



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**ANÁLISIS DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE TURBIDEZ
COMO UN INDICADOR DE LA EFICIENCIA DE LOS
CLARIFICADORES DE JUGO TIPO DORR DE INGENIO SAN
DIEGO**

CARLOS ROBERTO MORALES CUELLAR

Asesorado por: Ing. Ricardo Mauricio Ramírez Morán

GUATEMALA, AGOSTO DE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE TURBIDEZ
COMO UN INDICADOR DE LA EIFICIENCIA DE LOS
CLARIFICADORES DE JUGO TIPO DORR DE INGENIO SAN
DIEGO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

CARLOS ROBERTO MORALES CUELLAR

ASESORADO POR LA ING. RICARDO MAURICIO RAMÍREZ MORÁN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, AGOSTO DE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl de León de Paz
EXAMINADOR	Ing. José Eduardo Calderón García
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**ANÁLISIS DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE TURBIDEZ
COMO UN INDICADOR DE LA EFICIENCIA DE LOS
CLARIFICADORES DE JUGO TIPO DORR DE INGENIO SAN
DIEGO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha 24 de mayo de 2005.

Carlos Roberto Morales Cuellar

Guatemala, 30 de mayo de 2005

Ingeniero
Julio Rivera Palacios
Director
Escuela de Ingeniería Química

Estimado Ingeniero:

Atentamente me dirijo a usted para informarle que ha sido concluido satisfactoriamente el trabajo de graduación titulado "**ANÁLISIS DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE TURBIDEZ COMO UN INDICADOR DE LA EFICIENCIA DE LOS CLARIFICADORES DE JUGO TIPO DORR DE INGENIO SAN DIEGO**", desarrollado por la estudiante de Ingeniería Química **Carlos Roberto Morales Cuellas**, con carné **96-15491**.

Me remito informarle, que después de haber realizado la revisión del respectivo informe y haberle hecho las correcciones pertinentes, considero que llena los requisitos para su aprobación.

Atentamente,

Ing. Ricardo Mauricio Ramírez Morán
Colegiado 897
Asesor de Tesis

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



Guatemala, 22 de junio de 2,005.

FACULTAD DE INGENIERIA

Ingeniero
Federico Salazar Rodríguez
Director Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero Salazar.

El motivo de la presente es para darle a conocer que he revisado el trabajo de Graduación que fuese solicitado por la Dirección de Escuela, del estudiante **Carlos Roberto Morales Cuellar** No. carné 96-15491, trabajo que se titulado: "ANÁLISIS DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE TURBIDEZ COMO UN INDICADOR DE LA EFICIENCIA DE LOS CLARIFICADORES DE JUGO TIPO DORR DE INGENIO SAN DIEGO" es un trabajo muy importante para ser utilizado en la industria que lo requieran y como fuente de información para el estudiante universitario de Ingeniería Química.

Por lo tanto, luego de haberse revisado, modificado el cuerpo del trabajo de Graduación del estudiante **Carlos Roberto Morales Cuellar**, doy mi total aprobación como revisor nombrado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, tal como lo exigen los procedimientos y reglamentos internos.

Agradeciendo de antemano su atención a la presente

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Estuardo Edmundo Monroy Benítez
REVISOR

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Química, hace constar que ha quedado aprobado el Protocolo del trabajo de Graduación titulado: "ANÁLISIS DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE TURBIDEZ COMO UN INDICADOR DE LA EFICIENCIA DE LOS CLARIFICADORES DE JUGO TIPO DORR DE INGENIO SAN DIEGO" del estudiante Carlos Roberto Morales Cuellar, carné No. 96-15491.

El trabajo del Protocolo de Graduación ha sido asesorado por el Ing. Ricardo Mauricio Ramírez y revisado por el Ing. Estuardo Monroy Benitez.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Julio Rivera Palacios
DIRECTOR ESCUELA INGENIERIA QUIMICA



Guatemala, 24 de mayo de 2,005.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Ref. DTG.348-05

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: **ANÁLISIS DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE TURBIDEZ COMO UN INDICADOR DE LA EFICIENCIA DE LOS CLARIFICADORES DE JUGO TIPO DORR DE INGENIO SAN DIEGO**, presentado por el estudiante universitario **Carlos Roberto Morales Cuellar**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, agosto de 2005

/cdes

AGRADECIMIENTOS

A Jesucristo, eternamente agradecido por todo lo que eres en mi vida y por ser mi compañero fiel.

A mis padres Antonio Roberto y Mirna Argentina, mil palabras de agradecimiento no serian suficientes para agradecerles su gran amor, comprensión y apoyo en todo momento.

A mis hermanos, por estar siempre dispuestos a ayudarme y darme ánimo, infinitas gracias.

A los Ingenieros Mauricio Ramírez y Estuardo Monroy, mil gracias por su asesoría y ayuda para realizar este trabajo de graduación.

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en especial a la Escuela de Ingeniería Química por abrirme sus puertas y compartir conmigo los conocimientos de esta carrera.

A Ingenio San Diego por la oportunidad brindada de poder realizar éste trabajo en sus instalaciones.

DEDICATORIA

A Dios

Creador y sustentador de mi vida, a quien deseo honrar en todo tiempo.

A mis padres Antonio y Mirna Argentina

Por ser la mas grande bendición en mi vida y por apoyarme siempre, estoy seguro que ustedes saben lo agradecido que estoy por tenerlos como padres, son un ejemplo para mi y esto es una pequeña muestra de mi agradecimiento por todo lo que han hecho por mi.

A mis hermanos

Por estar siempre a mi lado y darme su alegría y apoyo.

A Claudia

Por el apoyo incondicional.

A mis abuelos Pedro (+) y Emilia (+)

Estoy seguro de que sus oraciones me ayudaron bastante para alcanzar esta meta y se que desde el cielo comparten este logro conmigo.

A mi familia

A todos mis tíos, primos, sobrinos y demás familia que siempre ha estado a mi lado.

A mis amigos

Patty, Beatriz, Aury, Anny, Mercedes, Josué, Julio, Werner, Brian, Hugo, Roberto, David y Ramiro. El mejor legado obtenido de la universidad fue la amistad sincera que aún existe entre todos nosotros, a sido el mejor curso y ganado con notas altas.

A mis catedráticos

Como un reconocimiento por su labor docente.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTADO DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	VIX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
HIPÓTESIS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. MARCO TEÓRICO	
1.1 Descripción del proceso de producción	1
1.1.1 Pesaje de la caña	1
1.1.2 Descarga de la caña	2
1.1.3 Extracción del jugo	3
1.1.4 Clarificación del jugo	4
1.1.5 Evaporación	5
1.1.6 Cristalización	6
1.1.7 Centrifugación	6
1.2 Característica generales del equipo	7
1.2.1 Clarificadores	7
1.2.2 Descripción de un clarificador	8
1.3 Clarificación de jugo	11
1.3.1 Antecedentes	11
1.3.1.1 Proceso de defecación	11

1.3.1.1	Sistemas de clarificación	12
1.3.2	Reacciones durante la clarificación.....	14
1.3.3	Química básica de la floculación	15
1.3.3.1	Antecedentes	15
1.3.3.2	Neutralización de las cargas negativas..	16
1.3.3.3	Reducción del grado de hidratación	16
1.3.3.4	Enlace entre moléculas	16
1.3.4	Mecanismos de floculación	19
1.3.4.1	Floculación primaria	19
1.3.4.2	Floculación secundaria	20
1.3.5	Coloides	20
1.3.6	Física básica de la clarificación	21
1.3.7	Efectos de la clarificación	22
1.3.7.1	Separación de sedimentos	23
1.3.7.2	Claridad	24
1.3.7.3	Pureza	24
1.3.7.4	Color	24
1.4	Principios generales de la medición de color	25
1.4.1	Color en los productos del azúcar	25
1.4.2	Naturaleza del colorante del azúcar	26
1.4.3	Factores que afectan la determinación del color	27
1.4.4	Índice de refracción	27
1.4.5	Turbidez	28
1.4.6	Longitud de onda	28
1.4.7	pH	29

1.4.8	Concentración	29
1.4.9	Longitud de la celda	30
2.	METODOLOGÍA	31
2.1	Metodología de investigación	31
2.1.1	Ubicación	31
2.1.2	Recurso humano	31
2.1.3	Equipo y cristalería	31
2.1.4	Producto a utilizar	32
2.1	Muestreo y preparación de la muestra	32
2.2	Metodología experimental	33
2.2.1	Análisis de turbidez de jugo	33
2.2.1	Análisis de color de azúcar	33
3.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	35
3.1	Diseño Experimental	35
3.2	Variables independiente y dependiente	35
3.3	Coefficiente de correlación r	36
3.4	Prueba de hipótesis	36
4.	RESULTADOS	39
4.1	Porcentaje de remoción de turbidez promedio	39
4.2	Gráfico %remoción de turbidez vrs color de azúcar.....	40
4.3	Coefficiente de correlación r	41
4.4	Prueba de hipótesis	42

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	43
CONCLUSIONES	45
RECOMENDACIONES	47
REFERENCIAS	49
BIBLIOGRAFÍA	51
ANEXOS	53

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Clarificador Rapi – Dorr 444 (Dorr – Oliver)	8
2	Iones de calcio y de fosfato de calcio	16
3	Poliacrilamida hidrolizada	17
4	Gráfica clarificador 1	38
5	Gráfica clarificador 2	39
6	Proceso de fabricación de caña de azúcar	55
7	Proceso de clarificación de jugo	56

TABLAS

I	Resultados % de remoción de turbidez promedio	37
II	Coefficiente de correlación de los clarificadores	39
III	Resultado de la prueba de hipótesis para los clarificadores	40
IV	Tabulación de datos clarificador 1	53
V	Tabulación de datos clarificador 2	54

LISTA DE SÍMBOLOS

pH	Medida de la acidez o alcalinidad de una solución que se define como el inverso del logaritmo de la concentración de iones hidrógeno = $1 / \log. [H^+]$
°Bx	Es igual al porcentaje de sólidos disueltos en una solución
°Be	Grados Baumé. Medida de densidad de una solución definida con la fórmula siguiente: $145 - 145/g.e.$ a 20 °C.
g.e.	Gravedad específica. La razón de peso de cualquier cantidad de material al peso de un volumen igual de agua a una temperatura estipulada.
°C	Escala de medición de temperatura en grados Celsius
°F	Escala de medición de temperatura en grados Fahrenheit
nm	Nanómetros. Escala de medición para la absorbancia
rpm	Revoluciones por minuto. Medida de velocidad tangencial
tc	Toneladas de caña, medida de masa equivalente a 2000 lb de caña

ppm

Partes por millón. Medida de la concentración de una solución

GLOSARIO

Acidez	Medida de la concentración de ácidos en el jugo efectuada para disponer de un índice de descomposición y del consumo de cal para neutralizar.
Color	Medida de la disminución de la intensidad de un haz de luz que atraviesa una solución.
Cachaza	Material de consistencia sólida constituido en un 80% por agua y el resto por los sólidos extraídos en la defecación que son, principalmente; cera de caña, fosfato de calcio, bagacillo, tierra y arena.
Dispersoide	Solución que se compone de sólidos disueltos y sólidos en suspensión en un soluto.
Floculante	Son polímeros sintéticos basados en la repetición de unidades de ácido acrílico y sus derivados. Se pueden obtener en un amplio rango de pesos moleculares, contienen grupos ionizados y a menudo se les conoce como polyelectrolitos. Se les utiliza en el proceso de clarificación de jugo como ayuda de la floculación.
Floculación	Conjunto de reacciones ocurridas por la atadura de partículas simples de impurezas a lugares activos en la molécula del polímero, floculante .

Jugo mezclado Es el jugo que se extrajo en el primero y segundo molino de caña y es el que se utiliza en el proceso de fabricación.

Jugo alcalizado Producto intermedio del proceso de defecación que está constituido por el jugo mezclado el cual ha sido sulfatado y se le agregó cal.

Jugo claro Producto final del proceso de defecación o clarificación.

RESUMEN

Se determinó el porcentaje de remoción de turbidez promedio de los clarificadores de jugo, mediante el método de análisis de la absorbancia en la entrada, jugo alcalizado como a la salida del proceso de clarificación, jugo claro, con el objeto de poder analizar el funcionamiento de los clarificadores tipo Dorr del Ingenio San Diego y la relación que una buena remoción de turbidez del jugo pueda tener en el color del producto final que es el azúcar blanco estándar

Con la finalidad de poder conocer la posible influencia de el porcentaje de remoción de turbidez en el color de azúcar blanco estándar; también, se obtienen datos respecto del color del azúcar y se correlacionan por medio de una gráfica de dispersión de datos. Tanto para el jugo como el azúcar, se tomaron 47 días de operación con tres muestras por día, lo cual nos da como resultado 141 dato que representa el 60% de los días de fabricación del azúcar blanco estándar, se calcula el coeficiente de correlación a partir de los datos obtenidos. También, se procede a realizar una prueba de hipótesis para media poblacional cuando $n > 30$ de un extremo para poder establecer la influencia que tiene la variable independiente, porcentaje de remoción de turbidez, sobre la variable dependiente, color de azúcar, con una significancia del 95%.

A partir de los resultados, se estableció que ambos equipos funcionan con parámetros similares y que no existe una correlación lineal significativa entre la variable independiente y la dependiente; además, existen otros procesos posteriores a la clarificación del jugo que pueden afectar la variable dependiente.

OBJETIVOS

General

- Determinar el porcentaje de remoción de turbidez de los clarificadores tipo Dorr, referenciado su resultado como un Indicador de la eficiencia de clarificación en la calidad de azúcar obtenida.

Específicos

- Determinar el tiempo de residencia del jugo en los clarificadores.
- Determinar el color icumsa del azúcar obtenida.
- Definir los puntos de muestreo.
- Definir los horarios de muestreo a partir del tiempo de residencia del jugo.
- Crear las bases para poder obtener los parámetros de operación de los clarificadores tipo Dorr.
- Relacionar los diferentes parámetros de operación y calidad.

HIPÓTESIS

Hipótesis nula: H_0

Existe una correlación lineal significativa entre el % de remoción de turbidez del jugo de caña y el color de azúcar.

$$r \geq 0.9$$

Hipótesis Alternativa: H_a

No existe una correlación lineal significativa entre el % de remoción de turbidez del jugo de caña y el color de azúcar.

$$r < 0.9$$

INTRODUCCIÓN

Le compete a un ingeniero químico desarrollar, diseñar, llevar a cabo el proceso, elegir el equipo y, al igual, elegir las materias primas adecuadas, es, también, su obligación hacer operar las plantas con eficacia, seguridad y economía, a manera que los productos satisfagan al cliente.

Así, el ingeniero químico, frecuentemente, es el encargado del proceso, sobre todo en la industria alimenticia. Por lo tanto, es él quién debe estar preparado para dirigir y orientar al personal sobre el manejo de los equipos y los parámetros de operación de los mismos. Además, el ingeniero químico combina sus conocimientos sobre gestión de calidad, control de contaminación, administración y recursos humanos con algunas de sus aptitudes como su capacidad de observar, planear, evaluar e investigar.

La necesidad de contar con parámetros que sirvan como indicadores de la eficiencia de un clarificador de jugo tipo Dorr, surge con el objeto de orientar al ingeniero químico, técnico y/o trabajador responsable del proceso de clarificación del jugo en un Ingenio Azucarero para lograr y mantener alta eficiencia en el mismo, ya que, la clarificación es una operación importante en la obtención de un producto de buena calidad.

Específicamente, orienta respecto de los parámetros de operación del equipo, así como, del proceso; también, en la toma de acciones correctivas. Es importante, entonces, que el ingeniero químico conozca éstos indicadores de operación del equipo con el cual trabaja para evitar problemas en procesos posteriores que dependen de una buena clarificación.

Con esta investigación se pretende aportar datos que, en un futuro, sirvan de base para establecer parámetros de operación en los clarificadores del tipo Dorr en un Ingenio Azucarero, los cuales son básicos en la fabricación de azúcar, debido a que de éste proceso depende una buena calidad del producto final, además, de contar con indicadores de la eficiencia de dichos aparatos en el proceso de clarificación del jugo de la caña de azúcar.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Descripción del proceso de producción

El proceso de la elaboración de azúcar dentro de todo ingenio se inicia con el corte de caña en los campos (frentes), donde se es sembrada y cuidada la caña para luego ser cosechada y transportada hacia la fabrica (Ingenios) donde se le da un manejo adecuado para la extracción eficiente del jugo y transformación en azúcar de este.

El proceso de la elaboración de azúcar consta de una serie de pasos ordenados los cuales, todos y cada uno son de vital importancia y cuidado para poder obtener una azúcar de calidad, con las características correspondientes, las cuales hoy en día están siendo exigidas por las diferentes empresas que consumen este producto de primera necesidad para la elaboración de productos alimenticios como en las embotelladoras de aguas gaseosas, las embotelladoras de jugos de frutas, las empresas que se dedican a la elaboración de dulces entre otras.

1.1.1 Pesaje de la caña

El pesaje de la caña dentro de la fábrica (Ingenio) se hace debido a dos propósitos, uno de los cuales es cuantificar la cantidad de caña que entrega cada finca dentro de las cuales se encuentran fincas propias, fincas arrendadas y fincas particulares para luego hacer los respectivos pagos dependiendo de la cantidad recibida de caña.

El otro propósito es que se utiliza como una medida para poder comparar el rendimiento de la fábrica con respecto a la cantidad de azúcar obtenida a través de lo largo de todo el proceso de transformación haciendo una relación de libras de azúcar obtenido por tonelada de caña recibida.

La caña se pesa por lo general en grandes básculas de plataforma junto con la unidad de transporte en la que se le recibe en el ingenio (Camión, remolque, carreta, etc.). Estas basculas se encuentran en diferentes tamaños o capacidades en tonelajes de medidas de la caña, las cuales oscilan dependiendo de la cantidad de toneladas de caña que se transporten, en el caso del ingenio San Diego S.A. se trabajo con una capacidad de tonelaje que oscila entre las 40 y 45 toneladas.

1.1.2 Descarga de la caña

La descarga de la caña se efectúa a través de ciertos dispositivos mecánicos (Grúas Radiales, Viradores), los cuales hacen de una manera más fácil y eficiente su manejo.

Todos los ingenios modernos emplean descargadores mecánicos conocidos como grúas de pluma que cubren un radio de 20 a 30 metros para poder apilar la caña, esta misma pluma levanta la caña de las pilas y la deposita directamente en el transportador, esta operación se realiza a través de dispositivos basculantes en los grandes carretones (jaulas) localizados en las laterales de dichos carretones para poder depositar la caña en las mesas de alimentación lateral o mesas receptoras de caña.

Después de ser descargada, la caña va hacia las troceadoras en transportadores de cadenas provistas de tablillas de metal. Los transportadores o elevadores de caña son movidos por motores independientes de los que mueven a los molinos, con el objeto de obtener mayor flexibilidad y uniformidad en la alimentación a la desmenuzadora y por consiguiente a todo el tren de molinos.

1.1.3 Extracción del jugo

La extracción del jugo moliendo la caña entre pesados rodillos o mazas constituye la primera etapa del procesamiento del azúcar. Primero se prepara la caña para la molienda mediante cuchillas giratorias (Troceadora) que cortan la caña en pequeños pedazos de aproximadamente 20 a 30 centímetros de largo.

El tren de molinos consta de unidades múltiples que utilizan combinación de cuatro rodillos a través de los cuales pasan sucesivamente la caña exprimida o bagazo. Para ayudar a la extracción del jugo (Guarapo) se aplican aspersiones de agua o guarapo diluido sobre la capa de bagazo según sale de cada unidad de molienda.

El proceso conocido como “Imbibición” o con menor frecuencia saturación puede presentar muchas modificaciones, en las prácticas de molienda, más eficientes con un contenido de azúcar arriba del 95% contenido en la caña, a este porcentaje se le conoce como sacarosa o (Pol de la extracción) o sencillamente extracción. El bagazo final que sale del último molino contiene azúcar no extraído, fibra leñosa y de un 45% a 55% de agua, este material (bagazo) pasa por lo general a las calderas como combustible,

pero en muchos casos algunos ingenios utilizan este material en otras aplicaciones como para la fabricación de paredes prensadas de bagazo.

1.1.4 Clarificación de jugo

El jugo de color verde oscuro procedente de los molinos es ácido y turbio. El proceso de clarificación o defecación tiene como fin primordial el remover las impurezas tanto solubles como insolubles, dentro de este proceso se tienen otros subprocesos como lo es el alcalizado, precalentado, sulfatación y en si lo que es la clarificación, empleando de forma universal cal y calor agentes clarificantes.

El alcalizado no es más que agregar cierta dosificación de lechada de cal alrededor de 1 libra de cal hidratada (CaO), por tonelada de caña, neutralizando la acidez natural del guarapo, formando sales insolubles de calcio, en su mayor parte fosfato de calcio.

El calentamiento del guarapo alcalizado hasta el punto de ebullición o ligeramente arriba coagula la albúmina y algunas grasas, ceras, y gomas para luego ser enviado a la torre de sulfatación.

La sulfatación se produce dentro de una torre provista de mamparas depositando el jugo precalentado en la parte superior de esta para que por el contra flujo y por gravedad en la caída del jugo se mezclen con los gases del azufre quemado en un horno que ascienden y se pueda obtener lo que es el jugo sulfatado.

El clarificado es el proceso por medio del cual y a través de los clarificadores se eliminan los sólidos que se asientan debido a la dosificación de un floculante especial, se deposita el jugo dentro de dichos tanque los cuales están provistos de 3 o 4 bandejas en las cuales se asientan los sólidos y grasas (Cachaza o lodos) los cuales son retirados por medio de aspas que los llevan hacia el centro a un tubo de evacuación. Los lodos se separan del jugo clarificado por sedimentación y se filtran en tambores rotativos de filtración (Filtros de Cachaza).

El jugo filtrado regresa al proceso o pasa directamente al jugo clarificado y la torta de la prensa se desecha o se regresa a los campos como fertilizantes, el jugo clarificado transparente y de un color parduzco pasa a los evaporadores sin tratamiento adicional. Asimismo se ha desarrollado una amplia variedad de modificaciones del tratamiento con calor y cal.

1.1.5 Evaporación

El jugo clarificado, que tiene más o menos la misma composición que el jugo crudo extraído excepto las impurezas precipitadas por el tratamiento con cal, contiene aproximadamente 85% de agua. Dos terceras partes de esta agua se evapora en evaporadores al vacío de múltiple efecto, los cuales consisten en una sucesión de celdas de ebullición el vacío o cuerpos dispuestos en serie de manera que cada cuerpo subsiguiente tiene un grado más alto de vacío y por consiguiente hierve a una temperatura más baja.

Los vapores del cuerpo hacen hervir de esta manera el jugo contenido en el siguiente cuerpo. Mediante este sistema el vapor introducido en el primer cuerpo efectúa una evaporación de múltiple efecto. El vapor del cuerpo final

pasa a un condensador. El jarabe (Meladura) sale en forma continua del último cuerpo con aproximadamente 65% de sólidos y 35% de agua.

1.1.6 Cristalización

La cristalización tiene lugar en los tachos al vacío de simple efecto, donde el jarabe se evapora hasta quedar saturado de azúcar. En este momento se añaden semillas (Azúcar en grano) a fin de que sirvan de núcleos para los cristales de azúcar, y se va añadiendo más jarabe según se evapora el agua. El crecimiento de los cristales continúa hasta que se llena el tacho. Bajo la vigilancia de un tachero y con los instrumentos adecuados, los cristales originales crecen sin que se formen cristales adicionales, de manera que cuando el tacho está totalmente lleno todos los cristales tienen el tamaño deseado, y los cristales y el jarabe forman una masa densa conocida como (Masa cocida “Magma”).

La “Templa” (contenido del tacho) se descarga luego por medio de una válvula de pie a un mezclador o cristalizador. La ebullición de las masas cocidas y la re-ebullición de las mieles se llevan a cabo utilizando sistemas de ebullición escogidos para ajustarse a muchas condiciones.

1.1.7 Centrifugación

La masa cocida proviene del mezclador o cristalizador, se lleva a máquinas giratorias llamadas centrifugas. El tambor cilíndrico suspendido en un eje tiene paredes laterales perforadas forradas en el interior con tela metálica, entre esta y las paredes, hay laminas metálicas que contienen de 400 a 600 perforaciones por pulgada cuadrada. El tambor gira a velocidades que

oscilan entre 1000 y 1800 rpm. (1). El revestimiento perforado retiene los cristales de azúcar que pueden lavarse con agua si se desea.

La miel pasa a través del revestimiento debido a la fuerza centrífuga ejercida (de 500 hasta 1800 veces la fuerza de gravedad), y después de que el azúcar es purgado se corta, dejando la centrifuga lista para recibir otra carga de masa cocida.

Las maquinas modernas son exclusivamente del tipo de alta velocidad o de una alta fuerza de gravedad, provistas de control automático para todo el ciclo. Los azúcares de un grado pueden purgarse utilizando centrifugas continuas.

1.2 Características generales del equipo

1.2.1 Clarificadores

Se llama clarificador al decantador continuo. Un decantador continuo es un tanque al que se hace llegar de manera regular y continua el jugo por decantar y que es lo suficientemente grande para que la velocidad de escurrimiento y de circulación del jugo sea de un valor tan bajo que no impida que la decantación se realice. El jugo claro obtenido sale por la parte superior del clarificador de manera regular y continua tal como lo hacen las cachazas por la parte inferior.

Con este aparato se tienen todas las grandes ventajas del trabajo continuo: Se eliminan las pérdidas de tiempo y capacidad que se originan en el llenado y el vaciado de los tanques; se elimina la mano de obra necesaria para la vigilancia y la ejecución de las operaciones de llenado, vaciado, separación

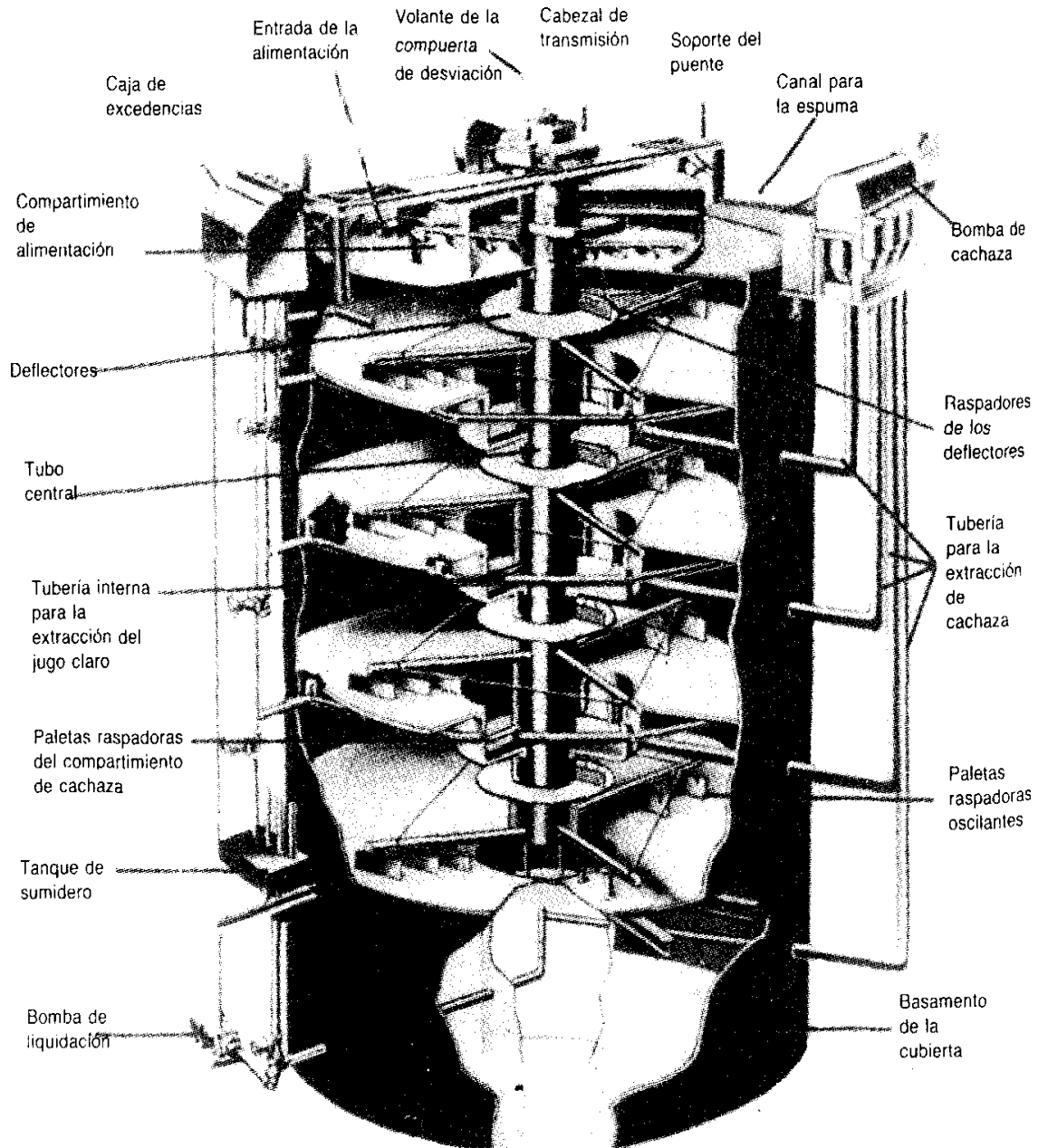
de cachaza, puesta en circuito o puesta fuera de circuito de cada decantador, etc. La separación de la cachaza no se hace ni antes ni después del momento oportuno, como ocurre fatalmente, por lo menos en una pequeña fracción del jugo, cuando depende del reflejo más o menos rápido del operador que observa esta transición con la mano sobre la válvula de doble paso de un decantador ordinario.

1.2.2 Descripción de un Clarificador

Los clarificadores están divididos generalmente en varios compartimientos que multiplican la superficie de decantación.

Los diversos clarificadores son análogos en sus principios de operación y no varían más que en detalles, por esta razón se describirá el clarificador Dorr, que es el más conocido.

Figura 1 Clarificador Rapi-Dorr 444, Dorr-Oliver



Fuente: Mead – Chen, Manual del azúcar de caña, pag.: 192

El clarificador tiene un eje central que gira muy lentamente (12 revoluciones por minuto)(2) y que lleva láminas rapadoras que barren lentamente el fondo de los compartimientos.

El jugo por decantar llega tangencialmente a la parte superior de un compartimiento llamado de "floculación". En éste lugar sobrenada un poco de espuma la que se elimina por medio de un raspador especial que le empuja hacia un pequeño canal lateral de evacuación.

Los compartimientos se comunican entre sí. En cada uno, la cachaza que se deposita, se empuja lentamente hacia el centro en donde cae, por un orificio anular, al fondo del aparato descendiendo a lo largo y al exterior del tubo central.

El tubo central comunica a las partes superiores de los diversos compartimientos. El jugo por decantar pasa del tubo central a los compartimientos por medio de ductos que atraviesan el espacio anular por el que descienden las cachazas.

El jugo claro decantado sale de cada compartimiento por varios tubos conectados con la zona más tranquila y más clara de él, es decir, con la circunferencia situada en la parte superior de cada compartimiento, cerca de la parte exterior del clarificador. Estos tubos descargan en una caja de jugo en la que su gasto se ajusta con la ayuda de un tubo que corre sobre la extremidad de la tubería, fijando el nivel de derrame, que es evidentemente, con diferencia de pocos milímetros, el nivel del jugo del tanque.

Las cachazas se toman de la parte inferior, podrían, como el jugo, salir por gravedad. Generalmente, se prefiere, por ser muy espesas, sacarla por

medio de una bomba de diafragma, de válvulas y membranas, de carrera muy pequeña y ajustable, que las hace subir a una caja de cachaza cercana a la caja de jugo, de donde pasan a la filtración.

El clarificador es cerrado, con un visor sobre el compartimiento de floculación. Debe aislarse completamente por medio de placas gruesas de calcita aglomerada. Gracias a esta protección y sobre todo a sus dimensiones que le dan un relación superficie exterior a capacidad, muy pequeña, el jugo sale a unos 99°C (3). Esta ya es una ventaja sobre los decantadores ordinarios.

1.3 Clarificación de jugo de caña

1.3.1 Antecedentes

Existe una cantidad muy grande de dispositivos para separar el precipitado del jugo clarificado. El principio universalmente utilizado es el de sedimentación y decantación. Los dispositivos de decantación pueden ser discontinuos o continuos en cuanto a operación. Los últimos constituyen los diseños más modernos.

1.3.1.1 Proceso de defecación

La clarificación con cal y calor, conocida como proceso de defecación simple, es el método más antiguo para purificar el jugo y en muchos sentidos es el más efectivo. Por lo general, se añade la cal suficiente para neutralizar los ácidos orgánicos que contiene el jugo, y después se eleva la temperatura a 95°C o más. Éste tratamiento con cal y calor forma un precipitado denso de composición compleja, en parte más ligero y en parte más denso que el jugo, que contiene sales insolubles de calcio, albúmina coagulada

y proporciones variables de ceras, grasas y gomas. El precipitado por floculación arrastra consigo la mayor parte del material fino que está en suspensión en el jugo y que no ha sido extraído por el tamizado mecánico. La separación del precipitado del jugo que lo rodea se efectúa casi universalmente mediante la sedimentación y la decantación. El grado de clarificación que se logra tiene un efecto importante sobre los siguientes departamentos de la fábrica: afecta la ebullición en los tachos, el centrifugado, la calidad de los productos y, lo que es más importante, el rendimiento de azúcar.

1.3.1.2 Sistemas de clarificación

El proceso de clarificación, sólo con cal y calor, era antiguamente más o menos uniforme en todo el mundo, pero se han efectuado muchas modificaciones, no sólo por la importancia que se da actualmente al logro de una clarificación más eficiente, sino también por la necesidad de dar tratamiento especial a los jugos refractarios o difíciles de tratar que producen ciertas variedades de caña. Las dificultades encontradas en la clarificación de ciertos jugos ha sido el tema de muchas publicaciones, y se han propuesto muchas variaciones en los procedimientos y equipos para superar éste problema. A consecuencia de éste estudio intensivo de la clarificación, se ha logrado un mejor conocimiento de los fundamentos teóricos de este problema, así como las dificultades prácticas que se presentan.

Las etapas del proceso y las modificaciones o variantes de cada una son las siguientes:

- Método de añadir la cal: como lechada, en forma discontinua o continua; como sacarato de calcio.

- Regulación de la cantidad de cal: pruebas periódicas, registro continuo del pH; alimentación automática mediante el control de pH.
- Momento en que se añade la cal: antes de calentar el jugo “alcalización demorada” (aumento del tiempo de reacción antes de calentar) ; después de calentar; en fracciones, antes y después de calentar.
- Temperaturas: ebullición; sobrecalentamiento; calefacción en dos etapas.
- Tratamiento de los jugos procedentes de diferentes molinos: clarificación simple; clarificación compuesta y clarificación separada.
- Método de decantación: decantadores abiertos, decantadores continuos y cerrados.
- El tratamiento de espuma: filtración simple, filtración doble, retorno a los molinos; redefecación por separado, o con jugos diluidos, como en la clarificación compuesta.

Resulta evidente que la combinación de las anteriores modificaciones hace posible una gran cantidad de procedimientos. El procedimiento ya bastante generalizado de añadir algún tipo de fosfato soluble, generalmente al jugo crudo pero a menudo en una etapa posterior, y la innovación más reciente que consiste en el uso de poli electrólitos como agentes floculadores han complicado todavía más los procesos de defecación.

1.3.2 Reacciones Durante la Clarificación

Los estudios básicos sobre la teoría y práctica de la clarificación se sigue basando en la antigua y simple defecación con calor y cal.

Se necesita conocer la actividad tanto del ion calcio como del ion fosfato, el mecanismo de reacción de estos dos y la forma como se comportan los compuestos fosfatados durante la adsorción y absorción de coloides orgánicos y otros no azúcares que son los componentes del jugo de caña. Algunos de los no azúcares del jugo afectan la clarificación. Con el uso de floculantes la clarificación es afectada por una amplia gama de variables.

El jugo de caña (guarapo) se define como una suspensión coloidal irreversible y poli dispersa , y cuyas partículas en suspensión no sólo representan distintos intervalos de tamaño sino que además tienen una composición química heterogénea. Cuando la solución de azúcar contiene fosfatos solubles y un exceso de iones de calcio, se forma un precipitado gelatinoso cristalino de tipo coloidal que se asienta lentamente. Cuando existe un exceso de fosfatos, se forma un precipitado similar. Pero, cuando el fosfato de calcio se forma con cantidades aproximadamente estequiométricas de calcio y fosfatos, se logra un comportamiento mucho mejor en cuanto a decantación. El potencial electro cinético (potencial Zeta) se mide mediante la técnica de microelectroforesis. Los precipitados en solución que contienen un exceso de iones de calcio poseen una carga electrocinética positiva; en un exceso de iones de fosfato, los precipitados poseen una carga negativa. En una solución de bajo contenido de fosfato, la clarificación se mejora aplicando el principio de neutralización de la carga coloidal. Por ejemplo, la concentración de iones de calcio se incrementan añadiendo CaCl_2 . Esto no aumenta la cantidad de fosfato de calcio, pero neutraliza las cargas negativas en exceso, y de esta manera mejora la clarificación.

1.3.3 Química básica de la floculación

1.3.3.1 Antecedentes

El proceso de floculación se ha usado en la etapa de defecación en la fabricación de azúcar. Este proceso provee el mecanismo por medio del cual las impurezas insolubles suspendidas se agregan en flóculos que son convenientes para la separación por las unidades convencionales de sedimentación (clarificadores).

El rango de impurezas removidas por el proceso de floculación puede ser el mejor descrito con referencia al tamaño de la partículas, que se extiende de partículas que se observan a simple vista, por ejemplo los pedazos de caña, el bagacillo y las partículas de tierra, hasta moléculas de gran tamaño en el rango de los coloides, como por ejemplo los polisacáridos, las proteínas y complejos de silicatos.

A este rango deben ser agregados esas impurezas que son adsorbidas en la superficie de cualquier fase sólida presente en el sistema, o que son precipitadas durante el tratamiento químico y físico que ocasionan la floculación, por ejemplo las proteínas desnaturalizadas y sales de calcio insolubles.

La desestabilización y floculación de la suspensión puede ser accionada por tres métodos.

1.3.3.2 Neutralización de las cargas negativas

La magnitud de la carga depende del pH, y el punto isoeléctrico es alrededor del pH 3.5 (4), la floculación puede ser provocada por la adición de ácido (o SO_2) debajo de este pH. Alternativamente, la carga puede ser neutralizada por la adición de surfactantes cationicos orgánicos o por cationes inorgánicos polivalentes.

1.3.3.3 Reducción del grado de hidratación

Esto ocurre cuando el jugo es calentado a punto de ebullición, causando a un número de componentes proteínicos la precipitación y son depositados en la superficie de partículas suspendidas. Esta precipitación (desnaturalización) es un efecto de la deshidratación, la superficie de las partículas se vuelve menos hidratada, y la suspensión menos estable.

1.3.3.4 Enlace entre moléculas

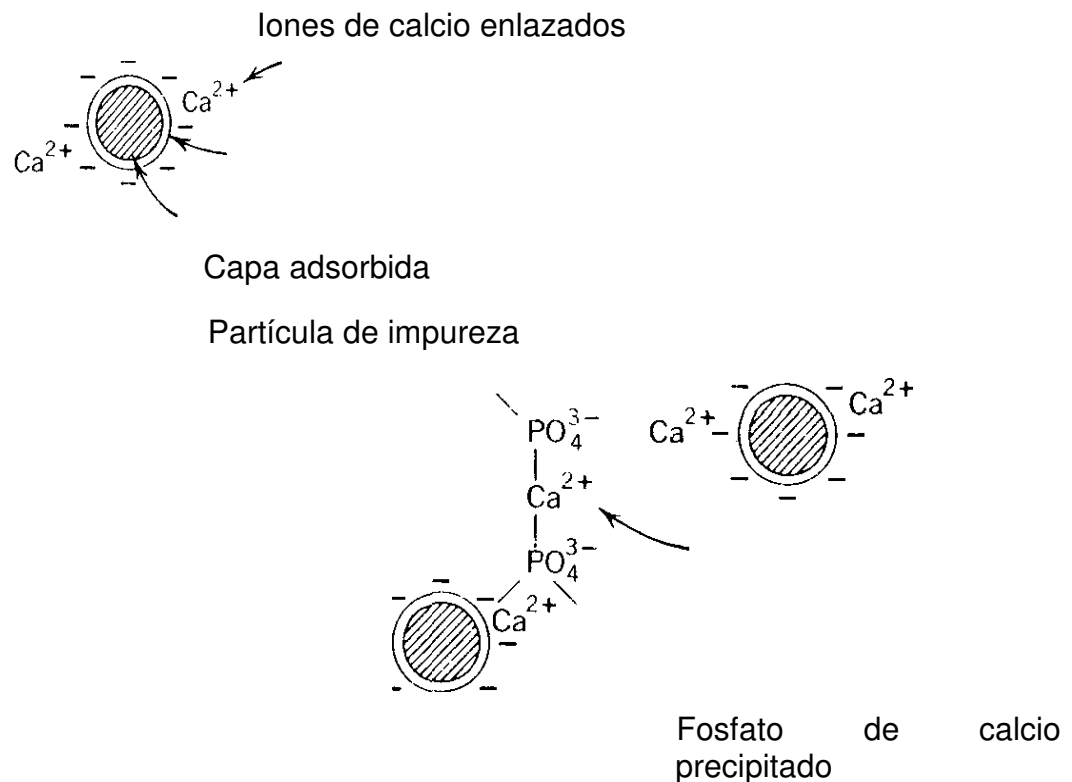
Esta es la base de todos los procesos de floculación corrientes usados en la industria azucarera, y envuelve la formación, in situ, de un precipitado inorgánico.

En la clarificación de jugo, esto ocurre con la adición de cal hasta valores de pH en jugo claro entre 6.8 a 7.2 (5) , entonces los fosfatos inorgánicos contenidos en forma natural en el jugo de caña son precipitados en varias especies de fosfatos de calcio. La razón de la notable y eficiente floculación de este precipitado de fosfato de calcio, no se conoce del todo, pero

la evidencia obtenida sugiere que este efecto es dependiente principalmente de los iones de calcio destinados a ser adsorbidos por la capa proteínica de la superficie de las partículas.

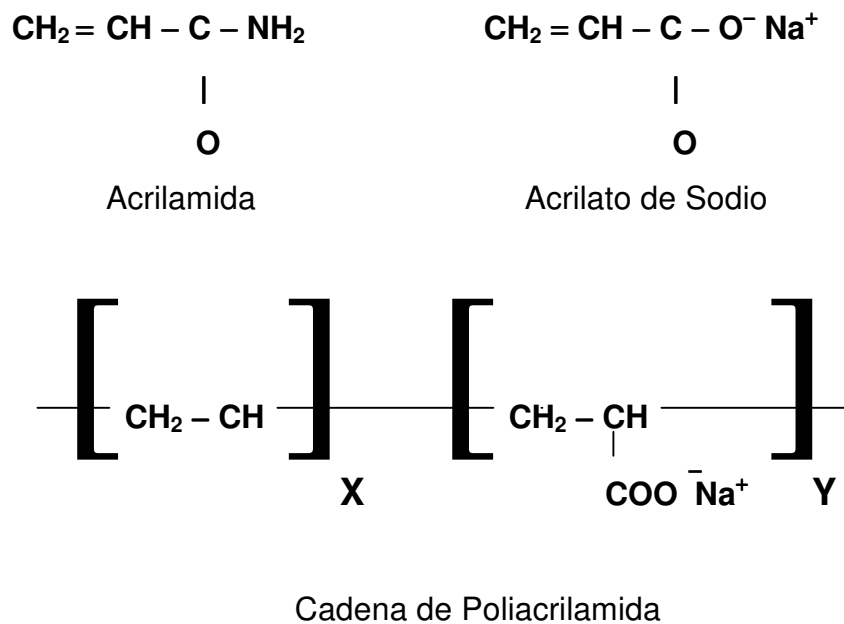
Los iones de calcio proveen el enlace esencial en los mecanismos unión entre moléculas, como se representa en la figura siguiente.

Figura 2 Iones de calcio y de fosfato de calcio



El mecanismo de floculación de enlace completamente nuevo ha sido comúnmente aceptado, este nuevo mecanismo hace uso de moléculas de gran peso molecular, que son capaces de unirse a las partículas de impurezas cercanas. Crees y colaboradores (6) han confirmado que los polímeros con pesos moleculares por debajo de 10^6 actúan sólo como estabilizadores. Así mismo, demuestran que los pesos moleculares deben ser del orden de 10^7 para obtener una buena clarificación. La dosificación normal de los polímeros para efectuar la clarificación es de 2 a 4 ppm con respecto al peso del jugo según Chen (7) . El único polímero floculante encontrado y aceptado ha sido el polímero lineal sintético basado en el ácido acrílico y la acrilamida.

Figura 3 Poliacrilamida hidrolizada.



Fuente: Mead – Chen, Manual del Azúcar de Caña, pagina 180

1.3.4 Mecanismo de floculación

Dos tipos de floculación han sido descritos, una causada por la precipitación, in situ, de un precipitado inorgánico, la otra causada por la atadura de una cadena larga de un polímero. Estos dos mecanismos son diferentes y emplean diferentes interacciones fisicoquímicas. Si un floculante de poliacrilamida es agregado al jugo mezclado sin tratar, por ser éste una suspensión estable, el efecto de floculación no puede ser detectado a simple vista. De cualquier manera, alguna floculación habrá ocurrido por la atadura de partículas simples de impurezas a lugares activos en la molécula del polímero, como se muestra en el diagrama siguiente:

Una mejora dramática en el efecto del polímero de poliacrilamida se basa, en el hecho de haber floculado las partículas en suspensión del jugo por el tratamiento convencional de cal y calor. En éste caso cada lugar activo en el polímero puede ligarse a un grupo de partículas.

1.3.4.1 Floculación primaria

La floculación primaria envuelve la agregación de partículas simples en libre suspensión en el jugo o licor en grumos que son la terminación de los floculos primarios. Estos floculos primarios pueden contener cualquier cantidad desde 10 a 10^4 (8) unidades de partículas por floculo, dependiendo del proceso de floculación primaria que ha sido empleado. En clarificación de jugo por ejemplo, el número de partículas por floculo primario aumenta a un valor máximo, lo cual incrementa la cantidad de fosfato de calcio precipitado.

1.3.4.2 Floculación secundaria

El proceso de floculación secundaria es superpuesto sobre la floculación primaria en orden a promover un nuevo incremento en el tamaño del floculo para dar de 10^5 a 10^7 (9) unidades de partículas por floculo que nos dan un tamaño de floculo, en algunos casos tan grandes como 1 cm. de diámetro.

La floculación secundaria es un eslabonamiento de los floculos primarios descritos. En dimensiones moleculares, el tamaño completo de los floculos primarios sugiere que únicamente los polímeros lineales muy largos son capaces de realizar un eslabonamiento, y no es una sorpresa por lo tanto, que los polímeros activos sean todos los de peso molecular extremadamente grande.

1.3.5 Coloides

Las partículas de tamaño coloidal, debido a su gran actividad superficial actuarán físicamente sobre un sistema fuera de toda proporción a su cantidad.

En el caso del jugo de caña estos efectos físicos serán en gran manera desfavorables en la clarificación, los coloides pueden prevenir la unión de las partículas en suspensión y, por lo tanto, interferir con su precipitación. Los coloides tenderán a incrementar la hidratación de las partículas haciéndolas de carácter gelatinoso, de tal manera que se asentarán lentamente formando precipitados voluminosos. Si no son eliminados del jugo, las sustancias coloidales pueden incrementar la viscosidad de la peladura y melaza haciendo

más lenta la filtración, favoreciendo la formación de espumas, incrementando el color y, finalmente, interfiriendo con la cristalización de la sacarosa.

Los coloides del jugo de la caña son de dos tipos: liofílicos y liofóbicos. En el jugo de la caña las principales sustancias liofílicas que existen son las pectinas, las pentosanas y las proteínas. Entre las sustancias liofóbicas están incluidas las grasas y las ceras, las partículas del suelo y el material extraño proveniente de la operación de molienda. Si el jugo ha estado sujeto a la acción de los microorganismos, se encontrarán entonces coloides adicionales altamente indeseables. Entre estos se encuentran las glucosazas y las levulosanas, de carácter mucilaginoso y liofílico. Según Bond, Derr y Kortschak (10) la cantidad de materia coloidal que existe en el jugo crudo está dentro de los límites de 0.02 y 0.29 %, y en la clarificación en promedio se consigue una eliminación aparente del 10 al 15%. Según estudios de Paine, Keane y McCalip (11) a un pH de jugo alcalizado de 7.18 se puede conseguir una eliminación de coloides del 18.3 %, pero a un pH de jugo alcalizado de 8.05 se puede obtener 25.3 % de separación de coloides.

1.3.6 Física básica de la clarificación

El material en suspensión responsable de la mayor parte de la turbiedad del jugo está en forma de dispersoides gruesos, es decir, de partículas que son removidas por la así llamada acción de barrido del floculo, formado principalmente, por la precipitación del fosfato de calcio.

Las partículas de un precipitado alcanzan su tamaño cuando la concentración de sustancias reaccionantes no es demasiado alta ni demasiado baja. Por lo tanto, pueden esperarse en el jugo las condiciones óptimas para

precipitar el fosfato de calcio cuando no hay un exceso ni un defecto en la cal presente en un instante dado. La adición gradual de la cal aunada a un mezclado eficiente produce resultados más favorables que la adición intermitente, ya que con esto se tendrían regiones de muy bajas y de muy altas concentraciones.

La velocidad de asentamiento de las partículas depende de su tamaño, forma y densidad, así como también de la densidad y viscosidad del jugo.

El tamaño y la forma de las partículas son factores importantes en la velocidad de asentamiento y las condiciones que originan que sean grandes y que tiendan a aproximarse a la forma esférica, son las que dan el asentamiento más rápido. Con el objeto de conseguir partículas grandes y densas que tengan una superficie pequeña, las condiciones deben favorecer la unión de las diminutas que se forman primero por medio de la acción química y de la coagulación de los coloides. El precipitado es predominantemente amorfo, pudiendo retener una apreciable cantidad de líquido. El calentamiento de los jugos acelera la formación de partículas de tamaño y densidad mayores debido a que incrementa la velocidad del movimiento, haciendo entonces que el número de oportunidades de contacto sea mayor y, por otra parte, favoreciendo la deshidratación de las partículas floculentas.

1.3.7 Efectos de la clarificación

Es imposible establecer un procedimiento de clarificación tipo que, en cualquier tiempo dé los mejores resultados en toda clase de jugos. Los extensos trabajos de cientos de investigadores apuntaron hacia una conclusión muy importante: que las pequeñas variaciones en la composición de los jugos

pueden producir grandes efectos en el comportamiento de ellos durante la alcalización y el calentamiento. En particular los pequeños cambios que ocurren en los constituyentes coloidales pueden tener un marcado efecto sobre las características de la precipitación. Es por esta razón que se encuentran muy grandes diferencias entre el comportamiento de los jugos de las cañas frescas y los de cañas deterioradas.

Probablemente, la proliferación de microorganismos, con su producción de sustancias coloidales, tiene el mayor efecto sobre la clarificación que cualquier otro factor.

1.3.7.1 Separación de sedimentos

Debe formarse en el jugo una cantidad adecuada de precipitación con objeto de que se obtengan buenas floculaciones y sedimentaciones. La cantidad de precipitado depende en primer lugar, de la cantidad de fosfatos que hayan en el jugo. Farnell estudió la formación y precipitación del fosfato de calcio en agua y en las soluciones de sacarosa y caña coloidal; tanto él como Bond demostraron que se forma un precipitado incompleto cuando la concentración del fosfato es menor de 0.003 gr. de P_2O_5 por 100 gr. de jugo crudo, estas cantidades con pequeñas variaciones en una y otra forma, se toma ahora en la industria como el requerimiento estándar. Los altos porcentajes de P_2O_5 son indeseables debido a que originan un gran volumen de sedimentos y, por otra parte, los jugos con un alto contenido de fosfato, del orden de 0.06% a 0.08%, tienden a formar floculos livianos que se asientan muy lentamente (12).

1.3.7.2 Claridad

Un jugo claro indica una precipitación definida y rápida, con una buena coagulación, de las partículas gruesas en suspensión y señala, por lo general, la presencia de cantidades relativamente pequeñas de protectores coloides. Los jugos deteriorados nunca dan un jugo claro, de ahí que la claridad de un jugo sea también indicación de una acción mínima de los microorganismos.

Normalmente, las hojas verdes y las puntas de la caña no son la causa de un jugo turbio, aunque sí producen jugos oscuros.

1.3.7.3 Pureza

La más engañosa de todas las cifras que se determinan en los estudios de clarificación, es la que indica un incremento en la pureza. Esto es parcialmente debido a los diferentes métodos de determinación de pureza. Por supuesto, la verdadera pureza se refiere al porcentaje de sacarosa en total de sólidos solubles. Por lo tanto, desde un punto de vista práctico, la elevación de la pureza es de poco valor en la apreciación del proceso de clarificación y no da indicación de la forma en que se comportarán los jugos en la evaporación.

1.3.7.4 Color

El color normalmente disminuye en el proceso de clarificación. El color oscuro de los jugos crudos es causado, en primer lugar, por varios derivados polifenólicos, el principal de los cuales es un tanino. Zerbàn ha demostrado que en presencia de hierro, que puede provenir del material de los

molinos, el color es dos o tres veces más oscuro que en su ausencia. Esto se atribuye a la interacción combinada de los polifenoles, la jacaza (que es una enzima oxidante) y las sales de hierro. Las sales terrosas de los molinos se oxidan a férricas por la acción enzimática, y éstas son las que producen los compuestos de color oscuro al combinarse con los polifenoles.

En la clarificación no se separan con efectividad las sustancias colorantes fenólicas, que de modo primario están en un estado coloidal. La cantidad real que ésta presente es, normalmente, menor del 0.01% (13), pero esto es suficiente para impartir un color oscuro a los jugos. El color también se origina en la reacción “pardeante” que tiene lugar entre los azúcares reductores y los aminoácidos; además, cuando se calienta los azúcares reductores bajo condiciones alcalinas dan productos de descomposición de color oscuro.

El precipitado de fosfato de calcio que se forma durante la alcalización absorbe color, y la cantidad absorbida se incrementa con el contenido de fosfato del jugo. Sin embargo, en la clarificación simple la separación generalmente no elimina todos el color producido durante el proceso.

1.4 Principios generales de la medición de color

1.4.1 Color en los productos del azúcar

El color y la turbiedad constituyen mediciones clave de la calidad del azúcar blanco. Muchos usuarios del azúcar industrial, establecen especificaciones muy estrictas acerca del color, turbiedad o ambos de los productos azucareros. Dado que los clientes de las tiendas de comestibles y supermercados utilizan el color del azúcar como una medida de la impureza, la

mayoría establecen también especificaciones bastantes estrechas en lo que se refiere al color de los productos azucareros destinados a la venta al menudeo.

Resulta obvio de la discusión anterior que la medición del color y la turbiedad en las operaciones de producción de azúcar blanco representa una de las importantes funciones de un laboratorio.

1.4.2 Naturaleza del colorante del azúcar

Antes de proceder a la discusión de las características de los colorantes, resultará provechoso adquirir un conocimiento acerca del origen del color. El espectro electromagnético consiste en radiaciones con longitudes de onda que varía de menos de un nanómetros (NM.) para los rayos X, hasta más de 25 cm. Para las ondas de radio (14). La luz visible representa sólo una región muy pequeña de este espectro electromagnético y se considera por lo general que varía de 400 NM a 800 NM. (15). La luz blanca visible está formada en realidad de muchos colores diferentes, y sólo cuando dichos colores se combinan en una relación apropiada es que la luz parece blanca.

Muchos compuestos orgánicos con grupos cromofóricos, incluyendo los colorantes del azúcar, muestran una absorción de una naturaleza característica en la región visible. Esta absorción de ciertas longitudes de onda causa un desequilibrio en las mezclas de colores, lo que da por resultado la aparición del color restante. Una solución de hemoglobina tiene la capacidad de absorber la luz azul y la verde con mucha mayor eficiencia que la roja. Así, el color transmitido contiene una mayor proporción de luz roja. El color de una solución de azúcar se dice a menudo que varía desde casi incoloro, pasando por los matices ámbar y pardo, hasta pardo oscuro y casi negro. Existen algunas variaciones en el matiz. Se nota ocasionalmente algunos tonos blancos, rojos

o verdes. Se debe hacer notar que esta descripción es meramente subjetiva, debido sencillamente a que el ojo humano no siempre distingue correctamente, y las propiedades de los colores cambian a menudo con la concentración del azúcar, la longitud de la trayectoria óptica o ambas.

1.4.3 Factores que afectan la determinación del color.

Cuando un rayo luminoso con una intensidad I_1 choca contra un sistema cuya longitud de celda (longitud de la trayectoria óptica) es b , son varios los factores que determinan la intensidad del rayo luminoso emergente I_2 que abandona la celda.

1.4.4 Índice de refracción

Cuando un rayo entrante choca contra la superficie de vidrio de una celda vacía, se refleja aproximadamente el 5% (16). El grado de reflexión depende de la diferencia en el índice de refracción entre el vidrio y el medio de contacto. Si la celda está llena de agua, cuyo índice de refracción se acerca la del vidrio, la pérdida por reflexión se reduce considerablemente. Es por esta razón que, mientras una celda vacía transmite aproximadamente el 82 % del rayo entrante, una celda llena de agua transmite más del 90 % (17).

1.4.5 Turbidez

Por definición, la determinación del color implica medir la absorción de la luz entrante mediante las sustancias (colorantes) presentes en la solución. Por consiguiente, la dispersión de la luz que entra se debe reducir al mínimo. Para cumplir con esta condición se recomienda que la solución de azúcar de color claro se filtre a través de filtros de membrana de $0.45\ \mu\text{m}$ (18). La primera porción del filtrado se debe desechar en el caso de que esté turbia. El diseño del instrumento debe ser tal que reduzca al mínimo la inclusión de la luz que se dispersa hacia delante en la medición de la luz transmitida. Lo anterior se logra restringiendo el tamaño de la apertura receptora de manera que sólo dé cabida al royo restringido.

1.4.6 Longitud de onda

La absorción cambia rápidamente con la variación en la longitud de onda. Es por consiguiente esencial que se especifique la longitud de onda a la que se realizará la medición. ICUMSA utiliza una longitud de onda de 420 NM para los azúcares blancos (19). La comparación del color de las diversas soluciones de azúcar sólo es válida cuando las mediciones de color se hacen a la misma longitud de onda. Puesto que la absorción cambia rápidamente con la longitud de onda, es muy importante seleccionar un espectrofotómetro con longitud de onda ajustable, el ajuste debe hacerse tan cercano como sea posible a la longitud de onda especificada.

1.4.7 pH

Como ya se hizo notar en la discusión anterior, los colorantes del azúcar son sensibles al pH. Por lo general, existe un rápido aumento de la absorción en la región de pH neutro. Esto resulta particularmente cierto cuando se utiliza una longitud de onda de 420 NM para las mediciones de color. Los cambios de absorción originados por el pH son menos significativos a 560 NM. Para la comparación en cuanto al color de los diversos azúcares y productos azucareros, todo color se debe medir a un pH especificado; ICUMSA recomienda un pH de 7 ± 0.2 para la medición de color (20). La necesidad de precisión en los ajustes del pH lo ilustra el hecho de que un error de 0.1 de la unidad de pH en el ajuste del pH a 7.0 origina un error de 5% o más en la lectura del color (21).

1.4.8 Concentración

Como ya se ha discutido, se supone que la concentración de los colorantes está proporcionada a la densidad de una solución dada de azúcar cuyo color se va a medir. Por consiguiente, la medición del color a las varias densidades del azúcar puede ser corregidas a una concentración unitaria para fines de comparación. La dilución del azúcar tiende a disminuir la exactitud de las mediciones a causa no sólo de un cambio en el índice de refracción como se describió anteriormente, sino también debido a la naturaleza de los colorantes a través de un desplazamiento en el equilibrio de los colorantes aniónicos. Es por ésta razón que el color se debe medir siempre que sea posible en una solución a 50 °Brix.

1.4.9 Longitud de la celda

La absorción varía asimismo directamente con la longitud de la celda de la muestra como lo indica la ley de Beers. Desde el punto de vista teórico, es posible medir el color utilizando celdas que varíen de 1 a 10 cm. (22) y corregir los resultados a la longitud unitaria de la celda mediante la ecuación 3. No obstante, la luz desviada que entra al compartimiento del detector del instrumento constituye una fuente potencial de error y éste aumenta conforme disminuya la longitud de la celda. Por consiguiente, resulta aconsejable utilizar una celda de mayor longitud siempre que sea apropiado.

2. METODOLOGÍA

2.1 Metodología de investigación

2.1.1 Ubicación

La investigación se llevará a cabo en: Ingenio San Diego.

2.1.2 Recurso humano

Investigador: Carlos Roberto Morales Cuellar

Asesor: Ing. Ricardo Mauricio Ramírez Morán

2.1.3 Equipo y cristalería

- Beacker de acero inoxidable para el muestreo.
- Baño María.
- Beacker de cristal.
- Pipetas.
- Celdas para espectrofotómetro de 1 cm.
- Potenciómetro.
- Espectrofotómetro.
- Pipetas.
- Termómetro.
- Embudos.
- Tubos de ensayo.
- Clarificador tipo Dorr

- Refractómetro.
- Membranas Millipore
- Bomba de vacío.
- Balanza Analítica.
- Mufla con agitador magnético.

2.1.4 Producto a Usar

- Jugo de caña de azúcar.
- Azúcar blanco estándar .

2.2 Muestreo y preparación de la muestra

- Lavar el beacker de acero inoxidable de dos a tres veces con el jugo clarificado antes de tomar la muestra. Se hace lo mismo para el muestreo del jugo alcalizado.
- Tapar el beacker para el traslado al laboratorio para asegurarse que no le caiga agua o una sustancia extraña a la muestra.
- Al llegar al laboratorio introducir la muestra en el baño María y enfriarla tan rápido sea posible a la temperatura de laboratorio (20 – 25 °C).

2.3 Metodología experimental

2.3.1 Análisis de turbidez de jugo

- Lavar la celda para espectrofotómetro de 1 cm., de dos a tres veces con la muestra de jugo clarificado y luego llenarla con la muestra que se ha enfriado. Observar que la celda quede llena en su totalidad.
-
- Lavar la celda para espectrofotómetro de 1 cm., de dos a tres veces con agua destilada y luego llenarla con esta agua, esta servirá como la muestra cero o patrón del espectrofotómetro.
- .
- Introducir la celda con agua destilada en el apartado 1 del espectrofotómetro y setearlo a absorbancia cero "0" en una longitud de onda de 920 nm. (manómetros).
-
- Colocar la celda con la muestra de jugo y tomar la lectura de absorbancia que da el espectrofotómetro a una longitud de onda de 920 nm.
- La turbidez se calcula con la siguiente fórmula:

2.3.2. Elaboración de color de azúcar

- Tarar un beacker de 250 ml.
- Pesar 50 gr. de azúcar en el beacker de 250 ml.
- Tarar un beacker de 250 ml.
- Pesar de agua desmineralizada pH = 7.0

- Mezcla el agua y azúcar y agitarlos por un tiempo de 5 minutos en el agitador magnético.
- Luego filtrar la solución con membranas millipore con ayuda de la bomba de vacío.
- Pasar la solución filtrada a un beacker de 100 ml. ajustar el pH a 7.0.
- Toma una alícuota de la solución filtrada y medir el brix en el refractómetro.
- Lavar la celda de 1 cm. Con la solución filtrada y luego pasar la solución filtrada a la misma celda.
- Coloque la celda en el espectrofotómetro y mida a una longitud de onda de 420 nm.
- Para la determinación del color de azúcar se utilizara la siguiente ecuación.

Ecuación No. 3

Color U.I. = (absorbancia) (1000)/ (Factor de corrección) (brix obtenido)

3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.1 Diseño experimental

Se determinará una variable independiente que será el % de remoción de turbidez, para determinar esta variable se realizarán tres análisis diarios, a dichos análisis se les sacará un promedio para obtener el dato del día. Para la variable dependiente que es el color de azúcar se realizarán seis análisis diarios los cuales el promedio será el dato del día.

3.2 Variables independiente y dependiente

Variable independiente: Porcentaje de remoción de turbidez del jugo.

Variable dependiente: Color de azúcar blanco estándar.

Para el cálculo del % de remoción de turbidez se determinará primero los lugares de muestreo, luego se calculará el tiempo de residencia del jugo en los clarificadores y por último la frecuencia de los análisis.

Se tomarán muestras durante 47 días que multiplicado por 3 análisis por día se tendrá en promedio 141 datos tomados durante 84 días de zafra produciendo azúcar blanco estándar lo que hace una muestra que representa el 60 % de la población, mismo porcentaje de la variable dependiente que es el color de azúcar blanco estándar.

3.3 Coeficiente de correlación r

Cálculo de r para la correlación % de remoción de turbidez vrs color de azúcar:

$$r = S_{xy} / \sqrt{(S_{xx})(S_{yy})}$$

Donde:

$$S_{xx} = \sum X_i^2 - [(\sum X_i)^2 / n]$$

$$S_{yy} = \sum Y_i^2 - [(\sum Y_i)^2 / n]$$

$$S_{xy} = \sum X_i Y_i - [(\sum X_i)(\sum Y_i) / n]$$

3.4 Prueba de hipótesis

Determinación de la validez de las hipótesis planteadas cuando $n \geq 30$ asumiendo que las variables dependientes e independientes siguen una distribución normal divariada:

- Estadístico de prueba:

Ecuación 5

$$z = r \sqrt{(n-2) / (1-r^2)}$$

Donde:

r = Coeficiente de correlación

n = Número de datos

- Región de rechazo o crítica con $\alpha = 0.05$:

$$Z > Z_{\alpha} \quad \text{ò} \quad Z < -Z_{\alpha}$$

Donde:

$$Z_{\alpha} < -1.96 \quad \text{y} \quad Z_{\alpha} > 1.96$$

- Valor **P** que es el nivel mas bajo de significancia en el cual el valor observado del estadístico de prueba es significativo.

$$P = 1 - A$$

Donde:

A: Dato de tabla A_3 según dato de Z (23)

4. RESULTADOS

4.1 Porcentaje de remoción promedio de ambos clarificadores:

Ecuación 4

$$X = \Sigma X_i / n$$

Donde:

X_i = Datos del día

n = Número total de datos

Tabla I Resultados %remoción promedio

APARATO	% REMOCIÓN PROMEDIO
Clarificador 1	77.50
Clarificador 2	77.19

4.2 Gráfico de porcentaje de remoción vrs color de azúcar

Figura 4 Gráfica clarificador 1

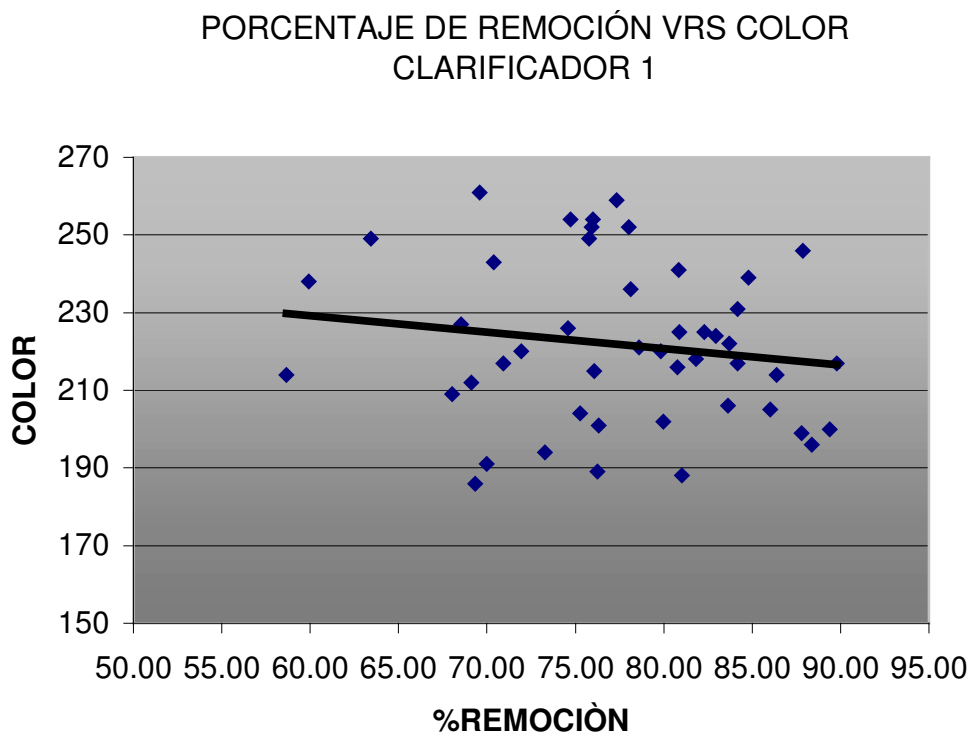
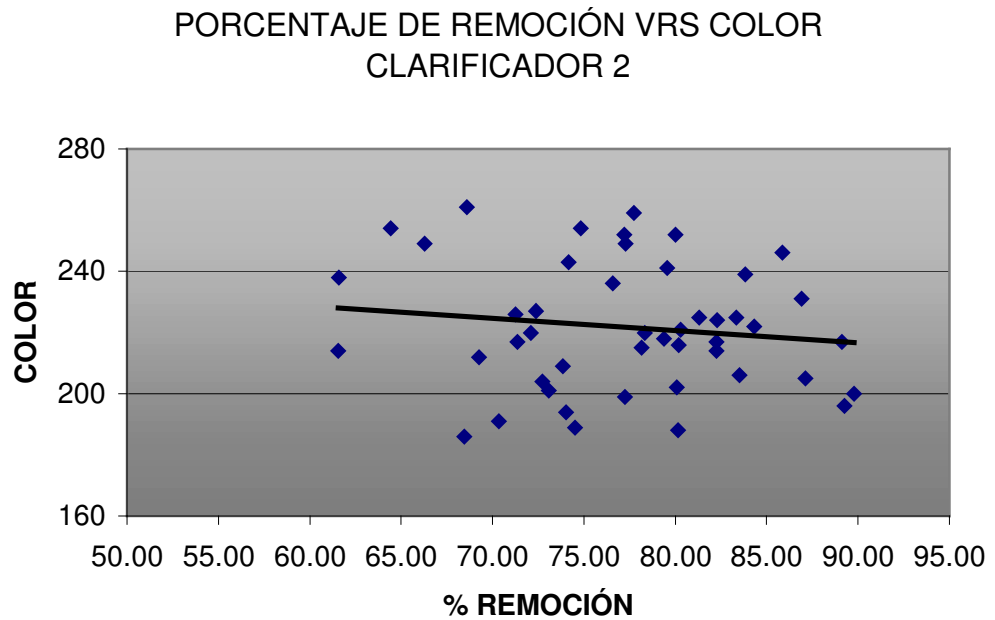


Figura 5 Gráfica clarificador 2



4.3 Coeficiente de correlación r

Tabla II Coeficiente de correlación de los clarificadores

APARATO	COEFICIENTE r
Clarificador 1	0.020622
Clarificador 2	0.020638

4.4 Prueba de hipótesis

Tabla III Resultados de la prueba de hipótesis para los clarificadores

APARATO	Z	$-Z_{\alpha} > Z > Z_{\alpha}$	P
Clarificador 1	0.138364361	$-1.96 > Z > 1.96$	0.4443
Clarificador 2	0.138471922	$-1.96 > Z > 1.96$	0.4443

Se rechaza H_0 con lo cual aceptamos que no hay una correlación lineal aceptable.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Mediante el uso de la prueba de hipótesis para media poblacional, cuando $n > 30$ de un extremo se analizaron 47 días de proceso con tres análisis por día, con lo cual se da 141 datos que representan el 60% de días de producción con lo cual se evaluaron las hipótesis planteadas y se llegó a establecer con un nivel de significancia del 95% el efecto de la variable independiente, porcentaje de remoción de turbidez, sobre la variable dependiente color de azúcar.

A partir de los datos, se calculó el promedio del porcentaje de remoción de turbidez de los clarificadores dando un promedio del 70%, resultados que se pueden observar en la tabla I; con los mismos datos se procedió a elaborar un gráfico de dispersión de datos para poder observar una tendencia, se puede observar en las figuras IV y V, donde se determina que existe una tendencia muy leve.

Según los datos de porcentaje de remoción de turbidez y color se procedió a calcular el coeficiente de correlación r dando como resultados para el clarificador 1 0.020622 y para el clarificador 2 0.020638, resultados que se pueden observar en la Tabla II con lo cual se determina, al igual que en el gráfico de dispersión de datos, que no existe una correlación lineal significativa entre el porcentaje de remoción de turbidez y el color de azúcar.

Se procedió a elaborar la prueba de hipótesis para corroborar si existe una correlación entre las variables planteadas, dando como resultados datos de Z dentro del área de rechazo planteada, datos que se pueden observar en la Tabla III con lo cual se determina, nuevamente, que se acepta la hipótesis,

opción en la cual se dice que no existe una correlación lineal significativa, entre el porcentaje de remoción de turbidez y el color de azúcar blanco estándar.

Con los resultados obtenidos se puede, también, determinar en función del proceso de producción de azúcar que una buena clarificación del jugo es muy importante en la obtención de un producto final, azúcar, de mejor calidad, pero hay procesos posteriores a la clarificación del jugo, en la cual, si no se da un buen manejo de los materiales intermedios, la calidad del producto se puede deteriorar, afectando la relación que pueda existir entre una buena clarificación y la calidad del producto final.

Con los datos obtenidos del porcentaje de remoción de turbidez en cada aparato y, a la vez, tomado como un indicador de eficiencia podemos determinar que el comportamiento de los dos clarificadores es muy similar.

CONCLUSIONES

1. No existe una correlación lineal significativa entre el porcentaje de remoción de turbidez del jugo y el color de azúcar blanco estándar.
2. Según el porcentaje de remoción de turbidez, utilizado como un indicador, existe una operación similar en cada uno de los clarificadores.
3. La influencia del porcentaje de remoción de turbidez en el color de azúcar puede verse afectada por procesos posteriores a la clarificación de jugo, dentro del proceso de fabricación de azúcar blanco estándar.

RECOMENDACIONES

1. Con la finalidad de poder complementar los procedimientos del área de clarificación de jugo, tomar los resultados del porcentaje de remoción de turbidez como parámetro de operación.
2. El estudio de las otras variables que afectan una buena clarificación sería de utilidad para obtener más parámetros de operación del área de clarificación.
3. Estudiar los procesos posteriores a la clarificación del jugo y su posible influencia en el color de azúcar blanco estándar.

REFERENCIAS

1

Guzmán, Sergio. **“IV Curso de especialización en ingeniería azucarera fabricación y laboratorio”**. TAYASAL, Guatemala 1990. pp 560.

2

Hugot, E. **“Manual para ingenieros azucareros”**, 1th. edición, Editorial Continental, México 1964. pp. 294

3

Ibid, pp. 295

4

Bautista Sandoval, Elfego Arturo. “Manual de operación del área de clarificación de ingenio La Unión”. **Tesis de ingeniería química, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala 2000. pp. 43**

5

Honing, Peter. **“Pincipios de tecnología azucarera”**. C.E.C.S.A., Nueva York, USA, 1969. Pp. 423

6

Spencer, Guilfor L. y George Meade. **“Manual del azúcar de caña”** 9th edición, España: Montaner y Simon 1967. pp. 180

7

Ibid, pp. 182

8

Bautista Sandoval, op. cit., pp. 48

9

Ibid, pp. 49

10

Spencer, Guilfor L. y George Meade, op. cit. pp. 186

11

ibid, pp. 186

12

Honing, Peter; op. Cit., pp 425

13

Bautista Sandoval, op. cit., pp. 48

14

Spencer, Guilfor L. y George Meade, op. cit. pp. 786

15

ibid, pp. 786

16

ibid, pp. 791

17

ibid, pp. 791

18

ibid, pp. 792

19

ibid, pp. 793

20

ibid, pp. 792

21

ibid, pp. 792

22

ibid, pp. 793

23

Walpole, Ronald E. **Probabilidad y Estadística** , Cuarta edición
Tercera edición en español, McGraw-Hill, México,1992. Pp. 640

BIBLIOGRAFÍA

1. Arca, Manuel P. Y Raúl Esparza. **“Clarificación de Jugo”** Haciendo azúcar, Vol. 3 Miami Florida USA, Arca Corporation 1983. 119 pp.
2. Bautista Sandoval, Elfego Arturo. **“Manual de operación del área de clarificación de ingenio La Unión”**. Tesis de ingeniería química, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala 2000. pp 41-54
3. Cullen Sampaio, Fernando. **“Fisicoquímica de la clarificación”** COPERSUCAR, Estado de Sao Paulo, Brasil 1990. 35 pp.
4. Cullen Sampaio, Fernando. **“Tecnología de manejo y aplicación de floculantes”** COPERSUCAR, Estado de Sao Paulo, Brasil 1990. 40 pp.
5. Guzmán, Sergio. **“IV Curso de especialización en ingeniería azucarera fabricación y laboratorio”**. TAYASAL, Guatemala 1990. 120 pp.
6. Honing, Peter y Fernando de Miguel. **“Efectos que produce en la fabricación de azúcar el incremento de CaO en el guarapo claro”**, Asociación de técnicos azucareros de Cuba, XXXIII Memoria Anual, Habana Cuba, S.A. 15 pp.
7. Honing, Peter. **“Principios de tecnología azucarera”**. Tomo I, C.E.C.S.A., Nueva York, Nueva York USA, 1969. pp 423-560.

8. Hugot, E. **“Manual para ingenieros azucareros”**, 1th. edición, México, Editorial Continental, 1964. 803 pp.
9. Hugot, E. **“Handbook of cane sugar engineering”** The Netherlands, Elsevier Science Publisher, 3th edición, 1986. 1166 pp.
10. Spencer, Guilfor L. Y George Meade. **“Manual del azúcar de caña”** novena edición, España: Montaner y Simon 1967. 940 pp.
11. Walpole, Ronald E. **Probabilidad y Estadística** , Cuarta edición Tercera edición en español, México, McGraw-Hill, 1992. pp 299-347 y 373-408.

ANEXOS

DATOS EXPERIMENTALES CLARIFICADOR 1

Tabla IV Tabulación de datos clarificador 1

FECHA	ABSORBANCIA	TURBIDEZ	% REMOCION	COLOR
27/01/2003	0.4485	44.85	74.73	254
28/01/2003	0.3300	32.50	84.80	239
29/01/2003	0.3420	34.20	81.83	218
30/01/2003	0.2590	25.96	89.80	217
31/01/2003	0.4130	41.30	80.85	241
01/02/2003	0.3660	36.60	78.14	236
02/02/2003	0.3440	34.40	83.71	222
03/02/2003	0.3300	33.03	79.96	202
04/02/2003	0.4185	41.85	69.35	186
05/02/2003	0.5240	52.40	69.11	212
06/02/2003	0.5080	50.86	77.32	259
07/02/2003	0.4710	47.15	75.93	252
08/02/2003	0.6720	42.20	76.06	215
09/02/2003	0.4340	43.43	58.65	214
10/02/2003	0.3730	37.33	84.18	217
11/02/2003	0.3400	34.00	59.91	238
12/02/2003	0.2950	29.50	80.87	225
13/02/2003	0.4580	45.83	79.84	220
14/02/2003	0.4560	45.60	76.31	201
15/02/2003	0.7240	72.45	87.81	199
16/02/2003	0.4350	43.50	71.93	220
17/02/2003	0.4510	45.16	74.58	226
18/02/2003	0.4730	47.30	68.03	209
19/02/2003	0.4686	46.86	76.24	189
20/02/2003	0.4613	46.13	75.26	204
21/02/2003	0.4320	43.20	73.27	194
22/02/2003	0.4780	47.80	69.99	191
23/02/2003	0.5150	51.50	82.95	224
24/02/2003	0.4600	46.00	76.00	254
25/02/2003	0.8560	85.60	63.43	249
26/02/2003	0.6820	68.20	69.58	261
27/02/2003	0.4420	44.23	75.76	249
28/02/2003	0.3560	35.60	84.16	231
01/03/2003	0.3260	32.60	83.62	206
02/03/2003	0.5050	50.55	68.52	227
03/03/2003	0.4073	40.75	78.02	252
04/03/2003	0.2180	21.80	87.85	246
05/03/2003	0.4370	43.75	86.03	205
06/03/2003	0.4630	46.30	70.92	217
07/03/2003	0.4370	43.75	80.77	216
08/03/2003	0.2990	29.90	86.39	214
09/03/2003	0.5230	52.30	89.38	200
10/03/2003	0.3360	33.63	88.37	196

DATOS EXPERIMENTALES CLARIFICADOR 2

Tabla V Tabulación de datos clarificador 2

FECHA	ABSORBANCIA	TURBIDEZ	% REMOCION	COLOR
27/01/2003	0.6075	60.75	64.42	254
28/01/2003	0.3570	35.70	83.84	239
29/01/2003	0.3933	39.33	79.38	218
30/01/2003	0.2743	27.43	89.13	217
31/01/2003	0.4495	44.95	79.55	241
01/02/2003	0.3910	39.10	76.59	236
02/02/2003	0.3320	33.20	84.33	222
03/02/2003	0.3200	32.00	80.08	202
04/02/2003	0.4310	43.10	68.47	186
05/02/2003	0.5195	51.95	69.26	212
06/02/2003	0.5000	50.00	77.74	259
07/02/2003	0.4445	44.45	77.21	252
08/02/2003	0.5930	59.30	78.14	215
09/02/2003	0.4146	41.46	61.57	214
10/02/2003	0.3683	36.83	82.24	217
11/02/2003	0.3485	34.85	61.58	238
12/02/2003	0.2876	28.76	81.32	225
13/02/2003	0.4940	49.40	78.32	220
14/02/2003	0.5165	51.65	73.08	201
15/02/2003	0.5600	56.00	77.23	199
16/02/2003	0.4310	43.10	72.11	220
17/02/2003	0.5063	50.63	71.25	226
18/02/2003	0.4026	40.26	73.85	209
19/02/2003	0.5103	51.03	74.53	189
20/02/2003	0.4933	49.33	72.72	204
21/02/2003	0.4200	42.00	74.03	194
22/02/2003	0.4660	46.60	70.33	191
23/02/2003	0.5365	53.65	82.28	224
24/02/2003	0.4790	47.90	74.84	254
25/02/2003	0.7890	78.90	66.30	249
26/02/2003	0.6915	69.15	68.61	261
27/02/2003	0.4163	41.63	77.28	249
28/02/2003	0.2965	29.65	86.90	231
01/03/2003	0.3280	32.80	83.50	206
02/03/2003	0.4365	43.65	72.36	227
03/03/2003	0.3693	36.93	80.01	252
04/03/2003	0.2540	25.40	85.85	246
05/03/2003	0.4040	40.40	87.12	205
06/03/2003	0.4560	45.60	71.36	217
07/03/2003	0.4510	45.10	80.18	216
08/03/2003	0.3240	32.40	82.25	214
09/03/2003	0.5060	50.60	89.78	200
10/03/2003	0.3233	32.33	89.24	196
11/03/2003	0.4836	48.36	80.16	188

MUESTREO PARA ANÁLISIS DE TURBIDEZ DE JUGO

PUNTOS DE MUESTREO

- El alcalizado es el punto de entrada a los clarificadores.
- Los rebalses de cada clarificador son los puntos de salida del jugo.

FRECUENCIA DE ANÁLISIS

- Un análisis por turno.

RESPONSABLE DEL ANÁLISIS Y MUESTREO

- Analista de Fábrica.
- Ayudante de analista de fábrica.

HORARIO DE MUESTREO Y ANÁLISIS:

- Turno de 6:00 a 14:00

Muestreo y análisis de Jugo alcalizado : 8:00 A.M.

Muestreo y análisis de Jugo rebalses: 11:00 A.M.

- Turno de 14:00 a 22:00

Muestreo y análisis de Jugo alcalizado: 16:00 P.M.

Muestreo y análisis de Jugo rebalses: 19:00 P.M.

- Turno de 22:00 a 6:00

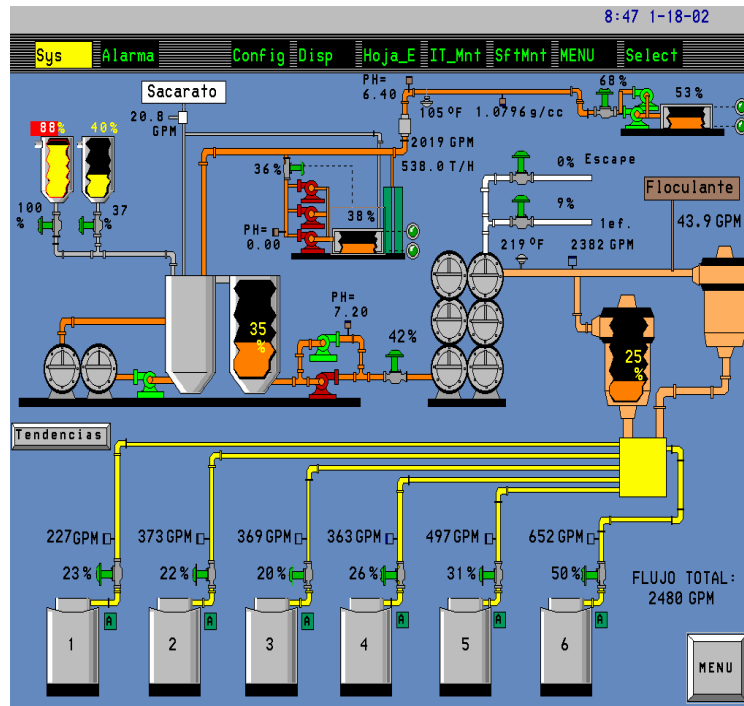
Muestreo y análisis de Jugo alcalizado: 00:00 A.M.

Muestreo y análisis de Jugo rebalses: 03:00 A.M.

PURIFICACIÓN DEL JUGO

Purificación del jugo: Este proceso consiste en eliminar del jugo la mayor cantidad de impurezas tales como arena, solidos insolubles y otro material a través de la sedimentación. En este proceso están involucradas las siguientes operaciones:

Sulfitación, Calentamiento, aplicación de floculante, clarificación de jugo y eliminación de lodos.



1.1 CONTROL DE FLUJO DE JUGO AL CLARIFICADOR

