenizas y materia insoluble y aumento en la filtrabilidad.
5. A partir del análisis de varianza se determinó que la filtración de la meladura no produce un efecto significativo en el color del azúcar blanco.

RECOMENDACIONES

1. Como se reflejó en los resultados, el filtro para meladura permitió una reducción importante de la materia insoluble por lo que se recomienda su uso en la industria azucarera.
2. La filtración de meladura clarificada favoreció la calidad del azúcar blanco por ello se recomienda realizar un estudio económico del costo de la no calidad observada en años anteriores en función de los reclamos de los clientes por no cumplimiento de especificaciones.
3. Realizar un estudio complementario de granulometría para evaluar la influencia de la meladura filtrada en la forma y resistencia del cristal de azúcar.
4. Investigar e importar tecnología moderna que actualmente existe en otros países para mejorar la eficiencia en la producción, y en la calidad de productos y subproductos en las diferentes etapas del proceso de elaboración de azúcar

BIBLIOGRAFÍA

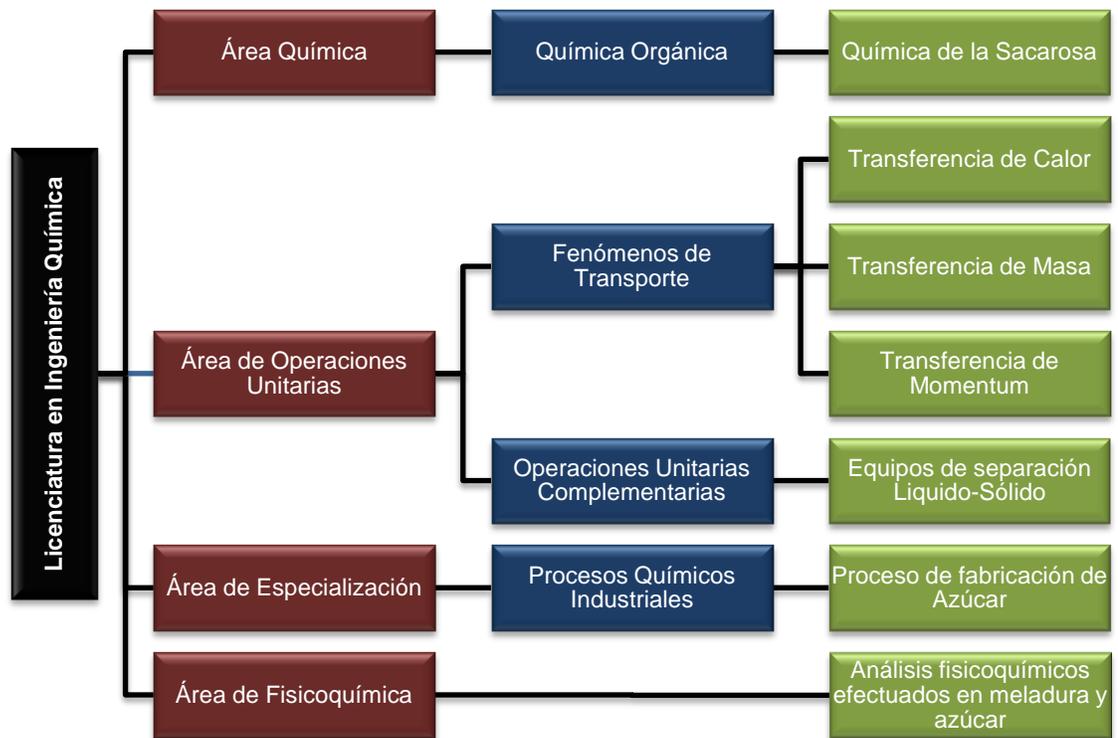
1. CHEN, James C. P. *Manual del azúcar de caña*. Limusa: México, 2009. 1200 p.
2. ESQUIT DONIS, Vicente Estuardo. *Análisis técnico-económico de un sistema de riego por pivote central y un módulo de riego por aspersión móvil en el cultivo de caña de azúcar (Saccharum Officinarum L.), en Ingenio La Unión S.A., Escuintla*. Trabajo de graduación de Ing. Agrónomo. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, 2004. 107 p.
3. GOMEZ DE LOS RIOS, Carolina. *Optimización del proceso de clarificación de meladura mediante el seguimiento de nueve variables fisicoquímicas en el ingenio Risalda S.A.* Trabajo de graduación de Ing. Químico. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnología, 2010. 197 p.
4. HOOP, Vollrath. *Fundamentos de tecnología química*. Dr. Joaquín de Pascual Teresa (Trad.). España: Reverté, 1994. 402 p.
5. JERÉZ LÓPEZ, Luis Carlos. *Control de la inversión de la sacarosa en el proceso de elaboración de jarabe simple de bebidas carbonatadas*. Trabajo de graduación de Ing. Químico. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008. 58 p.

6. LIMA GODÍNEZ, José Abel. *Evaluación del efecto que generan dos procesos de producción de azúcar blanco (proceso blanco directo y proceso blanco cristal) sobre el color del azúcar producida en un ingenio azucarero guatemalteco*. Trabajo de graduación de Ing. Químico. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2009. 41 p.
7. MENDOZA RIVERA, Henry; Bautista M. G. *Probabilidad y estadística* [en línea]. Universidad Nacional de Colombia: Dirección Nacional de Innovación Académica.
<http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2001065/html/un1/cont_134_34.html> [Consulta: 12 de mayo de 2013]
8. MORRISON, Robert Thornton; NEILSON BOYD, Robert. *Química Orgánica*. 5a Ed. México: Pearson Education, 1990. 1450 p.
9. PANTALEÓN. *Proceso industrial*. [en línea].
<<http://www.pantaleon.com/industrial>> [Consulta: 06 enero 2013]
10. PELAYO DÍAZ, Susana. *Modelado dinámico de filtros de jugo en industria azucarera con Ecosimpro*. [en línea]. 2a Reunión de usuarios de Ecosimpro. UNED: Madrid, 2003. [ref. de 15 de enero de 2013] Disponible en Web:
<http://www.ecosimpro.es/download/articles/C02_01_es.pdf>
11. PERRY, Robert H. *Perry's Chemical Engineer's Handbook*. 8a Ed. Estados Unidos: McGraw-Hill, 2008. 115 p.

12. RAMÍREZ JUÁREZ, Jennifer Roxana. *Determinación de sacarosa invertida por efecto de recirculación de jugo clarificado de caña de azúcar, en un evaporador de placas de película descendente.* Trabajo de graduación de Ing. Químico. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2011. 120 p.
13. REIN, Peter W. *Ingeniería de la caña de azúcar.* Alemania: Bartens, 2012. 880 p.
14. WALPOLE, Ronald; MYERS, Raymond; MYERS, Sharon. *Probabilidad y estadística para ingenieros.* Cruz, Ricardo (trad.); Torre, Juan Antonio (rev.). 6a ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, 1999. 752 p.

APÉNDICES

Figura 22. Tabla de requisitos académicos



Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Árbol de problemas**

Causas



Efectos

Fuente: elaboración propia.

Evaluación de la efectividad del proceso de filtración de meladura clarificada

Tabla XXVIII. **Datos obtenidos del ensayo de pureza realizados a las muestras de meladura clarificada y meladura filtrada**

Día de Zafra	Hora	M. Clarificada			M. Filtrada		
		°Brix	Pol	Pureza	°Brix	Pol	Pureza
69	08:00	66,69	57,61	86,38	66,76	57,75	86,50
69	11:00	66,87	57,79	86,42	67,07	58,15	86,70
69	14:00	62,88	55,26	87,88	65,33	56,62	86,67
70	08:00	61,47	52,83	85,94	65,19	56,26	86,30
80	08:00	65,42	56,11	85,77	65,47	56,49	86,28
82	08:00	58,37	49,99	85,64	58,07	50,15	86,36
82	11:00	69,75	60,62	86,91	69,7	60,84	87,29
83	08:00	65,48	52,87	80,74	64,22	53,44	83,21
83	11:00	67,08	52,79	78,70	63,46	53,43	84,19
84	08:00	67,3	56,71	84,26	67,1	57,95	86,36
84	11:00	68,6	56,12	81,81	66,42	56,35	84,84
84	14:00	67,87	57,15	84,21	67,5	57,83	85,67
85	08:00	64,31	52,54	81,70	64,53	54,04	83,74
85	11:00	64,78	54,12	83,54	65,04	54,7	84,10
87	08:00	66,74	55,44	83,07	65,89	56,24	85,35
87	11:00	67,4	58,23	86,39	66,98	58,54	87,40
87	14:00	68,05	58,7	86,26	67,89	58,98	86,88
87	16:00	68,13	59,26	86,98	68,05	59,65	87,66
89	08:00	62,97	52,52	83,40	63,44	52,74	83,13
89	11:00	66,76	56,3	84,33	67,34	57,34	85,15
89	14:00	65,34	53,21	81,44	65,03	53,45	82,19
89	16:00	66,58	57,24	85,97	66,23	57,56	86,91

Continuación de la tabla XXVIII.

Día de Zafra	Hora	M. Clarificada			M. Filtrada		
		°Brix	Pol	Pureza	°Brix	Pol	Pureza
90	08:00	65,68	54,46	82,92	65,31	54,97	84,17
90	11:00	67,79	55,47	81,83	69,12	56,51	81,76
90	14:00	66,78	55,14	82,57	65,98	55,16	83,60
90	16:00	66,54	55,69	83,69	66,13	55,7	84,23
91	08:00	66,27	53,01	79,99	66,29	53,36	80,49
91	11:00	66,44	54,29	81,71	65,92	54,17	82,18
91	14:00	67,49	55,66	82,47	66,48	55,98	84,21
91	16:00	66,45	56,02	84,30	65,42	56,05	85,68
92	08:00	66,71	55,44	83,11	68,28	56,2	82,31
92	11:00	67,89	57,25	84,33	66,58	57,36	86,15
94	08:00	64,15	51,58	80,41	63,39	52,08	82,16
94	11:00	64,79	52,9	81,65	64,68	53,09	82,08
94	14:00	61,15	51,15	83,65	61,28	51,4	83,88
94	16:00	65,41	52,37	80,06	62,57	52,04	83,17
95	08:00	64,89	53,46	82,39	65,3	53,96	82,63
95	11:00	65,89	54,15	82,18	65,39	54,35	83,12
95	14:00	66,07	55,33	83,74	65,89	55,96	84,93
95	16:00	67,29	56,13	83,42	66,98	56,74	84,71
96	08:00	65,66	56,65	86,28	65,45	57,25	87,47
96	11:00	69,16	56,22	81,29	65,28	56,64	86,76
96	14:00	66,71	58,1	87,09	67,31	58,92	87,54
96	16:00	66,98	57,15	85,32	66,56	57,58	86,51
97	08:00	65,69	55,59	84,62	64,76	56,12	86,66
97	11:00	62,56	53,37	85,31	61,44	52,79	85,92
97	14:00	63,45	54,15	85,34	62,98	55,06	87,42
97	16:00	64,25	55,16	85,85	64,03	55,32	86,40
98	08:00	66,76	55,2	82,68	65,29	54,8	83,93
98	11:00	65,29	54,98	84,21	65,55	55,48	84,64
98	14:00	66,84	55,7	83,33	66,03	55,98	84,78
98	16:00	67,15	56,15	83,62	66,89	56,73	84,81
102	08:00	64,59	52,14	80,72	65,69	53,09	80,82
102	11:00	69,25	55,36	79,94	65,93	55,75	84,56
102	14:00	62,5	53,36	85,38	62,46	53,79	86,12
102	16:00	64,57	56	86,73	65,25	56,17	86,08

Continuación de la tabla XXVIII.

Día de Zafra	Hora	M. Clarificada			M. Filtrada		
		°Brix	Pol	Pureza	°Brix	Pol	Pureza
103	08:00	64,49	55,34	85,81	66,28	55,69	84,02
103	11:00	62,95	53,44	84,89	62,79	53,52	85,24
103	14:00	63,96	53,58	83,77	60,41	53,09	87,88
103	16:00	66,11	56,83	85,96	65,47	56,74	86,67
104	08:00	67,32	57,76	85,80	67,53	58,35	86,41
104	11:00	65,49	55,83	85,25	61,46	55,06	89,59
104	14:00	66,68	56,06	84,07	66,53	56,77	85,33
107	08:00	64,86	54,4	83,87	64,93	57,74	88,93
108	08:00	64,21	52,59	81,90	63,6	52,61	82,72
108	11:00	64,12	52,4	81,72	64,43	54,19	84,11
108	14:00	64,95	54,59	84,05	64,49	54,9	85,13
108	16:00	65,42	55,5	84,84	65,76	55,92	85,04
123	11:00	64,43	54,63	84,79	63,85	55,14	86,36
125	08:00	64,77	54,74	84,51	65,42	54,82	83,80
125	09:00	65,11	54,76	84,10	65,93	54,65	82,89
125	10:00	69,15	56,23	81,32	66,36	56,28	84,81
125	11:00	65,33	55,5	84,95	65,36	55,99	85,66
125	14:00	64,63	55,14	85,32	64,79	55,43	85,55
125	15:00	65,96	55,98	84,87	68,87	56,12	81,49
126	08:00	64,88	55,89	86,14	65,28	56,03	85,83
126	09:00	64,49	55,66	86,31	64,84	55,67	85,86
126	10:00	62,75	54,27	86,49	62,79	54,15	86,24
128	08:00	63,54	55,69	87,65	61,55	54,98	89,33
128	10:00	62,89	53,42	84,94	60,93	52,89	86,80
128	14:00	69,18	59,63	86,20	68,17	59,78	87,69
129	08:00	68,13	59,25	86,97	65,13	56,78	87,18
129	10:00	65,42	56,23	85,95	64,98	57,38	88,30
129	11:00	66,32	56,25	84,82	66,32	56,25	84,82
130	08:00	64,25	56,36	87,72	63,54	57,02	89,74
130	10:00	62,35	50,13	80,40	60,45	52,47	86,80
130	11:00	65,98	54,02	81,87	63,15	54,89	86,92
131	08:00	66,89	54,89	82,06	65,12	54,12	83,11
131	10:00	65,45	54,26	82,90	64,25	54,65	85,06
132	08:00	65,88	54,56	82,82	66,29	55,25	83,35
132	10:00	66,39	57,29	86,29	65,48	57,42	87,69
135	08:00	67,25	56,45	83,94	65,49	55,28	84,41
135	10:00	66,26	55,61	83,93	65,98	56,48	85,60
136	08:00	68,49	58,45	85,34	67,22	59,26	88,16

Continuación de la tabla XXVIII.

Día de Zafra	Hora	M. Clarificada			M. Filtrada		
		°Brix	Pol	Pureza	°Brix	Pol	Pureza
136	10:00	69,25	55,48	80,12	65,36	56,44	86,35
143	08:00	65,62	56,36	85,89	63,93	55,72	87,16
143	10:00	63,67	50,16	78,78	65,52	56,41	86,10
143	14:00	63,65	51,06	80,22	60,13	52,48	87,28
144	08:00	65,23	55,63	85,28	67,54	54,69	80,97
144	14:00	66,48	54,29	81,66	64,88	55,23	85,13
145	10:00	65,67	54,11	82,40	65,56	54,34	82,89
145	14:00	65,15	55,37	84,99	65,75	55,26	84,05
146	08:00	66,95	54,12	80,84	64,25	55,13	85,81
146	10:00	67,89	55,23	81,35	66,36	56,23	84,73
150	09:00	66,26	54,91	82,87	65,07	55,03	84,57
150	11:00	67,25	56,1	83,42	66,03	55,78	84,48
151	08:00	66,32	54,63	82,37	65,34	56,45	86,39
152	08:00	65,42	54,15	82,77	65,34	54,24	83,01
153	08:00	64,23	53,62	83,48	64,07	53,52	83,53
Promedio		65,72	55,11	83,86	65,18	55,56	85,25

Fuente: elaboración propia, análisis realizados en Laboratorio de Fábrica Ingenio Concepción S. A.

Tabla XXIX. **Datos obtenidos del ensayo de filtrabilidad realizados a las muestras de meladura clarificada y meladura filtrada**

Día de Zafra	Tara (g)	M. Clarificada		Tara (g)	M. Filtrada	
		Masa final (g)	Filtrabilidad (%)		Masa final (g)	Filtrabilidad (%)
83	101,76	124,57	22,81	102,59	147,66	45,07
83	102,59	139,85	37,26	101,79	142,17	40,38
84	105,73	130,03	24,30	106,53	149,28	42,75
84	105,73	129,74	24,01	106,53	149,49	42,96
84	105,74	138,89	33,15	105,89	140,23	34,34

Continuación de la tabla XXIX.

Día de Zafra	M. Clarificada			M. Filtrada		
	Tara (g)	Masa final (g)	Filtrabilidad (%)	Tara (g)	Masa final (g)	Filtrabilidad (%)
85	106,39	136,76	30,37	106,51	134,99	28,48
85	101,76	130,21	28,45	106,50	135,28	28,77
87	101,85	128,14	26,28	100,45	144,54	44,10
87	101,86	129,30	27,44	112,57	154,89	42,33
87	109,35	138,24	28,89	106,11	138,94	32,83
87	106,56	125,15	18,58	101,79	141,52	39,73
89	98,75	122,83	24,08	106,17	141,60	35,43
89	101,83	132,81	30,98	106,58	143,00	36,41
89	105,74	132,65	26,91	112,55	156,99	44,44
89	105,78	136,46	30,68	112,55	147,89	35,34
90	101,76	111,75	9,99	106,55	145,26	38,71
90	105,28	129,15	23,87	112,98	156,93	43,95
90	105,28	130,28	25,00	105,62	135,36	29,74
90	105,28	129,54	24,26	112,54	152,36	39,82
91	112,16	149,13	36,97	106,44	152,83	46,39
91	102,36	130,20	27,84	108,93	138,35	29,42
91	106,12	126,35	20,23	105,22	135,65	30,43
91	112,20	136,25	24,05	106,58	145,92	39,34
92	102,59	139,85	37,26	101,79	142,17	40,38
92	105,59	138,96	33,37	105,44	137,26	31,81
94	106,34	136,17	29,83	106,42	153,61	47,19
94	105,28	122,26	16,98	106,10	131,99	25,89
94	7,40	39,04	31,64	7,35	43,47	36,12
94	7,35	32,10	24,75	7,41	34,10	26,70
95	112,15	145,19	33,04	105,73	137,28	31,55
95	106,84	123,94	17,10	106,55	139,55	33,00

Continuación de la tabla XXIX.

Día de Zafra	M. Clarificada			M.Filtrada		
	Tara (g)	Masa final (g)	Filtrabilidad (%)	Tara (g)	Masa final (g)	Filtrabilidad (%)
95	105,42	122,36	16,94	112,23	154,87	42,65
95	106,32	129,56	23,25	106,32	140,18	33,87
96	106,10	123,21	17,12	105,62	135,58	29,96
96	106,57	133,11	26,55	105,62	138,32	32,70
96	105,73	126,50	20,77	106,17	150,16	43,99
96	105,73	126,26	20,53	105,60	138,02	32,42
97	106,10	126,42	20,33	112,16	148,18	36,01
97	105,28	130,05	24,77	106,43	148,66	42,23
97	106,43	126,51	20,08	103,45	136,25	32,80
97	102,60	135,41	32,81	105,37	139,56	34,19
98	112,15	135,66	23,50	105,28	136,94	31,66
98	106,35	118,06	11,71	105,62	132,84	27,22
98	105,59	125,41	19,82	112,58	156,34	43,75
98	106,35	130,45	24,11	103,28	145,36	42,08
102	106,17	121,92	15,75	105,62	123,17	17,55
102	101,76	132,31	30,55	106,59	146,52	39,93
102	101,77	131,60	29,84	106,35	147,34	40,99
102	106,55	128,63	22,07	106,17	137,02	30,85
103	105,61	125,97	20,36	106,18	129,10	22,92
103	101,76	112,94	11,18	105,73	134,48	28,74
103	106,55	139,06	32,50	106,42	148,24	41,82
103	105,73	137,88	32,15	105,28	136,59	31,31
104	106,17	132,18	26,01	106,41	149,60	43,19
104	105,29	122,02	16,73	105,61	131,05	25,44
104	112,17	130,18	18,01	106,56	133,26	26,71
105	106,38	125,86	19,48	112,16	142,62	30,46

Continuación de la tabla XXIX.

Día de Zafra	M. Clarificada			M. Filtrada		
	Tara (g)	Masa final (g)	Filtrabilidad (%)	Tara (g)	Masa final (g)	Filtrabilidad (%)
105	7,31	27,87	20,56	7,37	36,93	29,56
105	7,30	26,25	18,95	106,41	135,43	29,02
105	7,30	26,82	19,52	106,55	132,71	26,16
106	7,38	20,41	13,03	7,35	34,64	27,29
108	7,39	29,56	22,18	7,30	34,17	26,86
108	7,38	29,93	22,56	7,29	51,33	44,04
108	7,41	35,60	28,19	7,32	52,90	45,58
108	7,38	29,55	22,17	7,29	36,77	29,48
109	7,39	27,74	20,36	7,30	39,46	32,16
109	7,38	28,42	21,04	7,29	40,30	33,01
110	7,42	19,48	12,06	7,36	30,51	23,16
110	7,38	23,61	16,23	7,29	34,24	26,95
111	7,39	30,54	23,15	7,30	37,55	30,25
111	7,51	26,79	19,29	7,37	38,93	31,56
112	7,24	27,59	20,36	7,29	42,56	35,27
112	7,34	29,49	22,15	7,30	43,08	35,78
113	7,23	25,78	18,55	7,32	30,88	23,56
113	7,23	24,25	17,02	7,29	32,77	25,49
114	7,37	25,89	18,51	7,36	32,07	24,71
114	7,35	25,89	18,54	7,29	33,85	26,56
115	7,35	27,50	20,14	7,37	43,63	36,27
115	7,35	27,50	20,15	7,31	30,47	23,16
119	7,35	27,68	20,33	7,31	40,57	33,26
119	7,35	26,90	19,55	7,32	42,58	35,27
122	7,35	24,58	17,22	7,31	40,64	33,33
122	7,35	18,59	11,24	7,31	32,71	25,40

Continuación de la tabla XXIX.

Día de Zafra	M. Clarificada			M.Filtrada		
	Tara (g)	Masa final (g)	Filtrabilidad (%)	Tara (g)	Masa final (g)	Filtrabilidad (%)
123	7,35	30,78	23,43	7,31	36,61	29,30
125	7,35	37,56	30,21	7,31	42,46	35,15
125	7,35	36,90	29,54	7,32	39,30	31,99
125	7,35	29,89	22,54	7,31	44,05	36,74
125	7,35	18,56	11,20	7,31	28,13	20,82
125	7,35	36,47	29,11	7,31	39,80	32,49
125	7,35	36,74	29,39	7,31	45,71	38,40
126	7,35	32,72	25,37	7,31	34,80	27,49
126	7,35	25,87	18,51	7,28	27,57	20,29
126	7,35	34,07	26,72	7,31	38,48	31,17
128	7,35	30,94	23,59	7,29	37,58	30,29
128	7,35	32,51	25,15	7,29	38,73	31,44
128	7,35	31,92	24,57	7,32	38,89	31,57
129	7,35	33,05	25,69	7,31	38,57	31,27
129	7,35	25,62	18,27	106,32	132,48	26,16
129	7,35	29,58	22,23	7,31	40,57	33,27
130	7,35	36,05	28,69	7,22	42,38	35,17
130	7,38	37,02	29,64	7,21	43,46	36,25
130	7,40	31,66	24,27	7,27	40,53	33,27
131	101,5 7	126,61	25,04	7,29	41,41	34,13
131	106,2 8	131,62	25,34	7,36	36,94	29,59
132	106,2 8	128,41	22,13	7,29	41,55	34,26
132	106,2 8	129,57	23,29	7,30	45,76	38,46
135	105,8 5	134,75	28,90	7,37	52,60	45,24
135	104,2 6	131,83	27,57	7,29	51,51	44,23
136	7,35	32,59	25,24	7,30	46,93	39,63

Continuación de la tabla XXIX.

Día de Zafra	M. Clarificada			M. Filtrada		
	Tara (g)	Masa final (g)	Filtrabilidad (%)	Tara (g)	Masa final (g)	Filtrabilidad (%)
136	7,35	31,48	24,13	7,32	45,77	38,45
143	7,35	33,62	26,27	7,29	45,81	38,52
143	7,35	30,77	23,41	7,36	33,04	25,69
143	7,35	31,51	24,16	7,29	37,85	30,56
144	7,35	30,72	23,37	7,37	32,92	25,55
144	7,35	30,24	22,89	7,31	32,64	25,33
145	7,35	21,33	13,97	7,31	38,07	30,76
145	7,35	35,16	27,80	7,32	43,81	36,49
146	7,35	26,32	18,96	7,31	36,66	29,35
146	7,35	32,81	25,46	7,31	44,77	37,46
149	7,35	36,70	29,35	7,31	46,73	39,42
150	7,35	37,26	29,90	7,31	46,73	39,42
151	7,35	38,04	30,68	7,32	48,24	40,93
152	7,35	28,31	20,96	7,31	47,33	40,02
153	7,35	31,16	23,81	7,31	32,95	25,64
156	7,35	30,24	22,89	7,31	31,25	23,94
156	7,35	28,91	21,56	7,31	30,86	23,55
157	7,38	29,89	22,51	7,31	42,54	35,23
157	7,40	27,55	20,16	7,28	43,55	36,27
158	106,38	129,95	23,57	7,31	47,60	40,29
158	7,31	29,62	22,32	7,29	46,92	39,63
159	7,30	28,97	21,68	7,29	41,85	34,56
159	7,30	29,26	21,96	103,28	137,52	34,24
163	7,38	32,98	25,60	105,62	139,99	34,37
163	7,39	30,54	23,16	106,59	140,55	33,97
164	7,38	31,58	24,20	106,35	138,72	32,37

Continuación de la tabla XXIX.

Día de Zafra	M. Clarificada			M.Filtrada		
	Tara (g)	Masa final (g)	Filtrabilidad (%)	Tara (g)	Masa final (g)	Filtrabilidad (%)
164	7,41	32,19	24,78	106,17	138,08	31,91
165	7,38	29,92	22,54	106,18	138,96	32,78
165	7,39	29,95	22,56	105,73	141,39	35,66
166	7,38	30,25	22,87	7,31	41,53	34,22
166	7,42	31,07	23,65	7,31	42,00	34,69
167	7,38	30,63	23,25	7,31	41,36	34,05
167	7,39	31,57	24,18	7,32	39,66	32,35
170	7,51	31,01	23,50	7,31	40,74	33,43
170	7,24	30,59	23,36	7,31	39,55	32,24
171	112,15	137,86	25,71	7,31	41,01	33,70
171	106,84	132,04	25,20	7,31	42,31	35,00
Promedio			23,51			33,71

Fuente: elaboración propia, análisis realizados en Laboratorio de Fábrica, Ingenio Concepción S. A.

Tabla XXX. **Datos obtenidos del ensayo de sólidos insolubles realizados a las muestras de meladura**

Día de Zafra	Meladura Clarificada				Meladura Filtrada			
	m ₀	m ₁	m ₂	Sólidos Insolubles (mg/kg)	m ₀	m ₁	m ₂	Sólidos Insolubles (mg/kg)
87	120,0	0,06890	0,07300	34,17	120,0	0,07070	0,07360	24,17
89	120,0	0,07070	0,07570	41,67	120,0	0,07570	0,08010	36,67
89	50,0	0,07210	0,07390	36,00	50,0	0,07060	0,07150	18,00
89	50,0	0,06790	0,06970	36,00	50,0	0,06950	0,07090	28,00
89	50,0	0,07020	0,07220	40,00	50,0	0,07060	0,07220	32,00
90	50,0	0,07150	0,07300	30,00	50,0	0,07120	0,07250	26,00
90	50,0	0,07280	0,07400	24,00	50,0	0,07070	0,07150	16,00
90	50,0	0,07050	0,07250	40,00	50,0	0,07050	0,07150	20,00
90	50,0	0,06890	0,07080	38,00	50,0	0,07090	0,07210	24,00
91	50,0	0,07000	0,07210	42,00	50,0	0,07500	0,07680	36,00
91	50,0	0,07000	0,07200	40,00	50,0	0,07000	0,07190	38,00
91	50,0	0,06880	0,07010	26,00	50,0	0,06980	0,07080	20,00
91	50,0	0,06900	0,07050	30,00	50,0	0,06900	0,07015	23,00
92	50,0	0,07210	0,07330	24,00	50,0	0,07070	0,07150	16,00
92	50,0	0,07230	0,07380	30,00	50,0	0,06870	0,06970	20,00
94	50,0	0,07120	0,07240	24,00	50,0	0,06784	0,06860	15,20
94	50,0	0,07260	0,07410	30,00	50,0	0,07030	0,07110	16,00

Continuación de la tabla XXX.

Día de Zafra	Meladura Clarificada				Meladura Filtrada			
	m ₀	m ₁	m ₂	Sólidos Insolubles (mg/kg)	m ₀	m ₁	m ₂	Sólidos Insolubles (mg/kg)
94	50,0	0,06820	0,06910	18,00	50,0	0,06830	0,06950	24,00
94	50,0	0,06930	0,07050	24,00	50,0	0,06930	0,06980	10,00
95	50,0	0,06809	0,06960	30,20	50,0	0,06550	0,06670	24,00
95	50,0	0,07090	0,07250	32,00	50,0	0,07020	0,07150	26,00
95	50,0	0,07050	0,07290	48,00	50,0	0,07070	0,07230	32,00
95	50,0	0,06890	0,07090	40,00	50,0	0,07090	0,07220	26,00
96	50,0	0,07220	0,07390	34,00	50,0	0,06870	0,07030	32,00
96	50,0	0,06810	0,06950	28,00	50,0	0,06720	0,06830	22,00
96	50,0	0,06980	0,07170	38,00	50,0	0,07070	0,07180	22,00
96	50,0	0,07070	0,07250	36,00	50,0	0,07030	0,07150	24,00
97	50,0	0,07070	0,07230	32,00	50,0	0,07323	0,07450	25,40
97	50,0	0,07050	0,07250	40,00	50,0	0,06740	0,06890	30,00
97	50,0	0,07230	0,07390	32,00	50,0	0,06741	0,06860	23,80
97	50,0	0,07150	0,07370	44,00	50,0	0,06983	0,07120	27,40
98	50,0	0,07230	0,07409	35,80	50,0	0,07230	0,07400	34,00
98	50,0	0,06650	0,06920	54,00	50,0	0,06600	0,06760	32,00
98	50,0	0,06890	0,07100	42,00	50,0	0,07070	0,07200	26,00
98	50,0	0,07070	0,07230	32,00	50,0	0,07030	0,07150	24,00
102	50,0	0,07030	0,07152	24,40	50,0	0,07011	0,07156	29,00
102	50,0	0,06626	0,06836	42,00	50,0	0,06683	0,06760	15,40

Continuación de la tabla XXX.

Día de Zafra	Meladura Clarificada				Meladura Filtrada			
	m ₀	m ₁	m ₂	Sólidos Insolubles (mg/kg)	m ₀	m ₁	m ₂	Sólidos Insolubles (mg/kg)
102	50,0	0,06746	0,07011	53,00	50,0	0,06698	0,06801	20,60
102	50,0	0,06891	0,07151	52,00	50,0	0,06890	0,06991	20,20
103	50,0	0,06850	0,07036	37,20	50,0	0,07030	0,07106	15,20
103	50,0	0,07031	0,07283	50,40	50,0	0,07031	0,07176	29,00
103	50,0	0,06891	0,07150	51,80	50,0	0,06891	0,07007	23,20
103	50,0	0,07051	0,07236	37,00	50,0	0,06951	0,07035	16,80
104	50,0	0,07031	0,07247	43,20	50,0	0,07031	0,07142	22,20
104	50,0	0,06881	0,07099	43,60	50,0	0,06849	0,06913	12,80
104	50,0	0,07012	0,07165	30,60	50,0	0,07056	0,07189	26,60
107	50,0	0,07031	0,07186	31,00	50,0	0,06827	0,06992	33,00
108	50,0	0,06617	0,06838	44,20	50,0	0,06922	0,07067	29,00
108	50,0	0,06623	0,06780	31,40	50,0	0,07064	0,07198	26,80
108	50,0	0,06950	0,07126	35,20	50,0	0,06992	0,07133	28,20
108	50,0	0,07031	0,07190	31,80	50,0	0,06891	0,07036	29,00
125	50,0	0,07030	0,07315	57,00	50,0	0,06893	0,07364	94,20
125	50,0	0,06201	0,06526	65,00	50,0	0,06152	0,06394	48,40
125	50,0	0,06586	0,06930	68,80	50,0	0,06218	0,06479	52,20
125	50,0	0,06483	0,06816	66,60	50,0	0,06736	0,07093	71,40
125	50,0	0,06152	0,06442	58,00	50,0	0,06564	0,06677	22,60
126	50,0	0,06160	0,06360	40,00	50,0	0,06690	0,06829	27,80

Continuación de la tabla XXX.

Día de Zafra	Meladura Clarificada				Meladura Filtrada			
	m ₀	m ₁	m ₂	Sólidos Insolubles (mg/kg)	m ₀	m ₁	m ₂	Sólidos Insolubles (mg/kg)
126	50,0	0,07030	0,07250	44,00	50,0	0,07013	0,07113	20,00
128	50,0	0,06490	0,06730	48,00	50,0	0,07226	0,07350	24,80
128	50,0	0,07120	0,07350	46,00	50,0	0,07153	0,07222	13,80
128	50,0	0,07140	0,07320	36,00	50,0	0,06598	0,06710	22,40
129	50,0	0,06890	0,07110	44,00	50,0	0,06351	0,06489	27,60
129	50,0	0,06530	0,06730	40,00	50,0	0,06689	0,06792	20,60
131	50,0	0,06950	0,07170	44,00	50,0	0,06784	0,06910	25,20
131	50,0	0,07230	0,07400	34,00	50,0	0,06698	0,06773	15,00
132	50,0	0,06190	0,06450	52,00	50,0	0,06532	0,06632	20,00
135	25,0	0,06950	0,07110	64,00	50,0	0,06478	0,06587	21,80
135	25,0	0,06780	0,06895	46,00	50,0	0,06891	0,07030	27,80
136	25,0	0,06870	0,06980	44,00	50,0	0,06879	0,06972	18,60
136	50,0	0,07030	0,07260	46,00	50,0	0,06847	0,06984	27,40
143	25,0	0,07090	0,07190	40,00	50,0	0,06859	0,07299	88,00
144	50,0	0,06880	0,07100	44,00	50,0	0,06778	0,06891	22,60
144	25,0	0,06830	0,06920	36,00	50,0	0,07046	0,07171	24,98
146	50,0	0,06840	0,07180	68,00	50,0	0,07025	0,07129	20,80
146	50,0	0,07030	0,07290	52,00	50,0	0,07036	0,07129	18,60
150	50,0	0,07060	0,07280	44,00	50,0	0,07014	0,07134	24,00
150	50,0	0,07140	0,07338	39,60	50,0	0,06889	0,06959	14,00

Continuación de la tabla XXX.

Día de Zafra	Meladura Clarificada				Meladura Filtrada			
	m ₀	m ₁	m ₂	Sólidos Insolubles (mg/kg)	m ₀	m ₁	m ₂	Sólidos Insolubles (mg/kg)
151	50,0	0,07130	0,07410	56,00	50,0	0,06758	0,06918	32,00
152	50,0	0,07060	0,07137	15,31	50,0	0,06310	0,06332	4,31
153	25,0	0,06560	0,06643	33,00	25,2	0,06360	0,06421	24,30
156	25,1	0,06520	0,06612	36,60	50,0	0,07025	0,07162	27,37
156	25,0	0,07010	0,07132	48,70	50,0	0,07123	0,07243	23,93
157	25,0	0,07160	0,07259	39,70	50,0	0,07112	0,07240	25,50
157	25,0	0,07000	0,07091	36,20	25,0	0,06500	0,06561	24,52
158	25,0	0,07170	0,07285	45,80	50,0	0,07114	0,07229	22,95
158	25,0	0,06580	0,06683	41,00	50,0	0,06778	0,06894	23,20
159	25,0	0,06550	0,06682	52,90	50,0	0,06798	0,06923	25,09
159	25,0	0,06590	0,06724	53,48	25,0	0,06500	0,06560	23,96
163	25,0	0,06690	0,06798	43,00	25,0	0,07031	0,07088	22,63
163	25,0	0,06981	0,07082	40,50	25,0	0,07036	0,07096	24,00
164	26,1	0,07060	0,07169	41,60	25,5	0,07090	0,07150	23,42
164	25,1	0,06990	0,07105	45,90	25,8	0,06650	0,06727	29,63
165	25,0	0,06160	0,06242	32,60	25,0	0,06930	0,06986	22,40
165	25,0	0,07030	0,07133	41,10	25,0	0,06809	0,06861	20,60
166	25,0	0,06490	0,06624	53,69	25,0	0,07090	0,07152	24,80
166	25,0	0,07120	0,07203	33,01	25,0	0,07050	0,07103	21,00
167	25,0	0,07140	0,07250	43,90	25,0	0,06890	0,06958	27,04

Continuación de la tabla XXX.

Día de Zafra	Meladura Clarificada				Meladura Filtrada			
	m ₀	m ₁	m ₂	Sólidos Insolubles (mg/kg)	m ₀	m ₁	m ₂	Sólidos Insolubles (mg/kg)
167	25,0	0,07230	0,07312	32,60	25,0	0,07220	0,07286	26,20
170	25,0	0,06190	0,06301	44,30	25,0	0,06810	0,06864	21,60
170	25,0	0,06950	0,07050	40,06	25,0	0,06980	0,07036	22,40
171	25,0	0,06780	0,06921	56,25	25,0	0,07070	0,07134	25,73
171	25,0	0,06870	0,07006	54,35	25,0	0,07070	0,07136	26,30
Promedio				40,91				26,08

Fuente: elaboración propia, análisis realizados en Laboratorio de Fábrica, Ingenio Concepción S. A.

Tabla XXXI. **Datos obtenidos del test de sedimentos realizados a las muestras de meladura clarificada y meladura filtrada**

Día de Zafra	Hora	M. Clarificada	M. Filtrada
		Sedimentos	Sedimentos
69	08:00	4	2
69	11:00	3	2
69	14:00	3	2
70	08:00	3	2
80	08:00	2	1
82	08:00	1	1
82	11:00	4	1
83	08:00	2	2
83	11:00	2	1
84	08:00	2	1
84	11:00	2	1
84	14:00	2	1
85	08:00	2	1
85	11:00	4	1
87	08:00	2	2
87	11:00	2	1
87	14:00	2	1
87	16:00	2	1
89	08:00	2	1
89	11:00	3	1
89	14:00	3	1
89	16:00	3	1
90	08:00	3	1
90	11:00	3	1
90	14:00	3	1
90	16:00	3	1

Continuación de la tabla XXXI.

Día de Zafra	Hora	M. Clarificada	M. Filtrada
		Sedimentos	Sedimentos
91	08:00	3	1
91	11:00	3	2
91	14:00	3	1
91	16:00	3	1
92	08:00	3	1
92	11:00	3	1
94	08:00	3	2
94	11:00	4	2
94	14:00	3	2
94	16:00	4	1
95	08:00	3	2
95	11:00	3	1
95	14:00	3	1
95	16:00	3	1
96	08:00	3	3
96	11:00	3	1
96	14:00	3	1
96	16:00	3	2
97	08:00	3	2
97	11:00	3	1
97	14:00	3	1
97	16:00	4	1
98	08:00	4	2
98	11:00	3	2
98	14:00	3	1
98	16:00	3	1
102	08:00	4	2

Continuación de la tabla XXXI.

Día de Zafra	Hora	M. Clarificada	M. Filtrada
		Sedimentos	Sedimentos
102	11:00	3	2
102	14:00	4	2
102	16:00	4	1
103	08:00	4	2
103	11:00	4	1
103	14:00	3	2
103	16:00	4	2
104	08:00	4	2
104	11:00	3	2
104	14:00	4	2
107	08:00	4	2
108	08:00	4	1
108	11:00	4	2
108	14:00	4	2
108	16:00	4	2
123	11:00	4	1
125	08:00	4	2
125	09:00	3	2
125	10:00	3	2
125	11:00	3	3
125	14:00	3	1
125	15:00	3	1
126	08:00	3	1
126	09:00	4	1
126	10:00	3	2
128	08:00	2	1
128	10:00	1	1
128	14:00	3	2
129	08:00	3	1

Continuación de la tabla XXXI.

Día de Zafra	Hora	M. Clarificada	M. Filtrada
		Sedimentos	Sedimentos
129	10:00	2	1
129	14:00	4	2
130	08:00	4	1
130	10:00	4	2
130	14:00	4	1
131	08:00	2	1
131	10:00	3	1
132	08:00	4	2
132	10:00	3	1
135	08:00	3	1
135	10:00	3	2
136	08:00	3	2
136	10:00	3	1
143	08:00	2	2
143	10:00	4	1
143	11:00	4	1
144	08:00	3	1
144	14:00	2	1
145	10:00	4	2
145	14:00	4	3
146	08:00	3	1
146	10:00	3	1
150	09:00	3	1
150	11:00	3	1
151	08:00	3	1
152	08:00	3	2
153	08:00	2	1

Fuente: elaboración propia, análisis realizados en Laboratorio de Fábrica, Ingenio Concepción S. A.

Tabla XXXII. **Cuantificación del test de sedimentos realizado en meladura clarificada y meladura filtrada**

Grado	Calificación	M. Clarificada	M. Filtrada
1	Excelente	1,83%	59,63%
2	Bueno	16,51%	37,61%
3	Malo	52,29%	2,75%
4	Excesivo	29,36%	0,00%

Fuente: elaboración propia, datos de la tabla XXXI.

Evaluación del efecto de la filtración de meladura clarificada en la producción de azúcar

Tabla XXXIII. Datos obtenidos durante el ensayo de color y turbidez realizados a muestras de azúcar blanco

Día de Zafra	Abs a	Abm (filtrada)	Abs m (sin filtrar)	°Brix (filtrada)	°Brix (sin filtrar)	Densidad aparente a 20°C (filtrada)	Densidad aparente a 20°C (sin filtrar)	Color 420nm (filtrada)	Color 420nm (sin filtrar)	Turbidez 420nm
95	0,0625	0,4692	0,5058	29,56	30,26	1123,8098	1127,1605	245	260	15
95	0,0623	0,4683	0,5003	28,98	29,58	1121,0461	1123,9053	250	263	14
96	0,0626	0,4698	0,5106	29,22	30,35	1122,1883	1127,5925	248	262	13
96	0,0635	0,4698	0,5062	29,51	30,03	1123,5711	1126,0577	245	262	17
97	0,0603	0,4536	0,4968	28,25	29,36	1117,5839	1122,8555	249	265	16
97	0,0613	0,4006	0,4402	33,25	33,98	1141,6604	1145,2467	179	195	16
98	0,0605	0,4678	0,5148	33,45	34,97	1142,6412	1150,1392	213	226	13
101	0,0618	0,4856	0,5324	30,56	32,06	1128,6016	1135,8531	246	258	13
102	0,0604	0,4695	0,5006	30,44	30,89	1128,0248	1130,1904	238	252	14
103	0,0710	0,4025	0,4352	31,48	31,96	1133,0401	1135,3673	186	201	15
104	0,0750	0,4635	0,4985	32,45	32,68	1137,7511	1138,8728	210	228	17
104	0,0750	0,4696	0,5014	33,55	34,05	1143,1320	1145,5915	206	219	13
111	0,0700	0,4612	0,4998	33,05	33,95	1140,6810	1145,0990	208	221	14
111	0,0700	0,4636	0,4925	33,58	33,6	1143,2794	1143,3776	205	220	15
112	0,0603	0,4215	0,4489	31,52	31,78	1133,2338	1134,4937	202	216	13
112	0,0610	0,4531	0,4835	32,98	33,45	1140,3386	1142,6412	209	221	13
113	0,0710	0,4458	0,4859	33,14	33,58	1141,1216	1143,2794	198	216	18
113	0,0750	0,4693	0,5106	33,05	34,02	1140,6810	1145,4437	209	224	14
114	0,0760	0,4703	0,5123	33,48	34,78	1142,7884	1149,1977	206	218	12
114	0,0710	0,4458	0,4898	33,58	34,96	1143,2794	1150,0896	195	208	13
115	0,0700	0,4315	0,4726	31,45	32,23	1132,8950	1136,6798	203	220	17

Continuación de la tabla XXXIII.

Día de Zafra	Abs a	Absm (filtrada)	Abs m (sin filtrar)	°Brix (filtrada)	°Brix (sin filtrar)	Densidad aparente a 20°C (filtrada)	Densidad aparente a 20°C (sin filtrar)	Color 420nm (filtrada)	Color 420nm (sin filtrar)	Turbidez 420nm
115	0,0690	0,4722	0,5145	36,56	37,15	1158,0667	1161,0302	190	207	16
119	0,0695	0,4526	0,4903	33,58	34,25	1143,2794	1146,5777	200	214	15
119	0,0691	0,4639	0,4987	32,98	33,56	1140,3386	1143,1811	210	224	14
123	0,0640	0,4256	0,4659	32,05	33,02	1135,8045	1140,5342	199	213	15
123	0,0610	0,4369	0,4689	33,01	33,58	1140,4853	1143,2794	200	212	13
135	0,0635	0,4635	0,4977	34,52	35,26	1147,9112	1151,5787	202	214	12
135	0,0678	0,4583	0,4903	33,69	33,78	1143,8198	1144,2623	203	219	16
136	0,0523	0,4587	0,4958	33,03	34,02	1140,5832	1145,4437	216	228	12
136	0,0522	0,4603	0,4985	33,58	34,12	1143,2794	1145,9365	213	228	16
143	0,0545	0,4689	0,5044	34,58	35,02	1148,2079	1150,3872	209	223	15
143	0,0536	0,4505	0,4836	34,07	34,56	1145,6901	1148,1090	203	217	13
144	0,0696	0,4436	0,478	34,78	35,03	1149,1977	1150,4368	187	203	16
144	0,0685	0,4489	0,4809	34,56	34,98	1148,1090	1150,1888	192	205	13
145	0,0636	0,4578	0,4889	33,98	34,56	1145,2467	1148,1090	203	214	12
145	0,0650	0,4536	0,4855	33,78	34,26	1144,2623	1146,6271	201	214	13
146	0,0648	0,4689	0,5126	36,56	37,2	1158,0667	1161,2818	191	207	16
146	0,0659	0,4636	0,5126	34,05	35,26	1145,5915	1151,5787	204	220	16
150	0,0650	0,4678	0,5015	35,23	35,69	1151,4297	1153,7184	199	212	13
150	0,0655	0,4578	0,4923	35,69	36,02	1153,7184	1155,3647	191	205	15
156	0,0785	0,4448	0,4805	36,48	36,89	1157,6657	1159,7227	173	188	14
156	0,0658	0,4478	0,4859	37,05	37,59	1160,5270	1163,2479	178	192	14
156	0,0635	0,4503	0,4875	37,23	37,85	1161,4329	1164,5615	179	192	13
157	0,0593	0,4436	0,4789	35,26	35,76	1151,5787	1154,0673	189	203	14
157	0,0556	0,4203	0,4625	36,12	36,75	1155,8643	1159,0197	175	191	16
158	0,0586	0,4758	0,5116	37,25	37,85	1161,5336	1164,5615	193	206	13

Continuación de la tabla XXXIII.

Día de Zafra	Abs a	Absm (filtrada)	Abs m (sin filtrar)	°Brix (filtrada)	°Brix (sin filtrar)	Densidad aparente a 20°C (filtrada)	Densidad aparente a 20°C (sin filtrar)	Color 420nm (filtrada)	Color 420nm (sin filtrar)	Turbidez 420nm
158	0,0548	0,4698	0,5104	37,49	38,14	1162,7433	1166,0294	190	205	14
159	0,0663	0,4625	0,4953	33,59	34,05	1143,3285	1145,5915	206	220	14
159	0,0669	0,4523	0,4878	35,83	36,46	1154,4163	1157,5655	186	199	13
163	0,0658	0,4433	0,4778	37,29	37,99	1161,7351	1165,2698	174	186	12
163	0,0680	0,4396	0,4725	37,45	37,87	1162,5416	1164,6627	171	183	13
164	0,0699	0,4758	0,5126	37,69	38,06	1163,7529	1165,6242	185	200	14
164	0,0337	0,4589	0,5045	38,05	38,69	1165,5735	1168,8211	192	208	16
165	0,0358	0,4436	0,4815	38,36	39,05	1167,1449	1170,6540	182	195	13
166	0,0369	0,4589	0,4905	37,55	38,01	1163,0460	1165,3710	193	205	12
167	0,0586	0,4625	0,4936	38,98	39,26	1170,2973	1171,7253	177	189	12
Promedio								202		14

Fuente: elaboración propia, análisis realizados en Laboratorio de Fábrica, Ingenio Concepción S. A.

Tabla XXXIV. **Datos obtenidos durante el ensayo de materia insoluble realizado a muestras de azúcar blanco**

Día de Zafra	m0 (g)	m1 (g)	m2 (g)	Materia Insoluble (mg/kg)
95	250	0,06780	0,06820	1,60
95	250	0,07070	0,07100	1,20
96	250	0,06890	0,06950	2,40
96	250	0,07030	0,07060	1,20
97	250	0,06800	0,06840	1,60

Continuación de la tabla XXXIV.

Día de Zafra	m0 (g)	m1 (g)	m2 (g)	Materia Insoluble (mg/kg)
97	250	0,06690	0,06730	1,60
98	250	0,07020	0,07050	1,20
101	250	0,06680	0,06720	1,60
102	250	0,06790	0,06830	1,60
103	250	0,07050	0,07105	2,20
104	250	0,06900	0,06940	1,60
104	250	0,07260	0,07330	2,80
111	250	0,07090	0,07130	1,60
111	250	0,06810	0,06835	1,00
112	250	0,07070	0,07100	1,20
112	250	0,06650	0,06690	1,60
113	250	0,07030	0,07059	1,16
113	250	0,06980	0,07005	1,00
114	250	0,06830	0,06868	1,52
114	250	0,06550	0,06595	1,80
115	250	0,07070	0,07108	1,52
115	250	0,06870	0,06898	1,12
119	250	0,07323	0,07358	1,40
119	250	0,06983	0,07013	1,20
123	250	0,06951	0,06995	1,76
123	250	0,06849	0,06898	1,96
135	250	0,06992	0,07025	1,32
135	250	0,06893	0,06936	1,72
136	250	0,06736	0,06767	1,24
136	250	0,06690	0,06725	1,40
143	250	0,06598	0,06635	1,48
143	250	0,06351	0,06378	1,08
144	250	0,06698	0,06735	1,48
144	250	0,06478	0,06509	1,24
145	250	0,06879	0,06906	1,08
145	250	0,06859	0,06898	1,56
146	250	0,07025	0,07056	1,24
146	250	0,07014	0,07060	1,84
150	250	0,06360	0,06396	1,44
150	250	0,07123	0,07153	1,20

Continuación de la tabla XXXIV.

Día de Zafra	m0 (g)	m1 (g)	m2 (g)	Materia Insoluble (mg/kg)
156	250	0,07114	0,07155	1,64
156	250	0,06500	0,06536	1,44
156	250	0,07020	0,07067	1,88
157	250	0,07280	0,07309	1,16
157	250	0,06890	0,06924	1,36
158	250	0,06880	0,06911	1,24
158	250	0,07120	0,07166	1,84
159	250	0,06930	0,06978	1,92
159	250	0,07050	0,07092	1,68
163	250	0,06890	0,06932	1,68
163	250	0,07070	0,07098	1,12
164	250	0,07050	0,07098	1,92
164	250	0,06758	0,06797	1,56
165	250	0,07114	0,07146	1,28
166	250	0,07031	0,07056	1,00
167	250	0,07090	0,07115	1,00
Promedio				1,49

Fuente: elaboración propia, análisis realizados en Laboratorio de Fábrica, Ingenio Concepción S. A.

Tabla XXXV. **Datos obtenidos durante el ensayo de ceniza presente en azúcar blanco**

Día de Zafra	C_{agua} (μS/cm)	C_{solución} (μS/cm)	% Cenizas
95	1,1	46,9	0,02791
95	1,2	44,8	0,02663
96	1	45,6	0,02715
96	1,3	44,9	0,02667
97	1,3	47,6	0,02826
97	1,1	45,2	0,02691
98	1,1	42,7	0,02538
101	1,4	48,6	0,02885
102	1,1	45,9	0,02730
103	1	49,0	0,02917
104	1,2	48,6	0,02890
104	1,3	43,5	0,02583
111	1,1	44,3	0,02635
111	1,2	45,1	0,02681
112	1	44,1	0,02625
112	1	43,5	0,02589
113	1	43,1	0,02565
113	1,4	44,2	0,02623
114	1,3	53,4	0,03177
114	1,4	42,2	0,02503
115	1,4	43,5	0,02581
115	1	44,7	0,02661
119	1,1	41,3	0,02455
119	1,2	44,8	0,02663
123	1,1	50,6	0,03013
123	1,1	46,2	0,02749
135	1,3	49,2	0,02925
135	1	46,8	0,02787

Continuación de la tabla XXXV.

Día de Zafra	C_{agua} (µS/cm)	C_{solución} (µS/cm)	% Cenizas
136	1	43,6	0,02595
136	1	46,7	0,02781
143	1,5	41,5	0,02459
143	1,2	42,5	0,02525
144	1,3	43,2	0,02565
144	1	44,2	0,02631
145	1,5	43,6	0,02585
145	1,2	44,0	0,02615
146	1	46,1	0,02745
146	1	45,3	0,02697
150	1	43,2	0,02571
150	1,1	45,7	0,02719
156	1	47,2	0,02811
156	1,4	42,1	0,02497
156	1,3	44,2	0,02625
157	1,3	41,5	0,02463
157	1,1	42,6	0,02533
158	1	45,7	0,02721
158	1,6	41,5	0,02456
159	1	44,3	0,02637
159	1	41,2	0,02451
163	1,3	44,7	0,02655
164	1	49,6	0,02955
164	1,4	45,8	0,02719
165	1,1	45,1	0,02683
166	1	44,5	0,02649
167	1,5	46,2	0,02741
Promedio			0,02680

Fuente: elaboración propia, análisis realizados en Laboratorio de Fábrica, Ingenio Concepción S. A.

Tabla XXXVI. **Datos obtenidos del ensayo de filtrabilidad realizado en azúcar blanco**

Día de Zafra	Tara (g)	M_{final} (g)	%Filtrabilidad
95	100,45	143,62	43,2
95	112,27	156,98	44,7
96	105,37	149,65	44,3
96	106,13	153,25	47,1
97	112,26	154,24	42,0
97	105,37	149,26	43,9
98	102,46	145,26	42,8
101	103,55	149,69	46,1
102	101,76	146,36	44,6
103	102,59	145,36	42,8
104	105,73	149,23	43,5
104	105,73	148,05	42,3
111	105,74	148,36	42,6
111	106,39	150,26	43,9
112	101,76	145,22	43,5
112	101,85	135,26	33,4
113	101,86	145,89	44,0
113	109,35	152,69	43,3
114	106,56	155,36	48,8
114	101,76	139,60	37,8
115	105,28	144,22	38,9
115	105,28	148,08	42,8
119	105,28	144,35	39,1
119	112,16	148,36	36,2
123	102,36	142,48	40,1
123	106,12	145,28	39,2
135	112,15	154,23	42,1
135	106,84	148,10	41,3

Continuación de la tabla XXXVI.

Día de Zafra	Tara (g)	M_{final} (g)	%Filtrabilidad
136	105,42	136,39	31,0
136	106,32	142,99	36,7
143	106,10	154,25	48,2
143	105,73	140,02	34,3
144	106,55	142,32	35,8
144	112,23	147,17	34,9
145	106,32	143,09	36,8
145	105,62	142,80	37,2
146	105,62	145,30	39,7
146	106,17	146,44	40,3
150	105,60	147,16	41,6
150	112,16	150,67	38,5
156	106,43	145,02	38,6
156	103,45	143,75	40,3
156	105,37	146,59	41,2
157	105,28	145,76	40,5
157	105,62	145,65	40,0
158	112,58	151,42	38,8
158	103,28	143,59	40,3
159	105,62	143,61	38,0
159	106,59	143,98	37,4
163	106,35	143,29	36,9
163	106,17	149,91	43,7
164	106,18	146,68	40,5
165	106,10	146,93	40,8
166	112,23	149,96	37,7
167	105,62	143,88	38,3
Promedio			40,6

Fuente: elaboración propia, análisis realizados en Laboratorio de Fábrica, Ingenio Concepción S. A.

Tabla XXXVII. **Parámetros de calidad de azúcar blanco medidos previos a la operación del filtro**

No. Muestra	Color (UI)	Turbidez (UI)	% Cenizas	Materia Insoluble (mg/kg)	% Filtrabilidad
1	225,88	65,11	0,035	22,5	39,86
2	236,61	75,46	0,035	30,5	39,30
3	229,08	81,70	0,048	18,0	40,02
4	193,36	83,07	0,056	19,0	38,92
5	184,28	75,95	0,049	17,5	40,84
6	204,38	79,85	0,048	25,5	39,49
7	238,35	75,89	0,053	16,0	34,29
8	178,18	103,02	0,049	12,5	38,43
9	161,49	100,73	0,051	4,3	40,87
10	217,34	89,70	0,048	15,5	38,96
11	186,23	75,99	0,053	9,0	41,24
12	192,01	70,79	0,048	17,5	42,97
13	268,55	82,67	0,056	5,0	40,03
14	231,97	64,21	0,05	8,5	40,12
15	248,75	108,39	0,056	6,0	40,20
16	158,06	100,28	0,054	8,5	40,42
17	226,13	91,46	0,056	7,0	39,62
18	169,32	98,87	0,047	11,5	38,21
19	197,50	97,58	0,05	11,0	40,72
20	203,41	77,68	0,055	8,5	40,50
21	205,26	73,52	0,051	12,5	38,58
22	227,40	93,82	0,052	12,0	37,38
23	168,18	63,42	0,054	10,5	39,01
24	176,01	42,30	0,051	7,0	37,76
25	187,06	65,42	0,052	9,5	40,05
26	191,74	42,41	0,053	2,5	40,06
27	183,30	58,22	0,049	3,0	41,85
28	165,75	40,50	0,051	5,0	40,89
29	222,16	64,20	0,052	6,5	42,56
30	191,89	58,89	0,05	8,5	41,86
31	189,36	48,99	0,056	8,0	41,88
32	183,65	46,96	0,053	7,0	40,58

Continuación de la tabla XXXVII.

No. Muestra	Color (UI)	Turbidez (UI)	% Cenizas	Materia Insoluble (mg/kg)	% Filtrabilidad
33	188,56	46,65	0,053	8,5	39,92
34	153,57	66,95	0,052	12,0	33,26
35	176,47	35,44	0,05	8,5	35,30
36	293,55	51,67	0,051	13,0	40,02
37	180,62	56,49	0,053	8,5	41,01
38	184,21	65,26	0,053	10,5	38,02
39	215,15	49,39	0,053	8,0	40,59
40	209,12	37,19	0,056	6,5	36,67
41	203,69	55,37	0,053	18,5	39,72
42	264,02	74,29	0,053	5,5	39,50
43	170,95	68,63	0,056	4,5	39,29
44	183,96	64,16	0,054	4,0	40,86
45	163,14	58,75	0,055	8,5	36,80
46	187,06	78,37	0,051	6,5	36,28
47	172,01	76,11	0,055	8,0	37,09
48	230,96	57,75	0,056	5,5	40,78
49	190,92	98,70	0,053	9,0	41,54
50	243,84	88,25	0,045	5,5	40,65
51	163,22	70,69	0,043	7,0	40,99
52	178,04	76,30	0,048	7,5	38,74
53	182,08	63,21	0,045	7,5	37,01
54	158,71	72,65	0,048	9,0	28,68
55	165,35	63,67	0,049	6,5	40,10
56	175,81	66,92	0,048	6,5	39,72

Fuente: Laboratorio de Fábrica, Ingenio Concepción S. A.

ANOVA unidireccional: turbidez (UI)

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	1	88465	88465	544,57	0,000
Error	110	17870	162		
Total	111	106335			

S = 12,75 R-cuad. = 83,20% R-cuad. (ajustado) = 83,04%

ICs de 95% individuales para la media
basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	
A	56	14,15	1,58	(-*-)
B	56	70,36	17,96	(-*-)

-----+-----+-----+-----+-----
16 32 48 64

Desv.Est. agrupada = 12,75

ANOVA unidireccional: % cenizas

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	1	0,0163516	0,0163516	1505,34	0,000
Error	110	0,0011949	0,0000109		
Total	111	0,0175464			

S = 0,003296 R-cuad. = 93,19% R-cuad. (ajustado) = 93,13%

ICs de 95% individuales para la media
basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	
A	56	0,026799	0,001507	(*-)
B	56	0,050964	0,004411	(*)

-----+-----+-----+-----+-----
0,0280 0,0350 0,0420 0,0490

Desv.Est. agrupada = 0,003296

ANOVA unidireccional: materia insoluble (mg/kg)

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	1	2033,8	2033,8	129,51	0,000
Error	110	1727,4	15,7		
Total	111	3761,3			

S = 3,963 R-cuad. = 54,07% R-cuad.(ajustado) = 53,66%

ICs de 95% individuales para la media
basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs
A	56	1,491	0,360	(---*--)
B	56	10,013	5,593	(--*---)

-----+-----+-----+-----+
3,0 6,0 9,0 12,0

Desv.Est. agrupada = 3,963

ANOVA unidireccional: % filtrabilidad

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	1	45,10	45,10	4,76	0,031
Error	110	1041,33	9,47		
Total	111	1086,43			

S = 3,077 R-cuad. = 4,15% R-cuad.(ajustado) = 3,28%

ICs de 95% individuales para la media
basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs
A	56	40,554	3,622	(-----*-----)
B	56	39,285	2,412	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----+
39,20 40,00 40,80 41,60

Desv.Est. agrupada = 3,077

Manual de operación de filtro de banda al vacío para meladura clarificada

El filtro de banda utilizado durante el desarrollo del presente estudio tiene capacidad de hasta 100 metros cúbicos por hora de meladura clarificada con una retención de partículas hasta 36 micrómetros. Este filtro opera bajo un gradiente de presión, provocado por el turbo ventilador conectado a las cajas de succión de meladura filtrada.

Previo a la operación del filtro deben realizarse las siguientes tareas:

- Inspeccionar que no se encuentren objetos extraños en el filtro, que puedan dañar la banda.
- Revisar la tensión de la banda y asegurarse que los sensores de seguridad (*switch limit*) de alineamiento de banda se encuentren en la posición correcta.
- Inspeccionar que el tanque de agua para la limpieza de la banda se encuentre lleno.
- Inspeccionar que la temperatura del agua para el lavado de la banda se encuentre entre 60 y 70 grados Celsius.
- Revisar que la válvula de drenaje del agua de lavado se encuentre abierta.
- Revisar que las mangueras transportadoras de vapor se encuentren en buen estado y estén colocadas en su sitio.

Puesta en marcha del filtro de meladura:

- Activar el movimiento de la banda del filtro.
- Encender la bomba de agua para el lavado de la banda y abrir la válvula de agua para enfriamiento de la bomba.
- Realizar la limpieza del sistema con agua y vapor.

- Encender el turbo-ventilador.
- Abrir las válvulas de alimentación del filtro.
- Abrir las válvulas de succión y descarga de la bomba de meladura filtrada; encender la bomba y abrir la válvula de agua de enfriamiento de la bomba.

Operación continua del filtro de banda:

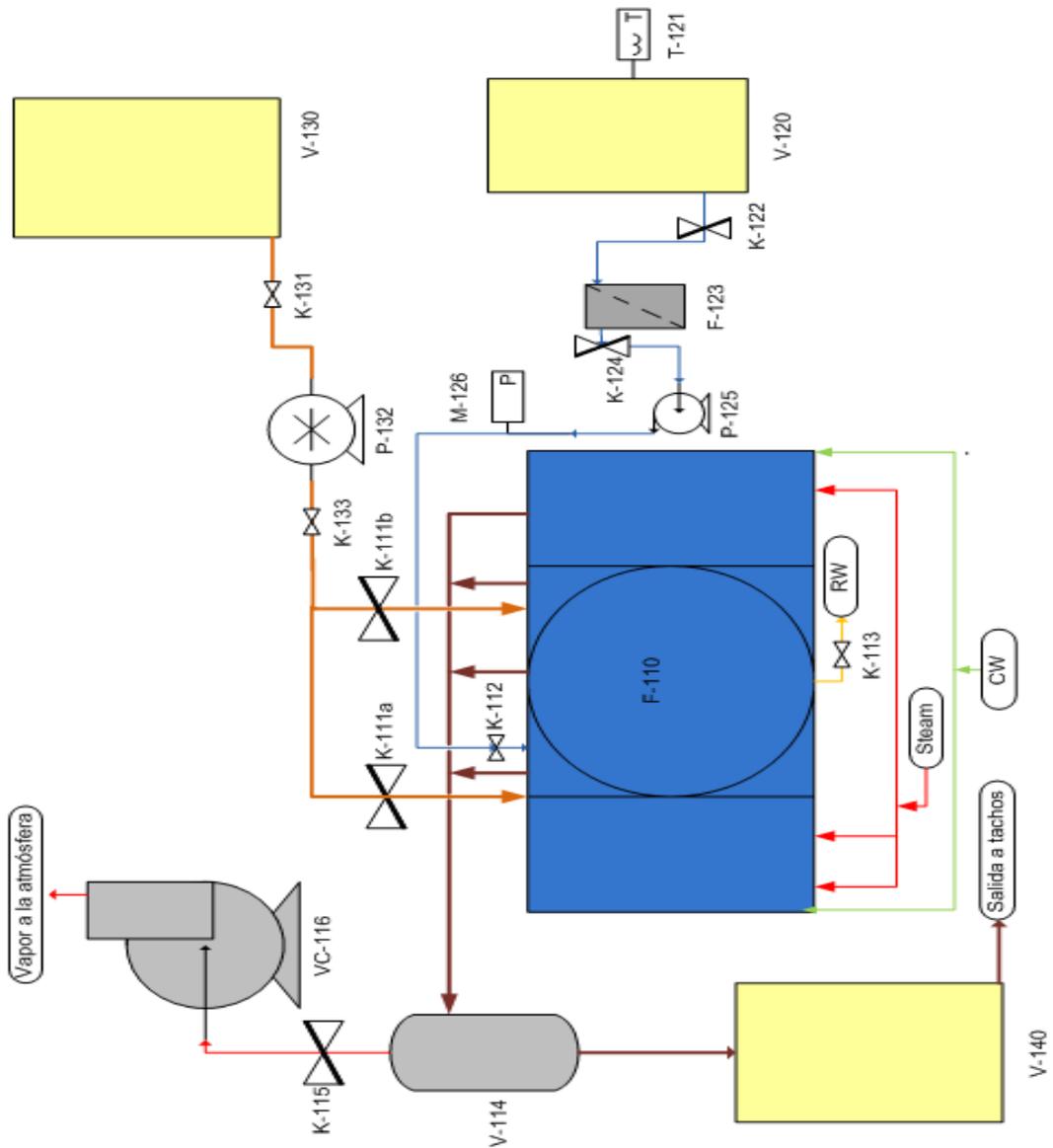
- Durante la operación continua del filtro de meladura es importante verificar la limpieza de la banda y de ser necesario realizar una limpieza manual, para evitar el taponamiento de la membrana filtrante.
- Cuando se realice la limpieza es fundamental observar la uniformidad de la cortina de agua proveniente de la flauta de aspersores, si ésta no es uniforme será necesario realizar mantenimiento correctivo a los aspersores
- La asepsia de los rodos debe realizarse periódicamente, tomando las precauciones indicadas anteriormente.
- Verificar el nivel del tanque de agua para el lavado de la banda y su temperatura.
- Verificar el funcionamiento de las bombas de meladura filtrada y agua de lavado de banda.

Paro de operación de filtro de meladura:

- Detener la alimentación de meladura al filtro de banda.
- Realizar limpieza de banda activando con agua y vapor.
- Apagar turbo ventilador.
- Apagar bomba de agua de lavado de banda y cerrar válvula de agua de enfriamiento de la bomba.
- Parar movimiento de banda del filtro.

- Liquidar tanque de meladura filtrada.
- Cerrar válvulas de succión e impulsión, apagar bomba de meladura filtrada y cerrar válvula de agua de enfriamiento de la bomba

Figura 24. Diagrama de flujo del proceso de filtración de meladura clarificada



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVIII. **Simbología del equipo de la figura 25**

Lista de equipos	
Equipo	Descripción
F-110	Filtro de banda
F-123	Filtro de agua
P-125	Bomba de agua
P-132	Bomba de M.Clarificada
V-114	Tanque de descarga
V-120	Tanque de agua
V-130	Tanque de M.Clarificada
V-140	Tanque de M.Filtrada
VC-116	Turbo ventilador

Lista de válvulas	
Válvula	Descripción
K-111	Alimentación de M.Clarificada
K-112	Entrada de agua
K-113	Recirculación
K-115	Regulación de succión
K-122	Salida de tanque de agua
K-124	Succión de bomba de agua
K-131	Succión de bomba de M.Clarificada
K-133	Descarga de bomba de M.Clarificada

Lista de servicios	
Servicio	Descripción
CW	Agua fría
RW	Recirculación al proceso
Steam	Vapor

Fuente: elaboración propia.

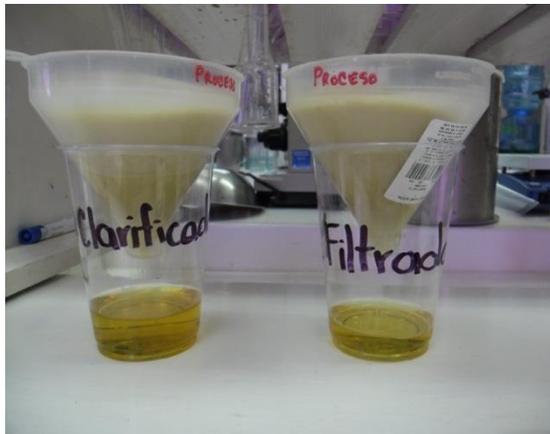
Fotografías de los ensayos realizados a las muestras de meladura

Figura 25. **Refractómetro utilizado para medir grados Brix**



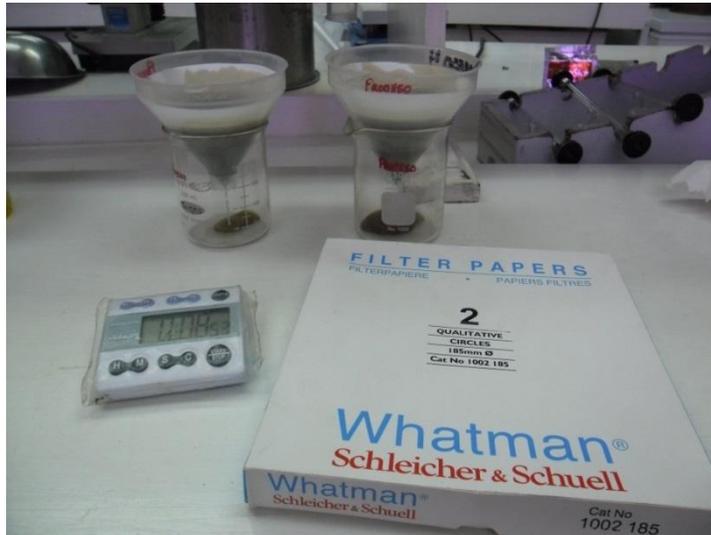
Fuente: Laboratorio de Fábrica, Ingenio Concepción S. A.

Figura 26. **Preparación de las muestras de meladura**



Fuente: Laboratorio de Fábrica, Ingenio Concepción S. A.

Figura 27. **Ensayo de filtrabilidad**



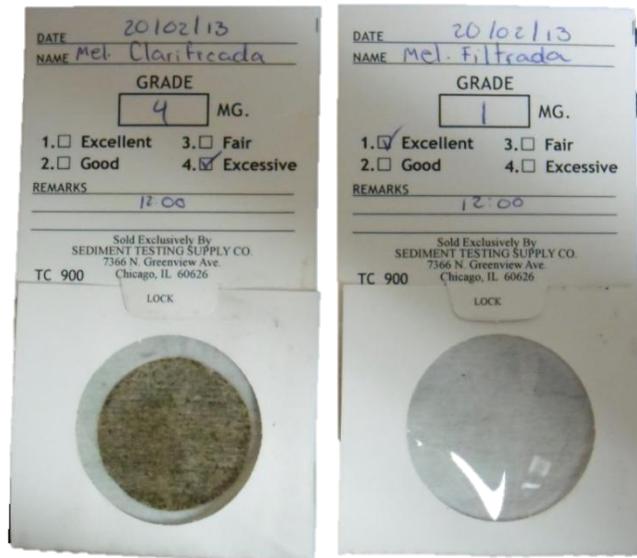
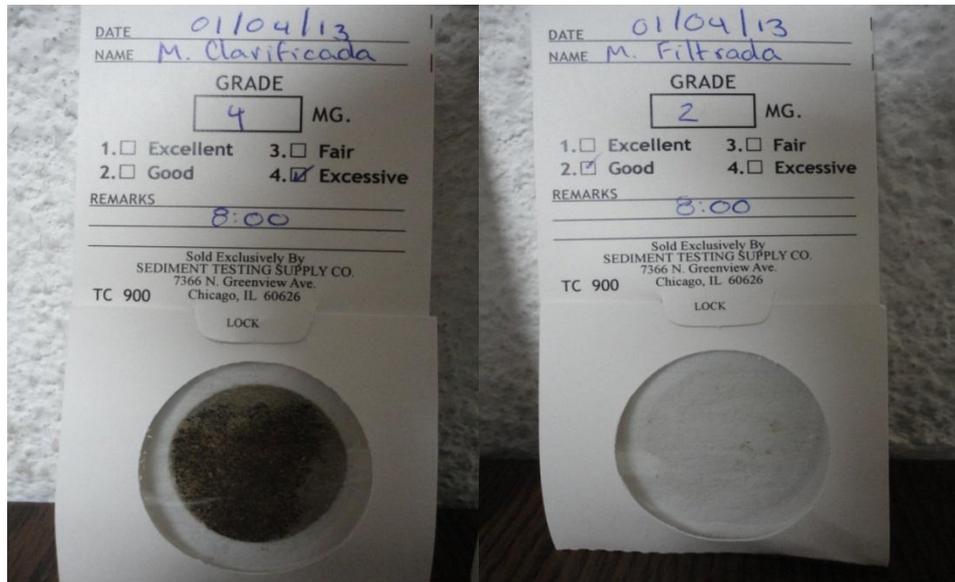
Fuente: Laboratorio de Fábrica, Ingenio Concepción S. A.

Figura 28. **Sólidos insolubles**



Fuente: Laboratorio de Fábrica, Ingenio Concepción S. A.

Figura 29. Test de sedimentos

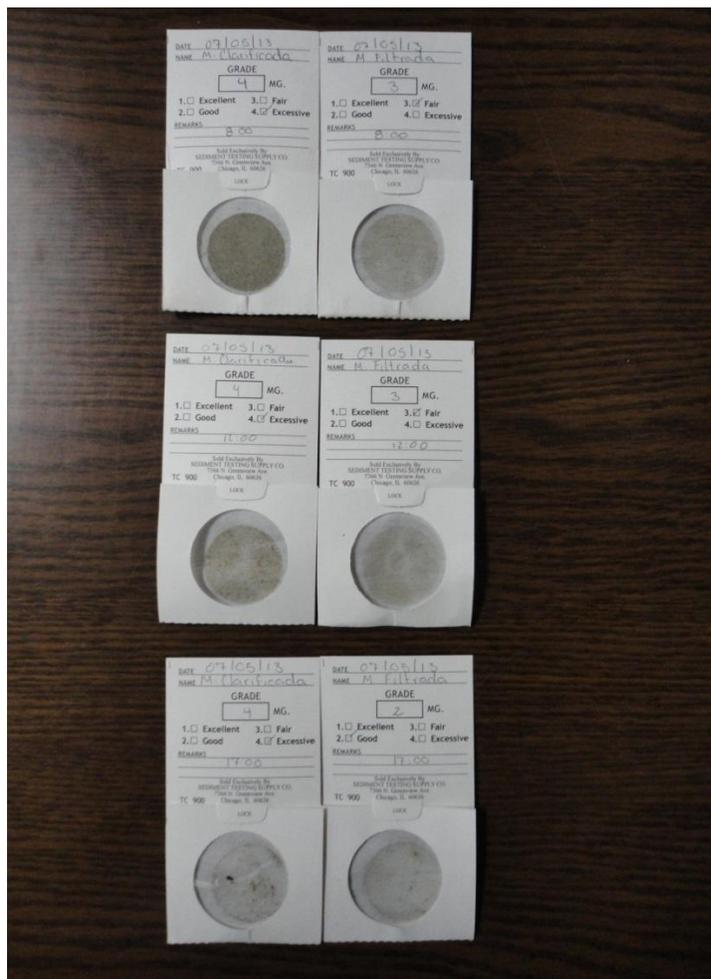


Fuente: Laboratorio de Fábrica, Ingenio Concepción S. A.

Prueba de meladura sin clarificar

El último día de zafra se realizó una prueba, haciendo pasar meladura sin clarificar por el filtro de banda. Una fotografía de los test de sedimentos realizados durante la prueba se muestra a continuación.

Figura 30. **Análisis de sedimentos en meladura a la entrada y salida del filtrado durante la prueba con meladura sin clarificar**



Fuente: Laboratorio de Fábrica, Ingenio Concepción S. A.

Figura 31. **Vista de la banda del filtro antes de la prueba con meladura sin clarificar**



Fuente: Ingenio Concepción, S. A.

Figura 32. **Vista de la banda del filtro durante la prueba de meladura sin clarificar**



Fuente: Ingenio Concepción, S. A.

Caracterización del agua utilizada en el lavado de la banda del filtro

Tabla XXXIX. Pureza del agua de lavado del filtro de banda

No. Muestra	Brix	Pol	Pureza
1	2,72	2,34	86,02941
2	2,78	2,35	84,53237
3	2,79	2,32	83,15412
4	3,02	2,48	82,11921
5	2,93	2,41	82,25256
6	2,78	2,22	79,85612
7	2,37	1,97	83,12236
8	2,02	1,65	81,68317
9	2,39	2,03	84,93724
10	2,44	2,05	84,01639
11	2,35	1,99	84,68085
12	2,55	2,16	84,70588
13	2,15	1,78	82,7907
14	3,06	2,57	83,98693
15	2,48	2,07	83,46774

Fuente: elaboración propia, análisis realizados en Laboratorio de Fábrica, Ingenio Concepción S. A.

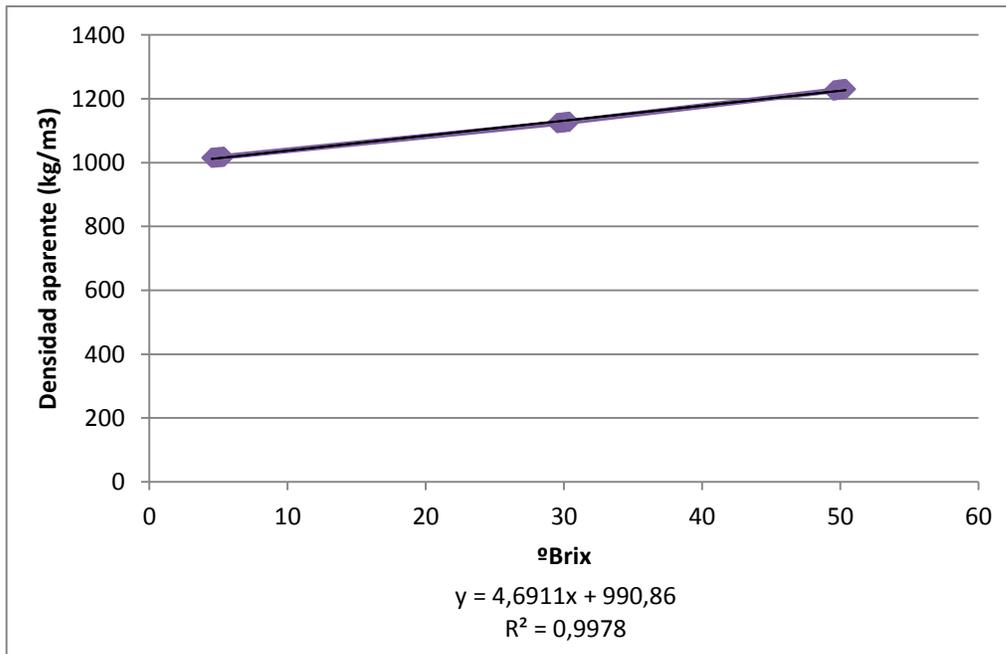
ANEXOS

Tabla XL. **Rango de color, pesos y longitud de celda para el análisis de color de meladuras y azúcar blanco**

Rango de color ICUMSA	Muestra (g)	Agua (g)	Longitud de celda (cm)
100-200	50±0,1	50±0,1	5
250-500	30±0,1	70±0,1	5
250-500	50±0,1	50±0,1	2
500-2000	30±0,1	70±0,1	1
2000-7000	10±0,1	90±0,1	1
7000-13000	5±0,1	95±0,1	1

Fuente: Instructivo Calidad de Conformidad Industrial. Instructivo para el ensayo de color y turbidez a pH 7. 7-LA-I001. Laboratorio de fábrica, Ingenio Concepción S. A.: 2010..

Figura 33. **Correlación lineal de la densidad aparente de una solución azucarada y su respectivo brix**



Fuente: elaboración propia con datos de la tabla XL.

Tabla XLI. **Densidad aparente de soluciones azucaradas a 20°C**

Brix	Densidad (kg/m³)	Brix	Densidad (kg/m³)	Brix	Densidad (kg/m³)
4,5	1014,80	29,5	1123,56	49,50	1225,80
4,6	1015,20	29,6	1124,04	49,60	1226,34
4,7	1015,60	29,7	1124,51	49,70	1226,89
4,8	1016,00	29,8	1124,99	49,80	1227,44
4,9	1016,40	29,9	1125,46	49,90	1227,99
5,0	1016,80	30,0	1125,94	50,00	1228,54
5,1	1017,19	30,1	1126,42	50,10	1229,64
5,2	1017,59	30,2	1126,90	50,20	1229,64
5,3	1017,99	30,3	1127,37	50,30	1230,19
5,4	1018,39	30,4	1127,85	50,40	1230,74

Fuente: elaboración propia con datos de la Tabla SPS-4 ICUMSA, 1998.

Tabla XLII. **Tabla de valores de F para la distribución de Fisher**

$1-\alpha=0.9$

v_1 = grados de libertad del numerador

$1-\alpha=P(F \leq f_{\alpha, v_1, v_2})$

v_2 = grados de libertad del denominador

$v_1 \backslash v_2$	1	2	3	4
90	2,762	2,363	2,146	2,056
100	2,756	2,356	2,139	2,002
200	2,731	2,329	2,111	1,973

Fuente: elaboración propia con datos de la tabla de Fisher.