



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

**MEJORAMIENTO DEL COLOR DEL AZUCAR, POR MEDIO DE LA
CLARIFICACION DE LA MELADURA**

**TESIS
PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS**

**POR
ERIK JAVIER MALDONADO VELASQUEZ**

PREVIO A OPTAR AL TITULO DE INGENIERO QUIMICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 1996

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

08
T(3847)
C4

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con lo establecido por la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

MEJORAMIENTO DEL COLOR DEL AZUCAR, POR MEDIO DE LA CLARIFICACION DE LA MELADURA

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química.


ERIK JAVIER MALDONADO VELASQUEZ

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Herbert René Miranda Barrios
VOCAL PRIMERO:	Ing. Miguel Ángel Sánchez Guerra
VOCAL SEGUNDO:	Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano
VOCAL TERCERO:	Ing. Juan Echeverría
VOCAL CUARTO:	Br. Fernando Waldemar De León Contreras
VOCAL QUINTO:	Br. Pedro Ignacio Escalante Pastor
SECRETARIO :	

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Julio Ismael González Podszueck
EXAMINADOR:	Ing. Julio Chávez
EXAMINADOR:	Ing. Rodolfo Espinoza Smith
EXAMINADOR:	Ing. José Manuel Tay Oroxóm
SECRETARIO:	Ing. Francisco González López

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



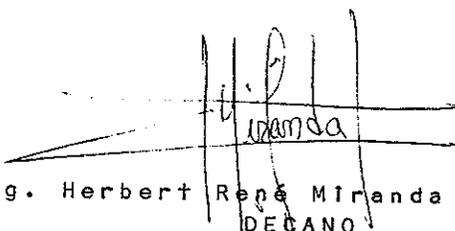
FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

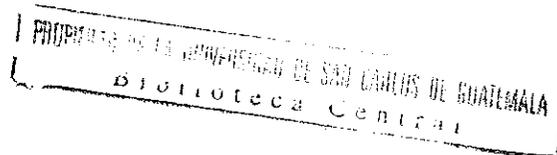
Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de Tesis titulado: **MEJORAMIENTO DEL COLOR DEL AZUCAR POR MEDIO DE LA CLARIFICACION DE MELADURA**, del estudiante **ERICK JAVIER MALDONADO VELASQUEZ**, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:


Ing. Herbert René Miranda Barrios
DECANO

Guatemala, 7 de noviembre de 1,996.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Química, después de
conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Jefe de
Departamento, al trabajo de Tesis del estudiante; **ERICK JAVIER
MALDONADO VELASQUEZ**, titulado: **MEJORAMIENTO DEL COLOR DEL AZUCAR
POR MEDIO DE LA CLARIFICACION DE MELADURA**, procede a la
autorización del mismo.


Dr. Adolfo Gramajo
DIRECTOR
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA


Guatemala, 7 de noviembre de 1,996.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 28 de octubre de 1,996.

Doctor
Adolfo Gramajo
Director Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Doctor Gramajo.

Por medio de la presente hago de su conocimiento, que he
revisado el Informe Final de Tesis titulado: **MEJORAMIENTO DEL
COLOR DEL AZUCAR, POR MEDIO DE LA CLARIFICACION DE LA MELADURA;**
del estudiante **ERIK JAVIER MALDONADO VELASQUEZ**, dejo constancia de
mi aprobación, para proceder a la autorización del respectivo
trabajo.

Agradeciendo la atención que sirva dar a la presente, le
saluda.

Atentamente.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Rodolfo Espinosa Smith
REVISOR

Guatemala, 17 de octubre de 1996

Señor Director
Escuela de Ingeniería Química
Dr. Adolfo Gramajo
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:

Por medio de la presente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que he tenido a la vista el informe final de tesis del estudiante Erik Javier Maldonado Velásquez, titulado **"Mejoramiento del Color del Azúcar, por medio de la Clarificación de Meladura "** el cual cumple con los requisitos para su aprobación final.

Sin otro particular, atentamente



Edgar Armando Barillas Rodas
Ingeniero Químico
Colegiado 291

PROPIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DIRECCIÓN GENERAL

ACTO QUE DEDICO

- A DIOS:** Arquitecto del universo que me brindo entendimiento para alcanzar esta meta.
- A MIS PADRES:**
Hada Haydeé Velásquez Estrada
Como una muestra de amor a todo el esfuerzo que me dedicó.
Melgen Roberto Mérida Diaz
Como una ofrenda espiritual por todos tus buenos consejos.
Erik de Jesús Maldonado Arreaga
Por haberme traído a este Mundo.
- A MIS HERMANOS:** Otto Rolando, Hada Judith, Rosario y Elsa
Por apoyarme en todo momento.
- A MI HIJA:** Edna Haydeé
Recibe los aplausos del triunfo, como suenan en mis oídos las risas que provocas con tus travesuras.
- A MI ESPOSA:** Edna Raquel
Por el apoyo, paciencia y amor que me has demostrado.
- A MIS SOBRINOS:** Pablo Rolando, Elsa Lissette y Otto Alejandro
Por ser especiales en mi vida.
- A MI FAMILIA EN GENERAL** A todos con especial cariño.
- A MIS CATEDRATICOS:** Martha Ixquiaptap, Ing. Carlos Jacobsthal
Ing. Edwin Mazariegos, Ing. Walter Carrillo
Ing. Juan José Corado
Por sus sabias enseñanzas.
- A MIS AMIGOS:** Juan José Ovalle, Fernando Franco, David Moya
Byron de la Peña, Oscar Rossal, Dina Estrada,
Brenda Rosales, Jorge Gomez, Carmen Palacios,
Sergio Archila, Karen Aguilar, Indira Marroquín
Luis Najera.
Como una muestra de cariño.
- A LAS FAMILIAS:** Ovalle García, Franco, Moya Gonzales, Siliezar
Arriola, De la Peña Orellana
Por su apoyo en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

A LA FACULTAD DE INGENIERIA

A LA ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

A EL COLEGIO SAN SEBASTIAN

Por otorgarme los conocimientos necesarios para servir a mi patria
Guatemala.

A LAS EMPRESAS

LANCASCO S.A.

Donde inicie mi carrera profesional.

INGENIO MAGDALENA S.A.

Por autorizarme dejar desarrollar mi investigación de campo

A MIS PADRINOS DE GRADUACION:

Dr. Otto Rolando Cano Velásquez

Dra. Rosario Irene Mérida Díaz

Dr. Alfredo Ovalle

Ing. Oscar Eduardo Rossal Oliva

Ing. Dinna Lissette Estrada Moreira

Por su motivación y apoyo.

CONTENIDO

Resumen	1
Introducción	2
Capítulo 1	
Color	3
1. Definición	3
2. Origen del color que se presenta en el Azúcar	4
2.1 Agentes que producen color	4
2.2 Mecanismos de la formación de color	5
2.3 Compuestos químicos identificados	6
Capítulo 2	
Eliminación del color	7
2.1 Aereación	7
2.1.1 Mecanismos de aereación	10
2.2 Calentamiento	11
2.3 Floculación y flotación	11
2.3.1 El clarificador	14
2.3.1.1 Clarificador Williamson	15
2.3.1.2 Clarificador Jacobs	15
2.3.1.3 Clarificador Talo	16
2.4 Tratamiento químico	16
2.4.1 Peróxido de Hidrógeno	17
2.4.2 Agua Sulfitada	17
2.4.3 Cal	17
2.4.4 Hidrosulfito de Sodio	18

2.4.5 Acido Fosfórico

18

Capítulo 3

Materiales y Métodos	19
1. Métodos de muestreo y análisis estadístico	20
2. Métodos de análisis químico	20
2.1 Brix refractométrico	20
2.2 Pol de la meladura	20
2.3 Color del azúcar (ICUMSA 4)	21
2.4 Claridad y turbidez de meladura	23
2.5 Medición de pH	25
3 Métodos matemáticos	25
Resultados	26
Discusión	27
Conclusiones	30
Recomendaciones	31
Referencias	32
Anexos	34

GLOSARIO

Abatimiento. Es la cantidad porcentual, que disminuye una variable en función de su valor de entrada.

Arrastre de magma. Es la acción de mezclar la magma "B" y/o magma "C" con la meladura.

Brix. Es la cantidad de sólidos disueltos en una solución.

Cocimiento de masa. Es la obtención de la sacarosa, por medio de la cristalización.

Magma "B". Es la solución que tiene más sacarosa en una centrifugación de masa segunda.

Magma "C". Es la solución que tiene más sacarosa en una centrifugación de masa tercera.

Método de referencia interna. Es aquél que sólo es válido dentro del ingenio, ya que su uso no es universal.

Tachos. Son evaporadores de un sólo efecto; es donde se hace el cocimiento de las masas.

RESUMEN

En el proceso de obtención de azúcar blanco, se puede utilizar la clarificación de meladura para obtener un color más bajo. Por lo tanto, se hizo un análisis de los parámetros de abatimiento de la meladura y del color ICUMSA 4 del azúcar, además de otros, por ejemplo, turbidez de la meladura.

La forma como se realizó la medición de los parámetros fue de cuatro corridas por día, los cuales, fueron sometidos a un análisis estadístico, para demostrar la validez de los métodos químicos que se utiliza en el laboratorio.

Se llegó a que el abatimiento de la meladura y el color ICUMSA 4 del azúcar, guardan un comportamiento lineal, dentro de los rangos evaluados.

El lugar donde se desarrolló la investigación fue en el Ingenio Magdalena, S.A., el cual, está ubicado en el municipio La Democracia, departamento de Escuintla, en el período de la zafra 95-96, durante 36 días. Por lo que, en el presente trabajo se empleará indistintamente el término de "ingenio", para referirse al lugar de investigación mencionado, a no ser que se indique lo contrario.

INTRODUCCION

En la actualidad, las tendencias económicas conducen a alcanzar niveles de competitividad y excelencia en los procesos productivos, siendo necesario ofrecer al consumidor un producto que satisfaga sus exigencias y gustos. Es por ello que en el proceso de obtención del azúcar, la clarificación de meladura es fundamental para obtener un producto de calidad y de bajo color.

El color es un parámetro que se debe controlar en toda la parte del proceso industrial de la obtención del azúcar, ya que es influenciado por varios factores perjudiciales que, fácilmente, se involucran en el proceso.

En la clarificación de meladura, el color de ésta sufre un abatimiento, por lo que es un parámetro que se comparó con el color ICUMSA 4 del azúcar, y guardan entre sí, un comportamiento lineal por medio de la ecuación $LU. = -18.5(\%) + 422$, con una desviación standard de ± 4.32 I.C. y un rango de abatimiento de meladura entre 0.7 y 9.022 %.

Además, se presenta el diagrama de flujo del proceso de clarificación de meladura que se desarrolla en el ingenio, y se indican las recomendaciones que se le hacen a dicho proceso.

Es necesario que se realicen este tipo de investigaciones, para que la industria azucarera se fortalezca con estudios propios y le sirva de base para futuras mejoras en el proceso.

CAPITULO 1

COLOR

1. DEFINICION :

Para definir lo que es el color en la industria azucarera, es importante hacer énfasis en que dicho concepto ha sido utilizado en base al aspecto visual que presenta al ojo humano. Además, en el transcurso del desarrollo de dicha industria, se ha ido conceptualizando de mejor forma lo que es el color.

También se está midiendo la materia colorante que está presente en los productos del azúcar. Esta materia colorante es la que se trata de eliminar durante el proceso de clarificación de meladura, haciendo la salvedad que éste es complementario a los demás procesos que se usan para obtener azúcar de alta calidad de bajo color.

De lo anterior, se define color como: El valor de la absorción de radiación visible por parte de la solución en estudio.¹

Por otro lado, ICUMSA², para normalizar el concepto de color, lo define de la siguiente manera:

Color es el valor del índice de absorbancia multiplicado por 1000; el valor resultante es designado como unidad ICUMSA (L.U.);

$$LU. = aa * 1000 = As/(bc) * 1000$$

Donde:

As = Absorbancia

b = Largo de la celda

c = Concentración de la solución.

1. Referencia 3, p 410

2. Referencia 2, p 739

2. ORIGEN DEL COLOR QUE SE PRESENTA EN EL AZUCAR:

2.1 Agentes que producen color:

Los agentes a los que se refiere este inciso, son todos aquellos que se presentan, tanto en la siembra como en la producción de la caña de azúcar, los cuales se pueden clasificar de la siguiente manera:³

2.1.1 Flavonoides y polifenoles, principalmente derivados de la tirosina. Los complejos de polifenol ferroso de alto color, el cual, es formado por la combinación entre el hierro y complejos fenólicos, como el 3-4 dihidroxifenilalanina (dopa).

2.1.2 Sustancias en la caña, que son normalmente sin color; pero, que desarrollan color después de la extracción de jugo. Esto se debe a que existen pigmentos que absorben la luz en la longitud de onda visible y que son liberados dentro del jugo extraído durante la molienda.

2.1.3 Los que se derivan de la descomposición de productos azúcares.

2.1.4 Melaninas, que son producto de la oxidación y condensación del dopa.

2.1.5 Melanoidinas, que son producidas por la reacción Maillard, que es entre compuestos carboxílicos y aminos.

3. Referencia 10, p 2056.

El color es atribuido típicamente como moreno no enzimático y moreno enzimático. Entre el primero, se incluye:

- Agentes que pueden ser producidos por reacciones no biológicas, en que los contribuyentes de la planta sin color reaccionan para formar melanoïdinas.
- La degradación térmica y reacción de condensación del azúcar, formando caramelo.
- La degradación alcalina y reacción de condensación del azúcar.

El atribuido al moreno enzimático no es más que los agentes que se originan de la oxidación de componentes polifenólicos, actuando las enzimas como catalizadores. En esta parte, se clasifican a los del inciso 2.1.1.⁴. Entre las enzimas, están el o-difenol y la óxido reductasa.

2.2 Mecanismo de la formación del color:

Aunque el mecanismo de formación de pigmentos difiere en la naturaleza por los sustratos específicos, todos se originan de la siguiente manera:

- Se inicia con la oxidación de un o-difenol en un compuesto más activo: o-diquinona.

4. Referencia 10, p 2063.

- Los pigmentos y colorantes de alto peso molecular son formados en la subsiguiente reacción química en que las quinonas participan.
- Las reacciones siguientes pueden resultar de una simple polimerización de las quinonas.
Alternativamente, se pueden desarrollar reacciones con aminoácidos o grupos amino de proteínas, como se muestra en la figura 1, sección anexos.

2.3 Compuestos químicos identificados:

- Entre los principales componentes fenólicos que se encuentran en el extracto de los tejidos de la caña, han sido identificados: el ácido clorogénico y el ácido cafeico.
- Aminoácidos presentes: Cistino, Histidino, Hisino, Arginino, Aspártico, Serino, Glicino, glutámico, alanino, prolino, metionino, valino, fenilalanino, isoleucino y leucino.

CAPITULO 2

ELIMINACION DEL COLOR

Al referirse sobre eliminación de color, es sobre la disminución de la materia colorante presente en el azúcar. El proceso de clarificación de meladura tiene como objetivo, decolorar, flocular y eliminar las impurezas presentes. Este proceso no se utiliza como un instrumento correctivo de la clarificación de jugo, sino para obtener azúcar de alta calidad con bajo color. Es importante hacer ver que, para obtener resultados eficaces de la clarificación de la meladura, los sólidos insolubles contenidos en ésta, no deben tener un tamaño mayor de 100 micrones. A continuación, al referirse al término de "clarificación", se estará enfocando exclusivamente a la clarificación de la meladura.

La clarificación, como un proceso industrial particular, está conformada por las siguientes etapas:

1. Aereación
2. Calentamiento
3. Floculación y flotación
4. Tratamiento químico.

El orden en que se presentan las etapas, es el que se utiliza en el ingenio. Aunque la etapa 4 se desarrolla durante la evolución del proceso de clarificación, se le hizo aparte, con el objeto de analizarlo por separado.

2.1 AEREACION:

Las burbujas de aire son introducidas a la meladura, con el objeto de formar una emulsión antes de entrar al clarificador, esto permite que los flóculos y las impurezas sólidas, sean atacadas por las burbujas, y se eleven juntamente, formen una espuma y sean recogidas por un raspador.

El tamaño y el número de las burbujas de aire tienen gran influencia en la estabilidad y velocidad de flotación; esto se explica físicamente de la siguiente manera:⁵

La fuerza para que un cuerpo flote en un líquido, está dada por:

$$F1 = V(\rho1 - \rho2) \quad (3.1)$$

donde:

F1 = Fuerza aplicada a un cuerpo

V = Volumen del cuerpo

$\rho1$ = Densidad del líquido

$\rho2$ = Densidad del cuerpo.

La resistencia para un cuerpo en movimiento está dada por:

$$F2 = Cp2Av/(2g) \quad (3.2)$$

donde:

F2 = Fuerza de resistencia

C = Coeficiente de resistencia de movimiento

A = Area seccional del cuerpo

v = Velocidad del cuerpo

g = Gravedad.

El coeficiente de resistencia de movimiento se define como:

$$C = 24/Re \quad (3.3)$$

donde:

Re = Número de Reynolds

5. Referencia 9, vol 92, año 1990, p 98.

De las relaciones 2.1 a 2.3, se puede deducir que la velocidad de subida de una burbuja de aire en un líquido, está determinada por el tamaño y las propiedades del líquido.

Por lo anterior, se hace necesario que exista un buen proceso de inyección de burbujas, para que todas tengan un tamaño uniforme y no desestabilicen la etapa de flotación.

En los procesos azucareros, es recomendable que las burbujas de aire tengan un diámetro de 50 micrómetros, para flotar en una solución de azúcar de 60 °Brix, obteniendo a una temperatura entre 60-80 °C, una velocidad de 2 cm/min.

Para que una meladura se considere satisfactoriamente aireada, es necesario que, durante 2 minutos, se mantenga con bastantes burbujas de aire en su interior, después de haberla calentado.⁶

Cuando existen variaciones en el brix de meladura, se deben variar los parámetros arriba citados, de manera que el proceso de flotación no sea afectado.

Las recomendaciones para que la aireación sea eficiente, con respecto a las burbujas, son:

- Las burbujas tienen que tener un tamaño microscópico, para que puedan ocluirse en el flóculo, y no causen turbulencia en el clarificador e interfieran con la flotación de los flóculos. El tamaño debe oscilar entre 30 y 50 micrones.
- La cantidad de burbujas debe ser controlada cuidadosamente, ya que si hay en exceso, incrementan el volumen de la espuma flotante y por ende, el efecto en cierto porcentaje del floculante. La relación de volumen de burbujas de aire y licor, debe ser entre 0.5 y 1 %, y la relación de aire con sólidos, debe estar alrededor del 3 %.

6. *ibid*, p 98.

La solubilidad del aire en la meladura es directamente proporcional a la presión en que la mezcla es comprimida e inversamente proporcional a la temperatura, lo cual, favorece a la formación de burbujas dentro de la meladura. La presurización es usualmente efectiva a 60-100 psig con un tiempo de retención de 3-5 min.⁷

Se ha discutido sobre la influencia que tienen las burbujas de aire en el proceso de clarificación; a continuación se detallará los mecanismos que existen para inyectarlas a la meladura.

2.1.1 *Mecanismos de aereación:*

Se han utilizado varios mecanismos de aereación en el proceso de clarificación. En años recientes, la aereación de la meladura se ha hecho por la inyección de aire comprimido directamente, y también haciendo pasar parte de la meladura a un tanque que tenga un inyector para succionar aire y, luego, mezclar dicha parte con el total. Estos dos métodos tienen el inconveniente que forman burbujas grandes.

El uso de una bomba centrífuga, con algunas modificaciones, para que inyecte el aire; pero, por las características del funcionamiento de la bomba, inyecta burbujas muy inestables por la turbulencia formada.

La forma como se aerea la meladura en el ingenio, es a través de un aereador presurizado del tipo submarino. La meladura fluye a través de la abertura periférica de la bandeja en la parte superior, y es expuesta a una presión de aire de 70 psi. La reducción de presión de 70 psi a la atmosférica y la elevación de temperatura de 60 a 90 °C provoca que el aire salga de la solución en el clarificador en forma de espuma muy estable.

7. Referencia 2, p 542.

2.2 CALENTAMIENTO:

Como se mencionó en el último párrafo, a la meladura, después de ser aereada, se le eleva su temperatura para que, cuando entre a la etapa de flotación, las burbujas ocluidas en el flóculo, puedan elevarse con mayor facilidad.

Esta facilidad está en función de la solubilidad del aire en la meladura, la cual, como se dijo anteriormente, disminuye con el aumento de temperatura. La temperatura recomendada, a la cual, se debe elevar, es de 85 °C.

Para calentar la meladura, se utiliza un intercambiador de calor de concha y tubos.

2.3 FLOCULACION Y FLOTACION:

El proceso de flotación es una tecnología altamente eficiente para separar las partículas sólidas en el líquido, con el objeto de removerlas o recuperarlas de éste, por medio de la adición de burbujas de aire y floculante.

El proceso de flotación trabaja con el principio de formación de burbujas y de agregados de densidades bajas, que hacen que más rápido, los flóculos formados floten.

El factor más importante para esta etapa de flotación, es que todas las partículas sólidas sean atacadas uniformemente por las burbujas de aire, las cuales son determinadas por factores físico químicos y parámetros hidrodinámicos. (Ver sección 3.1)

Físico-químicamente, las propiedades de la superficie de las partículas sólidas pueden ser divididas en dos clases: las **hidrofóbicas** y las **hidrofilicas**. Las partículas con superficies hidrofóbicas, por sí mismas, repelen el agua de su superficie y tienden a adherirse a las burbujas de aire por su propia naturaleza. Por lo tanto, éstas pueden ser atacadas completamente por las burbujas y elevarse conjuntamente en forma espontánea. Por el contrario, las hidrofilicas son afines con el agua, por lo que no se adhieren

fácilmente a las burbujas de aire y son difíciles de flotar.

Gochin⁸ señala que la mayoría de todos los sólidos naturales presentes y los precipitados químicos inorgánicos, tienen superficies hidrofílicas y, por lo tanto, son invariablemente inflotantes. Esto es aplicable también a la meladura: muchos materiales insolubles son coagulantes de coloides orgánicos y sales de calcio, que son sustancias típicas que tienen superficies hidrofílicas; la experiencia ha demostrado que no son fáciles de flotar.

De lo anterior, se concluye que el fosfato de calcio tiene una característica, que puede flocular espontáneamente en formas que tienen estructuras sueltas, con una abundancia de cavidades. En el curso de la formación de flóculos, algunas otras partículas sólidas, como impurezas, pueden bloquearse internamente y, éstos, fijarse juntos. Esto explica por qué el fosfato es muy efectivo en remover materias suspendidas (incluyendo partículas químicamente inertes).

Simultáneamente, en el curso de la floculación, las partículas de fosfato de calcio pueden también ocluir diminutas burbujas de aire, formando flóculos que tengan una densidad más baja que la del líquido.

Para superar lo anterior, fueron realizadas varias investigaciones, entre las que sobresale la de Hon Sun⁹. De éstas, se obtuvo un proceso de alta eficiencia; esto, gracias al uso de poliacrilaminas. Varios floculantes usados en la industria azucarera, son copolímeros de acrilamina y ácido acrílico; este último compuesto, usualmente, es incluido en un 20 - 30 %.

8. Referencia 9, año 1990, vol 92, p 97.

9. *ibid*, p 98.

Es de hacer ver que, al incrementar la dosis de floculante, la velocidad de elevación del flóculo también se incrementa. A pesar de ello, la dosis de floculante requerida para el proceso, no sólo depende de la variedad del floculante, sino también del arreglo del proceso.

Existe el inconveniente que, al aerear la meladura antes de agregar el floculante, algunas burbujas desaparecen en el curso del proceso. Por lo tanto, la mayoría de procesos de clarificación incluyen dos etapas de floculación, que son denominadas: primaria y secundaria, tomando como base la aereación de la meladura.

Otro punto que hay que tomar en cuenta, es la mezcla entre el floculante y la meladura, ya que algunas veces es descuidada en la práctica. Esto es, porque la solución del floculante es muy viscosa y no se hace fácil que se disperse uniformemente en la meladura, la cual, también es viscosa. Es de hacer ver que, mezclas incompletas conducen a distribuciones desiguales y descenden indistintamente el efecto del floculante.¹⁰

Para evitar lo anterior, hay sistemas en que la solución floculante es agregada dentro de la tubería que lleva la meladura antes de entrar al clarificador, lo que hace que el floculante siempre se disperse en toda la meladura. Otro sistema, el floculante es agregado en la salida del rebosadero de un contenedor colocado antes del clarificador, en el cual, se consigue una gran turbulencia, y la mezcla se hace mejor. Este sistema tiene el problema que succiona aire desde la apertura del sobreflujo, el cual, produce burbujas grandes, que afectan seriamente el proceso. (Ver sección 3.1)

El floculante, que es un surfactante catiónico, debe tener las siguientes propiedades moleculares:¹¹

10. *ibid*, p 100.

11. Referencia 2, p 598.

1. Un centro catiónico suficientemente fuerte de carga, para formar una atracción permanente con la carga débil aniónica del colorante.
2. Una cadena de hidrocarburos grasosa, que sea suficientemente hidrofóbica para cubrir el agua e insolubilizar el colorante.
3. Un buen balance entre el centro catiónico y el componente grasoso del hidrocarburo, para permitir que el surfactante esté preparado para dispersarse bien en la meladura.

La forma como ataca el floculante a la materia colorante, se muestra en la figura 2, sección anexos.

2.3.1 *El Clarificador:*

Este es el equipo principal del proceso de clarificación y, obviamente, se han diseñado muchos en la industria azucarera. Los de mayor uso son: Williamson, Jacobs, Bulkley-Dunton, Saranin y el Talo.¹² Algunos diseños son circulares y otros son rectangulares, varios son de una capa sencilla y otros son multicelulares. Aunque todos tienen estructuras diferentes, sus principios básicos son similares.

El objetivo del proceso, es obtener alta calidad de meladura clarificada con una velocidad alta de separación y un corto tiempo de retención, conjuntamente con un volumen pequeño de espuma concentrada.

La obtención de dichos objetivos está en función, principalmente, de un tratamiento previo antes del clarificador; pero, también depende del trabajo del clarificador y su construcción.

12. Referencia 5, p 69.

En el presente trabajo, serán detallados tres tipos de clarificadores: el de Williamson, por ser el que patentó el clarificador de meladura, el de Jacobs y el de Talo, por ser los que son utilizados en el ingenio.

2.3.1.1 *Clarificador Williamson:*

Este lo inventó George Williamson, en 1918. La meladura tratada y aereada entra por un extremo del clarificador a través del mismo, mientras que la temperatura aumenta, hasta que llega a 96 - 99 °C en el extremo de la salida. El licor claro defecado, se extrae por tuberías situadas en el cuerpo del clarificador, y las natas pasan a una canal de lodos. El modelo original del clarificador tenía una capacidad aproximada de 1000 galones por hora. Este clarificador se muestra en la figura 3

2.3.1.2 *Clarificador Jacobs:*

En lo único que es diferente este clarificador al de Williamson, es que tiene un removedor de espuma por medio de una aleta rotativa en vez del rodillo original; la extracción de la misma es por medio de un arrastrador de lodo, que corre por el largo del clarificador. La extracción continua de la capa de lodo tiende a echar partículas de precipitado al licor, y elimina una superficie aislante valiosa, con lo que hace que la calefacción uniforme resulte mas difícil. La experiencia lograda durante muchos años ha demostrado que la forma del clarificador importa muy poco, excepto en lo que respecta a capacidad. Este clarificador se muestra en la figura 4.¹³

13. Referencia 8, p 384

2.3.1.3 Clarificador Talo:

Consiste en un cuerpo cilíndrico vertical, que está formado por una cámara central de retención de floculación, compuesta de baffles estáticos, para dar una agitación leve. La meladura clarificada se eleva por la cámara central y rebalsa sobre esta cámara del clarificador. La espuma es removida continuamente por la rotación de un rastrillo de espuma, y la meladura clarificada es continuamente reservada en la parte de abajo de la cámara de flotación, mediante un cajón. Este se muestra en la figura 5.¹⁴

2.4. TRATAMIENTO QUIMICO:

El término de tratamiento químico encierra a todos los compuestos químicos, que son utilizados como agentes decolorantes en el proceso de clarificación.

En el mercado existen diversos agentes decolorantes. Para fines de este trabajo, sólo se entrará a analizar aquéllos que están directamente involucrados en el proceso que se está investigando, los cuales son:

2.4.1 Agua oxigenada

2.4.2 Agua azufrada

2.4.3 Cal

2.4.4 Hidrosulfito de sodio

2.4.5 Acido fosfórico.

14. Referencia 7, p 3.

2.4.1 Peróxido de Hidrógeno:

El peróxido de hidrógeno, agua oxigenada, dice Richard Riffer¹⁵, oxida las sustancias formadoras de color, para formar un intermediario no reactivo que sea incapaz de formar color. Dicho compuesto también puede abrir sitios insaturados de los ácidos carboxílicos formadores de color. Y también oxida a los compuestos fenólicos en quinonas y productos acídicos. Este agente decolorante trabaja mejor en pH alcalinos.

2.4.2 Agua Sulfitada:

Esta se forma por medio de quemar azufre elemental con una cantidad regulada de oxígeno, con lo cual se forma el gas anhídrido sulfuroso. Luego, se hidrata y forma el ácido sulfuroso. Este es el que va mezclado con el exceso de agua. A esto último, es a lo que se le denomina "agua sulfitada".

El ácido sulfuroso tiene las característica de reaccionar con pigmentos vegetales, cambiando la estructura de éstos a estructuras incoloras (blanqueo).

2.4.3 Cal:

La cal se utiliza para neutralizar algún ácido orgánico, que pueda contener la meladura; además, que se utiliza para ser un estabilizador del pH.¹⁶

15. Referencia 9, año 1992, Vol. 94, p 110.

16. Referencia 4, p 178.

2.4.4 Hidrosulfito de Sodio:

Este se utiliza, cuando se aplica el Peróxido de Hidrógeno. Tiene el objetivo de eliminar algún complejo ferroso, originado por la acción corrosiva de dicho compuesto.

2.4.5 Acido Fosfórico:

El tratamiento con fosfatos extrae los polifenoles de hierro, que producen un color pardo verdoso a la meladura. Al hacer un tratamiento conjunto con cal, primero, se neutralizan los ácidos orgánicos existentes en la meladura y, después, se forma el fosfato tricálcico, el cual, causa la coagulación y precipitación de los no-azúcares orgánicos, con la mayor parte de las gomas, albúminas y pectinas. Dicho precipitado ocluye mucha materia coloidal, y extrae una cantidad apreciable de materia colorante.¹⁷

17. Referencia 8, p 377.

CAPITULO 3

MATERIALES Y METODOS

Se ha establecido un procedimiento para el presente trabajo, el cual, incluye, en su orden, el uso de los siguientes métodos de referencia interna:

1. Métodos de Muestreo y Análisis Estadístico:

Son los que indican la manera como se tomaron las muestras en el área de clarificación de meladura, incluyendo la parte estadística, es decir: la media aritmética, la desviación standard y el análisis del rechazo de los datos obtenidos.

a) **Método de muestreo:**

Fueron tomadas muestras cada 4 horas por día de los siguientes materiales:

- *Meladura no clarificada:* Esta muestra se obtuvo de la meladura que sale del último cuerpo del sistema de evaporación.
- *Meladura Clarificada:* La muestra se tomó en el medidor de nivel del tanque del clarificador de meladura.
- *Azúcar:* Este material se muestreo al salir del secador rotatorio.

b) **Análisis Estadístico:**

Como se muestreó cada 4 horas por día, se tomó un valor representativo por día, por lo que fue necesario tomar la media de la muestra y la desviación standard de la misma.¹⁸ El análisis de rechazo de datos de las corridas para determinar el dato representativo, se hizo de acuerdo a la referencia 1, p 132.

18. Referencia 6, sección 2-86 y 2-87.

2. Métodos de Análisis Químico:

Son los análisis refractométricos, volumétricos y gravimétricos que fueron desarrollados en el presente estudio.

2.1 Brix Refractométrico:

Cristalería y Equipo:

- 1 Refractómetro
- 1 Embudo
- 1 Papel filtro (recomendable, grado 226)
- 1 Beaker de 100 ml.

Procedimiento:

- 1) Filtrar la muestra.
- 2) Colocar en la unidad óptica del refractómetro, la cantidad de muestra necesaria para tomar la lectura.
- 3) Leer el brix indicado en el refractómetro.

Cálculos:

Brix = Lectura refractométrica.

2.2 Pol de la Meladura:

Cristalería y Equipo:

- 1 Polarímetro electrónico, con medición en la escala internacional ICUMSA° Z
- 1 Papel filtro (recomendable, grado 226)
- 1 Tubo de polarizar de 200 mm.
- 1 Embudo
- 1 Erlenmeyer de 250 ml.

Reactivos:

Subacetato de Plomo

Agua destilada

Procedimiento:

- 1) Pesar en una cápsula de acero inoxidable, 26 g de meladura, y agregarlos a un balón de 100 ml. Lavar la cápsula con agua destilada, transfiriendo los lavados al balón. Aforar con agua destilada, a 20 °C.
- 2) Adicionar subacetato de plomo en cantidad suficiente para una buena clarificación y agitar bien, hasta obtener una mezcla homogénea.
- 3) Filtrar la muestra anterior, utilizando los primeros 25ml del filtrado, para lavar el beaker recolector y descartarlos.
- 4) Lavar el tubo de polarizar con la muestra filtrada.
- 5) Llenar el tubo de polarizar con el resto del filtrado, colocarlo en el polarímetro y realizar la lectura.

Cálculos:

$Pol = \text{Lectura polarimétrica.}$

2.3 Color del azúcar (ICUMSA 4):**Cristalería y Equipo:**

1 Espectrofotómetro. Con rango de medición 330-950 nm., ancho de banda espectral posible, menor a 5, precisión recomendable ± 1 nm, digital.

* Celdas de Absorción de Vidrio óptico (Optical Glass), con recorrido recomendable de la luz = 10 nm (Ligth Path).

Membranas de filtración. Tamaño de poro= 0.45µm. Tipo HAWP milipore.

1 Refractómetro.

Reactivos:

Agua de dilución (Desmineralizada y pH = 7.0)

Acido Clorhídrico 0.05 N.

Hidróxido de sodio 0.05 N.

Procedimiento:

- 1) Preparar una solución 1:1 de azúcar, utilizando el agua de dilución preparada (por ejemplo: 25 g de azúcar con 25 g de agua).
- 2) Si fuese necesario, de acuerdo a la calidad de azúcar a analizar, puede hacerse una filtración previa con otro tipo de papel filtro, dependiendo de las impurezas. Esto, únicamente en el caso de analizar azúcar muy contaminada, que crea problemas de filtración en la membrana de 0.45 μm . (Solamente en azúcar de muy alto color, puede utilizarse tierra de infusorios como ayuda filtrante, 1g/250 ml de solución).
- 3) Filtrar la solución preparada, utilizando un sistema de vacío, a través de la membrana de filtración especificada.
- 4) En el caso de azúcar cruda, ajustar el pH de la solución azucarada a 7.0, usando los reactivos, según sea el caso.
- 5) Remover las burbujas de aire atrapado, utilizando un baño ultrasónico o dejando en reposo por unos minutos la solución (aproximadamente 3-5 min).
- 6) Medir el brix de la solución, utilizando el refractómetro.
- 7) Introducir parte de la solución dentro de la celda de absorción, asegurándose, primero, de estar en óptimas condiciones, y realizar un lavado previo con la solución.

- 8) Introducir el resto de solución de nuevo a la celda de absorción, para su lectura.
- 9) Preparar el espectrofotómetro, iniciando con la calibración del mismo, utilizando el agua de dilución preparada, la cual, servirá de blanco, y ajustarlo a una longitud de onda de 420 nm.
- 10) Colocar la celda con la solución azucarada y leer su absorbancia.

Cálculos:

$$\text{Color ICUMSA 4} = \text{Abs} / (L * \rho) * 1000$$

Donde:

Abs = Absorbancia de la solución azucarada

L = Largo de la celda en cm.

ρ = densidad de la solución al vacío. (g/ml)

2.4 Claridad y Turbidez de Meladuras:

Cristalería y Equipo:

- 1 Balanza analítica
- 1 Espectrofotómetro de longitud de onda variable
- 2 Celdas, de 1 cm de diámetro interno
- 1 Balón aforado, de 100 ml.
- 1 Pipeta graduada, de 1 ml.
- 1 Papel filtro Eaton Dikeman, grado 610
- 1 Embudo
- 1 Potenciómetro
- 1 Refractómetro.

Reactivos:

Agua

Hidróxido de Sodio 0.01 N.

Acido Clorhídrico 0.01 N.

Procedimiento:

- 1) Pesar 7 g de meladura en un balón aforado, de 100 ml.
- 2) Aforar con agua destilada.
- 3) Ajustar el pH de la solución a 7.0.
- 4) Medir Brix refractométrico.
- 5) Leer en espectrofotómetro a 420 nm. Anotar absorbancia sin filtrar.
- 6) Filtrar la solución en el papel filtro, grado 610.
- 7) Medir Brix refractométrico.
- 8) Leer en espectrofotómetro a 420 nm. Anotar absorbancia del filtrado.
- 9) En caso de no ajustar a pH = 7, determinar el pH de la solución de la meladura.

Cálculos:

$$\text{Concentración} = \text{°Brix} * \rho / 100$$

Donde:

Concentración = Concentración de la meladura. (g/ml)

ρ = densidad de la meladura (g/ml)

°Brix = Brix de la meladura.

$$\text{Claridad} = \text{Abs fil} / (\text{L} * \text{Concentración}) * 1000$$

Donde:

Abs fil = Lectura de absorbancia del filtrado

L = Longitud de la celda.

$$\text{Turbidez} = \text{Abs Sfil} / (L * \text{Concentración}) * 1000$$

Donde:

Abs Sfil = Lectura de absorbancia sin filtrar.

2.5 Medición de pH:

Equipo:

1 Potenciómetro.

Procedimiento:

- 1) Dejar enfriar la muestra a temperatura ambiente.
- 2) Lavar los electrodos y el recipiente con la solución a analizar.
- 3) Tomar la lectura del potenciómetro.

Cálculos:

pH = lectura del potenciómetro.

3. Métodos Matemáticos:

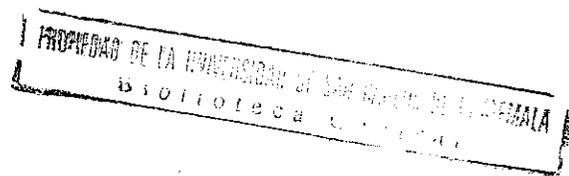
Se estableció, por el método de mínimos cuadrados, la correlación más representativa que existe entre las variables analizadas.

MATERIALES

El material principal que se utilizó en el presente estudio, es la meladura, que es producida por la concentración del jugo de caña que se muele en el ingenio.

Otros materiales que fueron utilizados:

Agua sulfitada
 Hidróxido de calcio
 Floculante
 Talofloc
 Sulfitos
 Agua oxigenada
 Acido fosfórico
 Magma B
 Magma C



RESULTADOS

El modelo matemático que representa el color del azúcar con el abatimiento del color de la meladura, es:

$$\text{I.U.} = -18.5(\%) + 422 \quad (1)$$

Donde:

I.U. = Color ICUMSA 4 del azúcar

% = Abatimiento del color de la meladura.

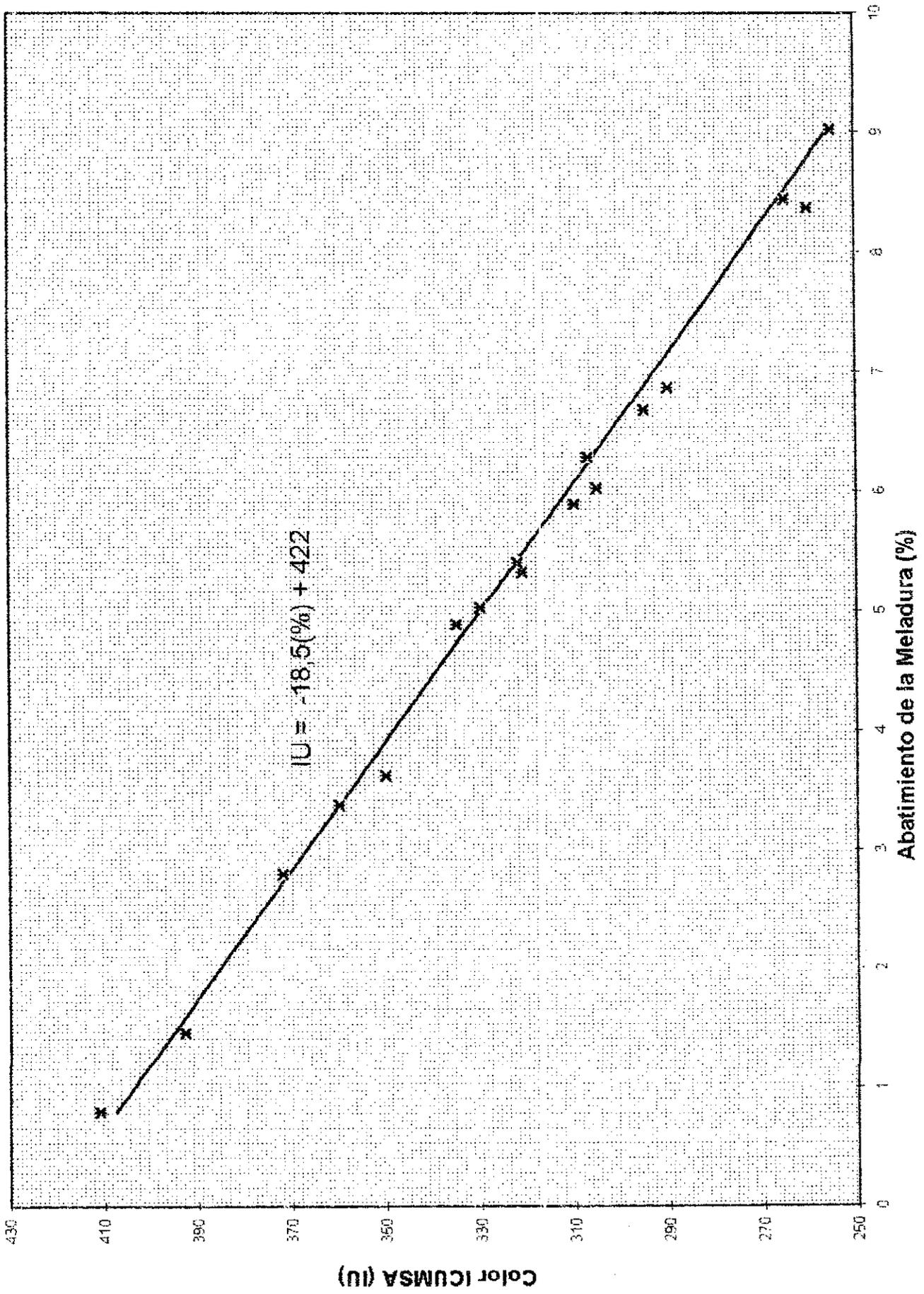
La ecuación (1) tiene una desviación standard de ± 4.32 I.U. y un coeficiente de correlación de -0.99271 , válida para el rango de abatimiento del color de la meladura entre 0.79 y 9.022%.

Los valores de dicho modelo son representados en la gráfica (1), donde:

Eje de las Ordenadas: Color ICUMSA 4 del azúcar

Eje de las Abscisas: Abatimiento del color de la meladura.

Grafica No 1



DISCUSION

La parte experimental del presente estudio se inició con la esquematización del diagrama de flujo del proceso de clarificación de la meladura que se desarrolla en el ingenio. La razón de esto es, porque, para analizar cualquier proceso industrial, al inicio se debe tener conocimiento de cuales son los componentes que lo conforman y, a partir de esto, correlacionar las variables mensurables y deducir si es eficiente.

Todos los componentes del proceso que seran descritos a continuación, se encuentran en el diagrama de flujo del proceso, en la sección de anexos.

El primer componente es el tanque receptor de la meladura que viene del último cuerpo de evaporación. Además, que en este mismo se recibe el exceso de magma "B" y "C" que se producen en la etapa de centrifugación del proceso de fabricación de azúcar. A esto último se le denomina *arrastré de magma*. Este tanque receptor tiene la función de estabilizar las variaciones de flujo de la meladura que entra al proceso de clarificación, para que, al momento de agregar los compuestos químicos, no se vea afectado su efecto por alguna turbulencia. A este tanque también se le denomina como *tanque pulmón*.

Luego de estabilizado el flujo de la meladura, mezclado con el arrastre de magma, pasa al tanque de reacción, y es donde son agregados los compuestos mencionados en el capítulo 2, sección 2.4.

Después, pasa al aerador presurizado tipo submarino. En esta fase, como se menciona en el capítulo 2, sección 2.1, es muy importante el control del tamaño de las burbujas de aire y la cantidad de las mismas. El control que se lleva a cabo en dicha etapa es deficiente, y esto explica por qué el abatimiento del color de la meladura sea bajo (el porcentaje más alto que se observó, fue de un 9.022 %). Se considera que es deficiente, ya que el operador de la clarificación de la meladura no puede observar directamente si el

tamaño y la cantidad de burbujas son adecuados, además que la inyección de aire solamente es establecida por una válvula reguladora. La presión de aire que se inyectaba al aereador, estaba en el rango de 70 y 80 psi.

En la siguiente etapa, se calienta la meladura de 80 a 82 °C. Esto se realiza para que el aire sea menos soluble en la meladura y pueda desarrollarse de mejor forma la disminución de partículas sólidas indeseables, impurezas.

La última parte del proceso es la flotación y floculación de las impurezas que se encuentran en la meladura. En esta parte, se agrega *Talofloc*, el cual, es un agente decolorante que reacciona con la materia colorante e impurezas de elevado peso molecular. Esta etapa es la más importante, ya que, mientras mayor tiempo de residencia exista, mejor es la clarificación.

La meladura clarificada es bombeada a los *tachos*, para que se cristalice la sacarosa y se obtenga un azúcar de buena calidad y bajo color.

Después de haber descrito el diagrama de flujo del proceso, además de analizar cuales son las etapas más influyentes en dicho proceso, se discutirá el modelo matemático que se encontró:

El comportamiento del abatimiento del color de la meladura con el color ICUMSA 4, se representa en la sección de resultados, en la grafica 1. El modelo que relaciona dicho comportamiento es lineal. Esto se fundamenta, estadísticamente, en que dicho modelo es el que menor desviación standard presentaba, en relación con los comportamientos analizados (exponencial, logarítmico, potencial, cuadrático y lineal).

En el transcurso de la práctica, fueron encontrados valores de color del azúcar, en relación con el abatimiento del color de la meladura, que no se comportaron linealmente.

Esto se explica, porque en la sección de tachos, durante el *cocimiento de las masas*, existen sobrecalentamientos que caramelizan la solución concentrada de sacarosa, la cual, es un agente productor de color en el azúcar producida. El porcentaje de datos que presentó el anterior problema es el 5 %, de un total de 36 días que duró la producción de azúcar blanco.

Con respecto a la determinación de que si existe una relación directa entre el abatimiento del color y el abatimiento de la turbidez de la meladura, no fue posible encontrarla, ya que el arrastre de magmas produce una variación en el análisis de la turbidez, lo que hace que se presenten diversos comportamientos entre estas dos variables, que no es posible determinar.

El presente estudio se desarrolló en la segunda mitad de zafra 95-96. Esto se menciona, ya que la edad, la variedad y el período de quema-molida de la caña de azúcar, son factores que influyen en el rendimiento del proceso de obtención de azúcar. También tienen inferencia en la obtención de un azúcar de bajo color, debido a la clase de material que ingresa a la fábrica.

Por último, el orden secuencial del proceso de clarificación de la meladura estudiado, es correcto, debido a que se comprobó la hipótesis planteada. Pero, es necesario que se tenga un mejor control del proceso de aereación, para lograr mejores resultados y que el arrastre de magma sea un flujo constante, para tener más variables mensurables con las que se pueda analizar si el proceso es eficiente.

CONCLUSIONES

1. El abatimiento del color de la meladura y el color del azúcar tienen un comportamiento lineal, que se representa por la ecuación (1).
2. El arrastre de magma influye en el porcentaje de abatimiento de la turbidez de la meladura.
3. El orden secuencial de las etapas del proceso de clarificación de la meladura del ingenio, es correcto.

RECOMENDACIONES

1. El control de la inyección de burbujas en la aereación de la meladura, se debe hacer por medio de muestras de meladura después que sale del aereador, y analizarlo, de acuerdo al procedimiento descrito en el capítulo 2, sección 2.1.
2. Para evitar que se agregue agua al proceso de clarificación de meladura, para disolver el magma "B" y/o "C", realizar dicha disolución después que salen del área de centrifugación.
3. Evitar sobrecalentamiento de las masas en los tachos, para que no exista caramelización de las mismas.

REFERENCIAS

1. AYRES, Gilbert. Análisis Químico Cuantitativo. 2da edición. Editorial Harla. México, 1970.
2. CHEN, James. Cane Sugar Handbook. 11a edición. Editorial Wiley Interscience. USA, 1985.
3. HUGOT, E. Handbook of Cane Sugar Engineering. 2da edición. Editorial Elsevier. Holanda, 1979.
4. JENKINS, G.H. Introduction to Cane Sugar Technology. 1a edición. Editorial Elsevier. Holanda, 1962.
5. PAYNE, John. Unit Operations in Cane Sugar Production. 1a edición. Editorial Elsevier. Holanda, 1982.
6. PERRY, Robert, Don Green & James Maloney. Manual del Ingeniero Químico. 6a edición en inglés, 6ta en español. Editorial McGraw Hill. México, 1992.
7. QUAIYOOM, Shah. Specialized Equipment and Chemicals Produce VLC Sugar. PPG. Mazer Chemicals. USA, 1989.
8. SPENCER & MEADE. Manual del Azúcar de Caña. 9a edición. Editorial Montaner y Simón. Barcelona, España, 1967.

* **Revistas Técnicas y Memorias de Congresos Azucareros:**

9. **International Sugar Journal**, del año 1989 el volumen 91, del año 1990 el volumen 92 y del año 1992 el volumen 94.

10. **International Society of Sugar Cane Technologists**. Proceedings XVII Congress. 01-11/02/80. Manila, Filipinas. Volumen 3.

ANEXOS

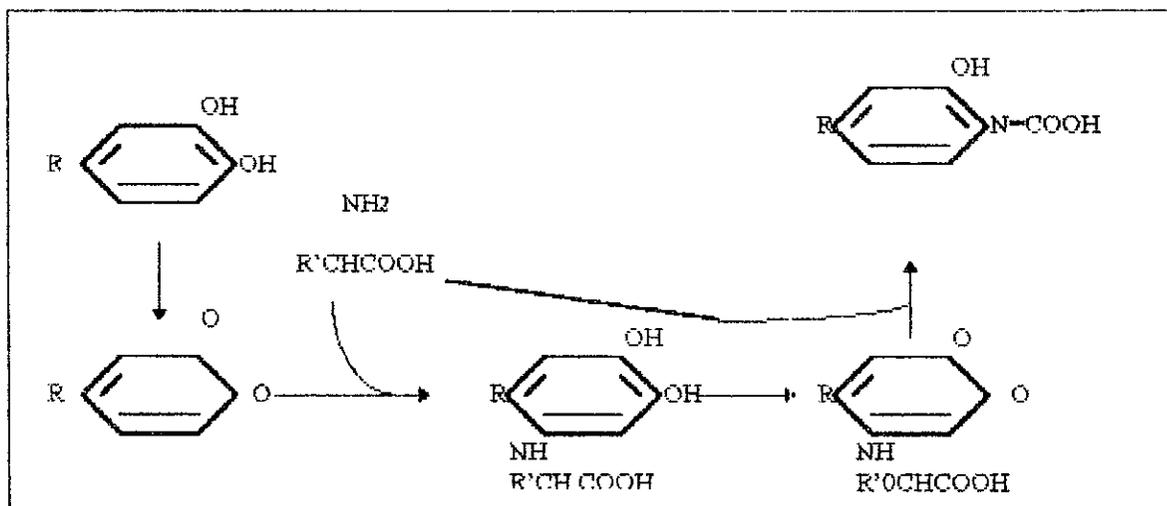


Figura 1. Mecanismo de formación de color.

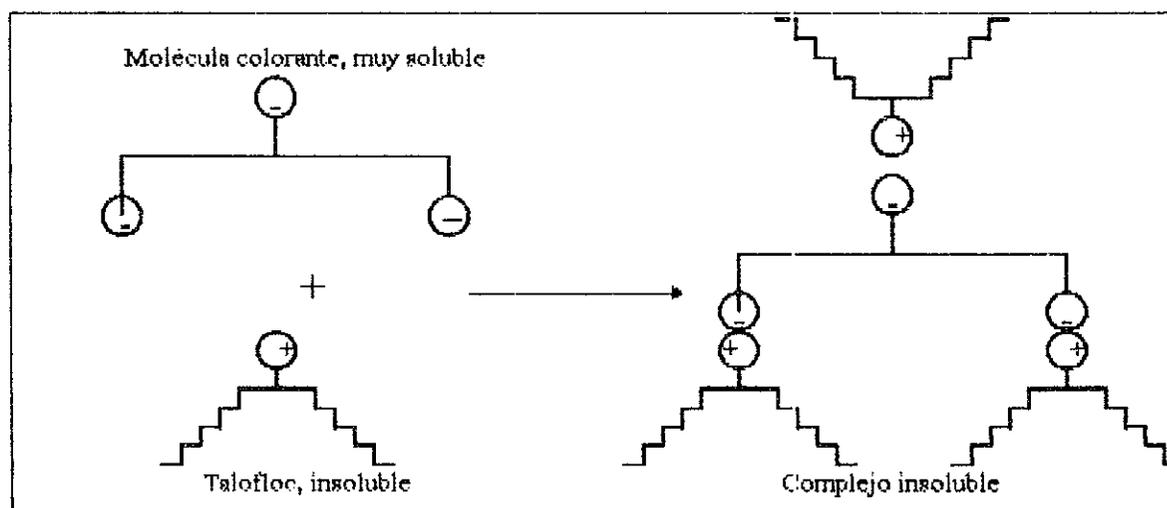


Figura 2. Ataque del floculante a la materia colorante.

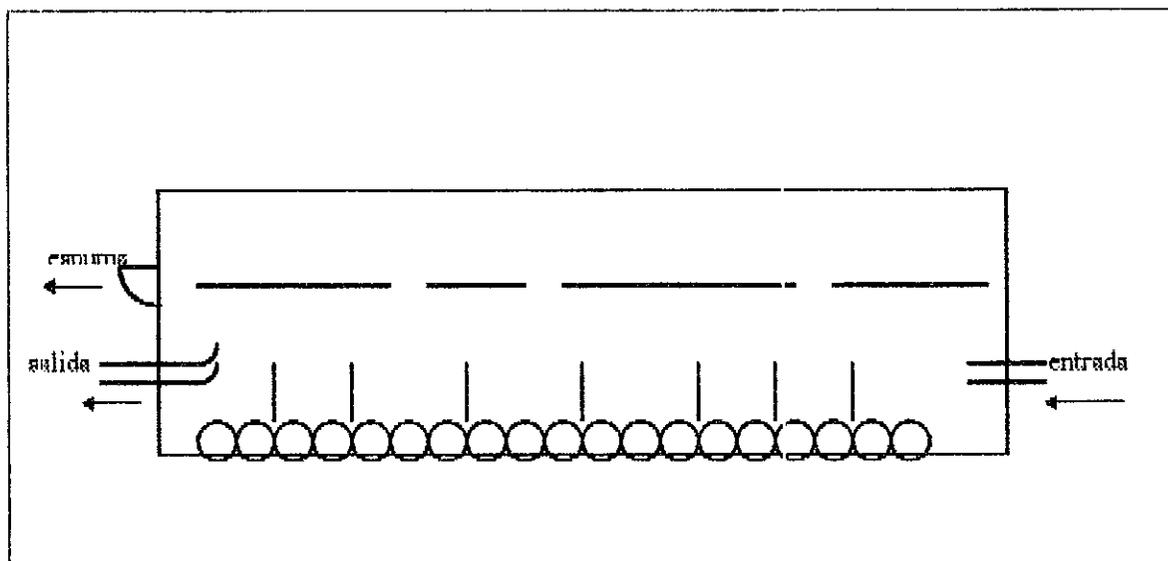


Figura 3. Clarificador Williamson.

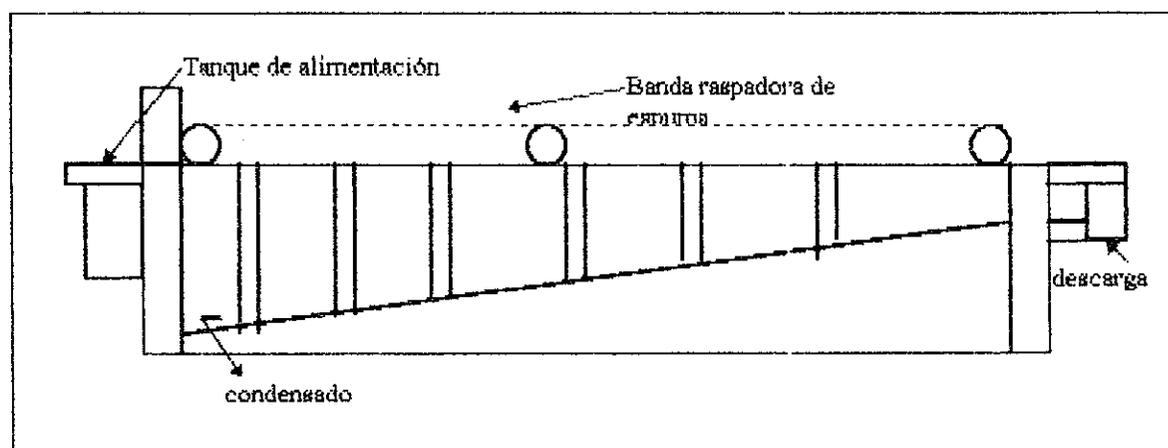


Figura 4. Clarificador Jacobs.

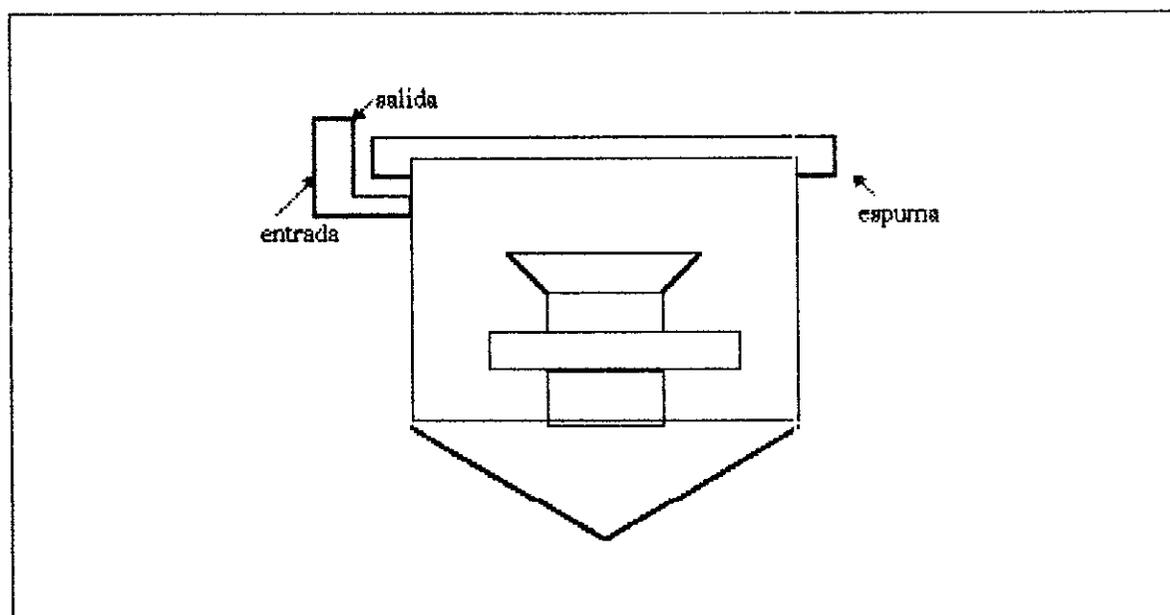
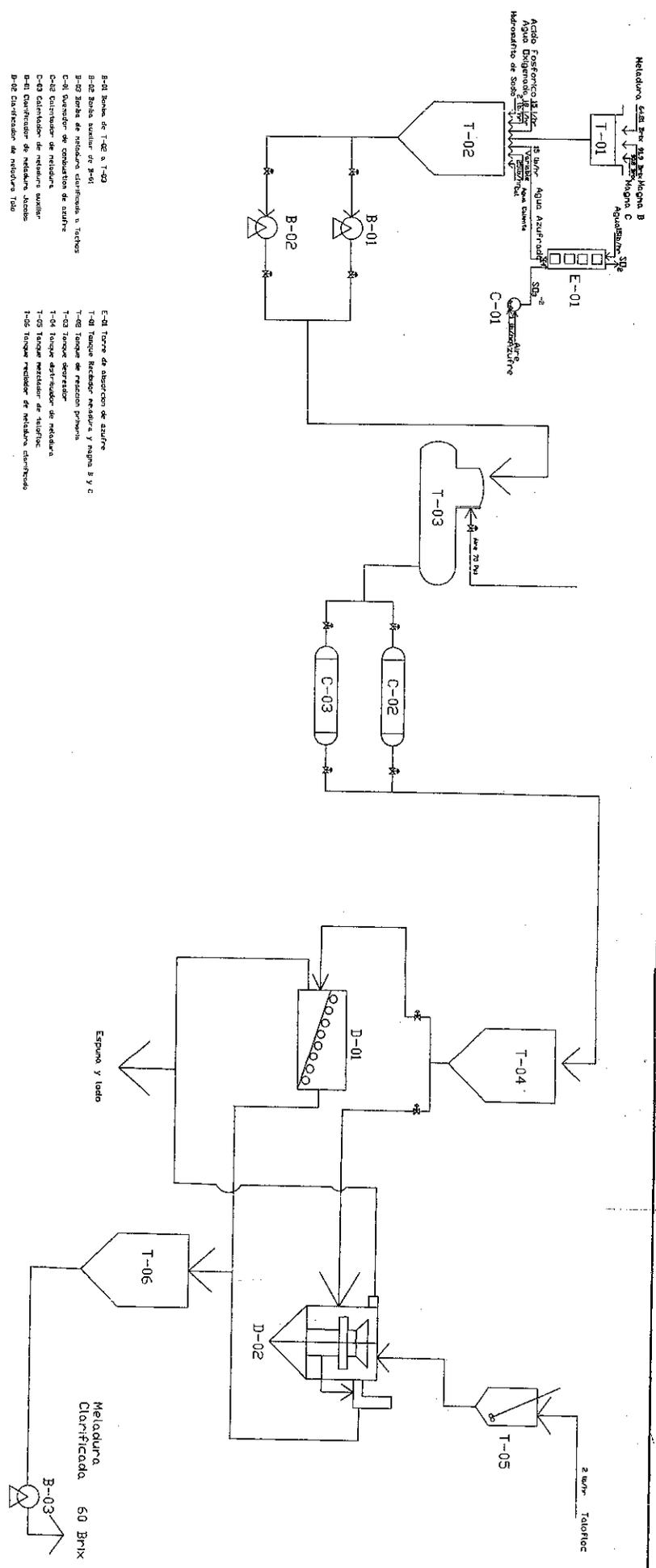


Figura 5. Clarificador talo.



- B-01 Bomba de T-06 a T-03
- B-02 Bomba succion de T-03
- B-03 Bomba de meladura clarificada a tanques
- C-01 Densidad de coagulacion de sulfuro
- C-02 Coagulacion de meladura
- C-03 Coagulacion de meladura succion
- D-01 Clarificador de meladura succion
- D-02 Clarificador de meladura T-03

- E-01 Torre de absorcion de sulfuro
- T-01 Tanque Receptor meladura y agua B y C
- T-02 Tanque de reaccion primaria
- T-03 Tanque deprimido
- T-04 Tanque mezclador de meladura
- T-05 Tanque mezclador de sulfuro
- T-06 Tanque receptor de meladura clarificada

CLARIFICACION DE MELADURA