

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

SISTEMAS DE CLARIFICACION EN LA
INDUSTRIA AZUCARERA

TESIS que para obtener el Título de
INGENIERO QUIMICO
presentan

Susana Elena Ramírez Ruíz Esparza

Josefina Paz Becerril Albarrán

288



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Tesis
LAB. _____
AGE. _____
FECHA 1974
PROC. M1431
8 _____



QUIM. C.

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE SEGUN EL TEMA.

| | | |
|-------------------------------|----------------|-----------------------------|
| | PRESIDENTE: | Héctor Manuel López Herrera |
| | V O C A L: | Enrique García Galeano |
| Jurado asignado originalmente | SECRETARIO: | Antonio Reyes Chumacero |
| Según el tema | 1er. SUPLENTE: | Cutberto Ramírez Castillo |
| | 2do. SUPLENTE: | Rubén Berra García Cóss |

Sitio donde se desarrolló el tema: Biblioteca de la Facultad de Química
Biblioteca de Petróleos Mexicanos
Biblioteca de U.M.P.A.S.A.

SUSTENTANTES:

JOSEFINA PAZ BECERRIL ALBARRAN

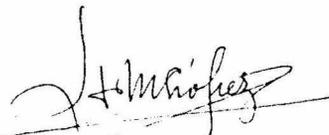


SUSANA RAMIREZ RUIZ ESPARZA



ASESOR DEL TEMA:

ING. QUIM. HECTOR MANUEL LOPEZ HERRERA



X

A mis padres y hermanos
con todo mi cariño

A David
con amor

A mis amigos y Maestros

Al Ing. Héctor Manuel López A.
Al Ing. Jorge Luis Tovar

Josefina

A mis padres
con todo mi cariño

a mi tía Georgina

a Mario Arturo

Con agradecimiento por la ayuda prestada

a

Ing. Héctor Manuel López H.

Ing. Jorge Luis Tovar

Sr. Federico Caballero

A todos mis amigos

A la U.N.A.M.

Susana Elena

INTRODUCCION

Que equipo es el más idóneo para el proceso de clarificación del azúcar? .

El motivo del presente trabajo es dar una respuesta a la cuestión arriba planteada .
Dado el tratamiento y enfoque de la Industria Azucarera en nuestro país, se tratará de plantear la manera en que se pueda resolver un problema de importancia capital, que es el poder tener algún criterio técnico para que conforme a las necesidades de la industria, se pueda escoger un determinado tipo de clarificador .

Poco probable es el lograr un tratamiento lo suficientemente completo sobre la Industria Azucarera sin correr el riesgo de tratar a medias, muchos tópicos importantes al respecto .

Es por lo anterior, que se hace el presente estudio sobre el proceso de clarificación del jugo extraído de la caña de azúcar .

El fin último es poder llegar a determinar de la mejor forma y con una base técnico-científica, cual es el equipo más conveniente y adecuado para el tipo de condiciones que prevalecen en nuestro país .

El procedimiento seguido será, en primer lugar, un estudio directo del proceso de la fabricación del azúcar, con el objeto de tener una base de información a la que se pueda referir en todo momento; acto seguido se realizará un análisis de tipo técnico de los diversos procesos de clarificación, y se mencionará de una manera descriptiva los clarificadores más representativos en la industria azucarera de México, como son: el Dorr, el Graver, el Bach, y el Bach-Povel.

Quizá la parte más interesante y a la vez más realista desde el punto de vista práctico, sean los concensos que se realizaron a partir de las visitas a algunos de los ingenios que se encuentran en la República Mexicana, en los cuales se encuentran en funcionamiento los clarificadores mencionados.

Se tiene confianza en que el presente estudio sea de algún valor informativo y de utilidad para la industria azucarera de nuestra patria.

CAPITULO I

CAPITULO I

GENERALIDADES :

Diagrama de Flujo:

1.1.- La industria de la caña de azúcar:

Los requerimientos de azúcar del mundo son suministrados por dos fuentes principales, la caña de azúcar y el azúcar de remolacha. La caña de azúcar ha sido conocida desde hace 2000 años por lo menos, la caña se consumió al principio directamente, pero más tarde se utilizó su zumo fresco o fermentado y mezclado con el agua. La obtención del azúcar sólido es posterior, probablemente se realizó en la India, como parece deducirse de su etimología, del vocablo hindu Sárkara, el cual denota material en forma granular y es el origen del término "AZUCAR".

El cultivo de la caña fue introducido primero en Persia, hacia el final del siglo V, por los árabes. En Egipto la fabricación del azúcar se perfeccionó por los conocimientos químicos de los Egipcios que conocían aparatos para la filtración, destilación y cristalización, y además sabían clarificar

Los zumos de distintas plantas, la ebullición y cristalización repetidas que son procedimientos poco económicos, por las pérdidas de azúcar fueron substituidos por una operación en que se dejaba fluir el jarabe, y por la eliminación lenta del residuo o excedente por el agua.

La fabricación de azúcar se desarrolló ampliamente en Egipto en los siglos IX y X, de ahí fué introducida en Palestina y en Siria, quienes las llevaron a toda Europa, concentrando el cultivo de la caña en el Mediterráneo, y principalmente en España.

En su segundo viaje a las Indias, Colón llevó caña de España a Santo Domingo, donde prosperó fácilmente. El cultivo de la caña de azúcar se extendió pronto por Santo Domingo a Cuba y México, y más tarde a Perú y otros países del continente.

1.2. Climas y Areas de Caña:

Climáticamente la caña de azúcar es una planta tropical, en cambio la remolacha florece en climas fríos, por lo tanto, la caña de azúcar crece y se produce en países situados principalmente en los trópicos.

La caña de azúcar requiere altas temperaturas y un amplio suministro de agua durante el período de crecimiento, por lo tanto, es necesaria una gran cantidad de lluvias o una copiosa aplicación de agua de irrigación para el

crecimiento satisfactorio de la caña. Con la ayuda de la reproducción sistemática de caña, las variedades han sido producidas para ajustar a un gran rango de climas, y a resistir en sumo grado condiciones de sequía, tanto como para resistir otras condiciones adversas tales como las enfermedades de la caña.

1.3.- Variedades de Caña:

La caña de azúcar es una hierba gigante que pertenece al género *Saccharum*. Las cañas llamadas nobles o nativas, que eran todas las cañas cultivadas en las regiones tropicales y semitropicales del mundo, hasta que se introdujeron las variedades nacidas de semillas.

Las variaciones en el tamaño y en el color, dependen de los métodos de cultivo, del terreno, del clima y de la selección hecha en cada región.

Cuatro son las especies que se conocen:

- a) *Saccharum Barberi* (Caña India)
- b) *Saccharum Sinense* (Caña China, "ZUBA")
- c) *Saccharum Spontaneum* (Caña Silvestre del sur de Asia y de las Islas del Pacífico)
- d) *Saccharum Robustum* (Caña de Nueva Guinéa)

Hasta el año de 1887, se creía que las flores de la caña de azúcar eran - -

estériles, pero en la isla de Java y Barbados, se descubrió que las semillas eran viables y de las cuales se pueden obtener nuevas cañas.

Antiguamente, es decir, antes de 1887, las plantaciones de caña comerciales, se llevaron a cabo por medio de estacas, nunca por semillas. En Java, Barbados y Demerara, se buscaron nuevas variedades para su explotación comercial, y así se obtuvieron miles nacidas de las semillas, y también por hibridación de las llamadas cañas nobles (*Saccharum Officinarum*) con otras especies. Así se obtuvieron los siguientes tipos:

P.O.J. 2878 (Proefstation Oest Java)

D (Demerara)

H (Hawaii)

B (Barbados)

P.R. (Puerto Rico)

C.P. (Canal Point, Florida E.U.)

Co. (Coimbatore, India)

P.T. (Ping Tung, Taiwan)

B.H. (Híbrido de Barbados)

Q (Queensland, Australia)

Y en algunas se han substituído las letras por números de serie.

32 - 8560

Al encontrar nuevas variedades se procuró que éstas fueran resistentes a

enfermedades, a plagas, y con rendimientos superiores de azúcar por unidad de terreno.

ENFERMEDADES Y PLAGAS:

Enfermedades:

- a) "Mosaico", causado por virus. (Puerto Rico, Argentina, Luisiana)
- b) "Cepa H", virus nuevo
- c) "Podredumbre Roja", causada por un hongo
- d) "Enfermedad de la Goma", (*Bacterium Vasculorum*)
- e) "Quemazón Roja", se presentó en Australia, etc.

Plagas:

- a) Insectos: Existen más de 1300 especies
- b) "Polilla Barrenadora" (*Diatraea Saccharalis*)
- c) "Larvas Blancas"
- d) Ratas
- e) Acaros, áfidos, hemípteros, diversas especies de saltahojas, etc.

¿Cómo combatirlas?. Mediante control bacteriológico, mediante introducción deliberada de ciertos parásitos, mediante insecticidas químicos, mediante aplicación de cuarentenas para introducción de tallos de caña, etc.

1.4.- Cultivo de la Caña:

Se propaga por medio de estacas o de tallos enteros de semillero que se plantan en surcos y después se cubren con una ligera capa de tierra. Cada yema es capaz de producir una planta, y de cada una de éstas plantas, nacen varios tallos o renuevos que forman una cepa de caña. En los trópicos se plantan trozos de tallos que contienen dos o tres yemas cada uno, en los lugares subtropicales, se plantan cañas enteras de dos en dos y trasplantadas, ya que sólo el 25% aproximadamente de las yemas, producen vástagos después de yacer en la tierra todo el invierno.

La maduración de la caña se controla fácilmente en las tierras donde hay un regadío, controlando el agua. En donde no existe regadío, depende de la temperatura ambiente, de las precipitaciones pluviales, de su cantidad y distribución. La planta madura cuando se aproxima la época de sequía o fría. Y así, cuando se aproxima la madurez, aumenta el contenido de sacarosa en los tallos y disminuye el de azúcares reductores.

El crecimiento y maduración de la caña varía de zona a zona cañera, en México como en Cuba, Puerto Rico y las Antillas, el promedio varía entre 10 y 13 meses.

RECOLECCION DE LA CAÑA:

Generalmente el corte de la caña se hace a mano. Los tallos se cortan al

ras del suelo con "machete cañero", y el cogollo o parte superior, se se-
para del tallo, es decir, se corta, descogolla y se quitan las hojas.

Como cada vez se hace más difícil y cara la mano de obra en el corte de -
la caña, se están utilizando máquinas cosechadoras para la recolección -
mecánica, pero la caña así obtenida, lleva mucha basura y tierra, un pro-
blema más para la fábrica o Ingenio Azucarero.

"Caña Quemada". Debido al costo de la mano de obra en el corte de la
caña y las dificultades en conseguir esta mano de obra, se ha hecho muy
común la recolección de la caña quemando los campos. La caña no se -
perjudica por haberse quemado, pero la velocidad en el deterioro aumenta
si esta caña no se procesa inmediatamente sobre todo si le caé lluvia. -
Los guarapos que vienen de cañas quemadas no se clarifican fácilmente y
pueden producir mayor incrustación en los evaporadores.. En ocasiones, -
pequeñas partículas de carbón aparecen debido a las cañas quemadas en el
azúcar refinado.

1.5.- Temporada de Molienda o Zafra:

La temporada en que se muele la caña para fabricar azúcar, ya sea mosca-
bado, azúcar standard o azúcar refinada, se denomina ZAFRA, y general-
mente en México abarca de noviembre hasta mayo, principio o fines de es-
te mes, de acuerdo como vengan las lluvias. La fabricación del azúcar -

crudo coincide, por necesidad, con la temporada durante la cual se cosecha la caña ya que esta no resiste ser almacenada durante un período considerable.

Cuando existe control de las aguas por riego en los campos, la zafra puede alargarse, pero el tiempo promedio es de seis meses.

1.6. Localización de una Fábrica:

Una operación económica será obviamente asistida por un alto tonelaje de caña, por unidad de terreno y por un alto contenido de azúcar en la caña, estos dos requerimientos pueden ser algo extensos y pueden ser sumados en una sola cantidad, alto tonelaje de azúcar por unidad de terreno. Un alto rendimiento de caña por unidad de terreno significa un ahorro en el costo del cultivo y la cosecha, mientras que un alto contenido de azúcar en la caña significa reducción en los costos de manipulación y proceso en la fábrica. La producción de la caña y la selección de variedades precisas deben cumplir estos requerimientos tanto como sea posible para las condiciones climáticas de cada área.

La localización de la fábrica debe ser en el área de crecimiento de la caña por dos razones:

Lo.- La caña de azúcar se deteriora rápidamente después de cada cosecha y debe por lo tanto ser llevada lo más rápido posible a la fábrica para evitar pérdidas de azúcar.

2o.- Siete toneladas de caña se requieren para obtener una tonelada de azúcar, por lo tanto la caña no debe ser transportada más lejos que lo necesario. El tamaño óptimo de la fábrica dependerá de la eficiencia del transporte. Con un buen camino o un sistema de vías de ferrocarril convenientes, el transporte de caña desde largas distancias será económico, y una fábrica central sería lo adecuado. Con transporte inadecuado, puede ser preferible pequeñas fábricas cercanas a las áreas de crecimiento de caña.

Otra consideración importante en la localización de la fábrica es la aprovechabilidad del amplio suministro de agua. Una fábrica de azúcar requiere grandes cantidades de agua de enfriamiento para condensadores, y esto a menudo interviene en la determinación de factores en la exacta localización de una fábrica.

A continuación se da un panorama general del proceso completo de fabricación del azúcar:

1.7.- El Proceso de Fabricación:

Se debe hacer énfasis que el principio de la fábrica no es realmente fabricar azúcar, la sacarosa es sintetizada por un proceso natural en la planta de la caña, y el así llamado proceso de fabricación, es realmente un proceso de separación de sacarosa, eventualmente en una forma pura

de varios materiales con los cuales está asociada en la planta de la caña.

El primer paso en la extracción del jugo es:

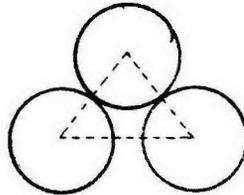
1o.- Pesado de la caña:

La caña es transportada a la fábrica y se estiba en una gran superficie llamada Batey, después de haberse pesado en grandes básculas.

El proceso de limpieza de la caña se hace necesario en los ingenios que tienen recolección mecánica, y utilizan agua caliente que proviene de los sistemas de condensación y la aplican por medio de toberas a presión.

2o.- Molienda:

Los molinos se componen de tres mazas dispuestas en forma triangular:



El primer paso en la elaboración del azúcar de caña es la extracción del jugo o guarapo, mediante la compresión de la caña entre estos cilindros de enorme tamaño que se llaman mazas.

La caña debe prepararse para la molienda y esto se ejecuta haciéndola pasar primero por cuchillas giratorias que cortan los tallos convirtiéndola en pequeños pedazos o astillas, por desfibradores en forma de molinos de mar-tillos ("gallegos"), sin extraer jugo.

Forman el "Tándem" el conjunto de molinos de 12, 15 ó 18 rodillos o maz-zas. Cada molino generalmente es movido por una unidad motriz individual ya sea de vapor, motor eléctrico o turbina de vapor.

Desmenuzadoras: Las forman generalmente dos mazas y su colocación es anterior al tándem de molinos, es aquí donde la caña sufre la primera extracción de "guarapo" o jugo.

Las desfibradoras rasgan la caña, la convierten en tiras pero sin extracción alguna de jugo. En algunos lugares la desfibradora ha substituído a la desmenuzadora por su alimentación uniforme a los molinos logrando perder menos sacarosa en el bagazo.

Los rodillos o mazas de los molinos se conocen con los nombres de:

- a) Maza mayor o superior
- b) Maza cañera, sobre la cual pasa la caña al entrar al molino
- c) Maza bagacera, sobre la que pasa el bagazo al salir del molino

Las mazas cañera o bagacera están fijas y la maza mayor sube o baja, es decir flota según las variaciones en la alimentación de la caña. Este movimiento está controlado por un ariete hidráulico.

Para llevar la caña, que se ha exprimido parcialmente, de un molino a otro se utilizan transportadores intermedios.

3o.- Maceración o Imbibición Simple y Compuesta:

Es el proceso en el cual se aplican agua o jugo al bagazo para diluir y mezclarse con el guarapo que contiene este último. El agua que así se utiliza se llama agua de imbibición.

Imbibición Simple:

En la cual solo se aplica agua.

Imbibición doble:

Se aplica agua en el último molino o en los dos últimos, y el jugo pobre de los dos últimos molinos, se aplica a molinos anteriores.

Imbibición Compuesta:

Es aplicable a tándem de cuatro o más molinos y en ésta se aplica agua al bagazo que va al último molino. El guarapo del último molino se aplica al bagazo que entra en el penúltimo. El jugo del penúltimo se aplica al bagazo del antepenúltimo, y así sucesivamente.

Los guarapos extraídos de los molinos contienen partículas de bagazo que se denomina "bagacillo" y que debe eliminarse antes del proceso de clarificación, por tal razón se utiliza un colador

de latón perforado y cuya superficie se mantiene limpia por medio de raspadores o tablillas en movimiento, pero existe el gran inconveniente: Formación de Dextrina, por la acción de un organismo denominado "Leuconostoc Mesenteroides" con pérdidas evidentes de azúcar y la presencia de una infección.

En la extracción del guarapo el porcentaje de fibra en la caña influye definitivamente en la eficiencia de la molienda. Esta fibra sube o baja por los cambios de variedades de la caña molida y puede variar la extracción de un 90 a un 91% con cañas que varían de 9 a 10% fibra a 15-16% de fibra.

Sanidad de los Molinos:

Las pérdidas de azúcar por falta de sanidad en los molinos y coladores de guarapo son considerables.

El guarapo tibio ofrece el medio ideal para la propagación de microorganismos y para evitar esto se envía rápidamente al Departamento de clarificación, pues el calor aplicado lo esteriliza rápidamente.

Se aconseja una limpieza continua, y que no se haga esa limpieza con cal, porque esta es una fuente de coloración por su acción sobre los azúcares reductores y la fibra de bagazo.

→ El bagazo final que sale del último molino contiene el azúcar no extraído, la fibra leñosa, y de 40 a 50% de agua. Este producto suele ir a las calderas para servir de combustible, pero muchas fábricas compran el combustible que necesitan y utilizan el bagazo como materia para camas de ganado, o para algún otro aprovechamiento comercial.

4o.- Purificación del Jugo:

Clarificación:

→ El jugo que exprimen los molinos es ácido, turbio y de color verde oscuro. En el proceso de clarificación (o defecación), ideado para eliminar tanto las impurezas solubles como las insolubles, es universal el uso de la cal y el calor como agentes clarificadores y que además suspenden los coloides. La lechada de cal, preparada con aproximadamente 450 g de CaO por tonelada de caña, neutraliza la acidez natural del jugo, y forma sales insolubles de cal, principalmente en forma de fosfatos de calcio. La calefacción del jugo alcalino, hasta el punto de ebullición o un poco más allá de este punto, coagula la albúmina y algunas de las grasas, ceras y gomas, y el precipitado que así se forma, engloba tanto a los sólidos en suspensión como a las partículas más finas. Mediante la sedimentación se logra la separación de los lodos del jugo claro (esto se hacía antiguamente en tanques -

➤ individuales de decantación llamados defecadores mientras que hoy en día, es casi universal el uso de clarificadores cerrados continuos de varias charolas). Los lodos se filtran en filtros de tambor rotativo al vacío, o en algunas fábricas en filtros de láminas a presión. El jugo de los filtros-prensa, retorna al proceso o se añade directamente al jugo claro, y la torta de las prensas (llamada cachaza) se tira o se lleva a los campos como fertilizante. El jugo clarificado de color café oscuro, retorna a los evaporadores sin sufrir tratamiento adicional. Ha sido desarrollada una amplia gama de variantes del tratamiento del jugo con calor y cal.

Este punto del proceso se analizará ampliamente y en detalle en capítulos posteriores.

5o.- Evaporación:

El jugo clarificado que posee casi la misma composición que el jugo crudo extraído (con la excepción de las impurezas precipitadas que fueron extraídas por el tratamiento con cal), contiene aproximadamente 85% de agua. Las dos terceras partes de esta agua se evapora en evaporadores de múltiple efecto al vacío llamados cuerpos que consisten en una sucesión (generalmente cuatro) de celdas de ebullición al vacío, dispuestas en

serie para que en cada cuerpo haya más vacío que en el cuerpo inmediatamente anterior, y de esta forma el jugo que dicho cuerpo contiene, hierva a menor temperatura. Así los vapores producidos en un cuerpo podrán calentar a ebullición el jugo que contenga el siguiente. Con el uso de este sistema, el vapor que se introduce al primer cuerpo logra producir evaporación en "multiple efecto" El vapor que sale del último cuerpo va a un condensador. En un cuádruple efecto en el cual la introducción de una libra de vapor, evapora cuatro libras de agua. - -

→ El jarabe (llamado melaza), sale continuamente del último cuerpo con un contenido aproximado de 65% de sólidos y 35% de agua.

60.- Cristalización:

La cristalización se lleva a cabo en recipientes al vacío de simple efecto, en los cuales se concentra la melaza hasta quedar saturada de azúcar. Al llegar a este punto, se introducen "Cristales de Siembra" para que sirvan de núcleos a los cristales de azúcar, y se va añadiendo más melaza a medida que se evapora el agua. Los cristales originales, que fueron formados por destreza del operador del cristizador, o por control, mediante instrumentos, "crecen" sin que se formen cristales adicionales, a medida que en ellos se va depositando azúcar - -

procedente de la masa en ebullición. Este crecimiento de los cristales continúa hasta que al quedar lleno el recipiente han alcanzado un tamaño previamente determinado. La mezcla de cristales y melaza queda concentrada hasta formar una masa densa, "masacocida", y la "templa" o contenido del tanque que se descarga a través de una válvula inferior hacia un mezclador o cristalizador.

La cocción de las masacocidas y la recocción de las melazas, se controlan cuidadosamente y se llevan a cabo de acuerdo con sistemas de cocción que se seleccionan teniendo en cuenta muchas condiciones.

7o.- Centrifugado o Purga:

La recocción de Melazas:

→ La masacocida que se llevó al mezclador o cristalizador, se hace pasar a máquinas giratorias llamadas centrifugas. "El canasto" cilíndrico de la centrifuga que está suspendido de una flecha o huso, tiene sus costados perforados y formados de tela metálica, entre el forro y el costado hay láminas de metal que contienen de 400 a 600 perforaciones por pulgada cuadrada (62 a 93 perforaciones por cm^2). Las máquinas que son impulsadas por correas (o en instalaciones más modernas, por motores eléctricos) giran a

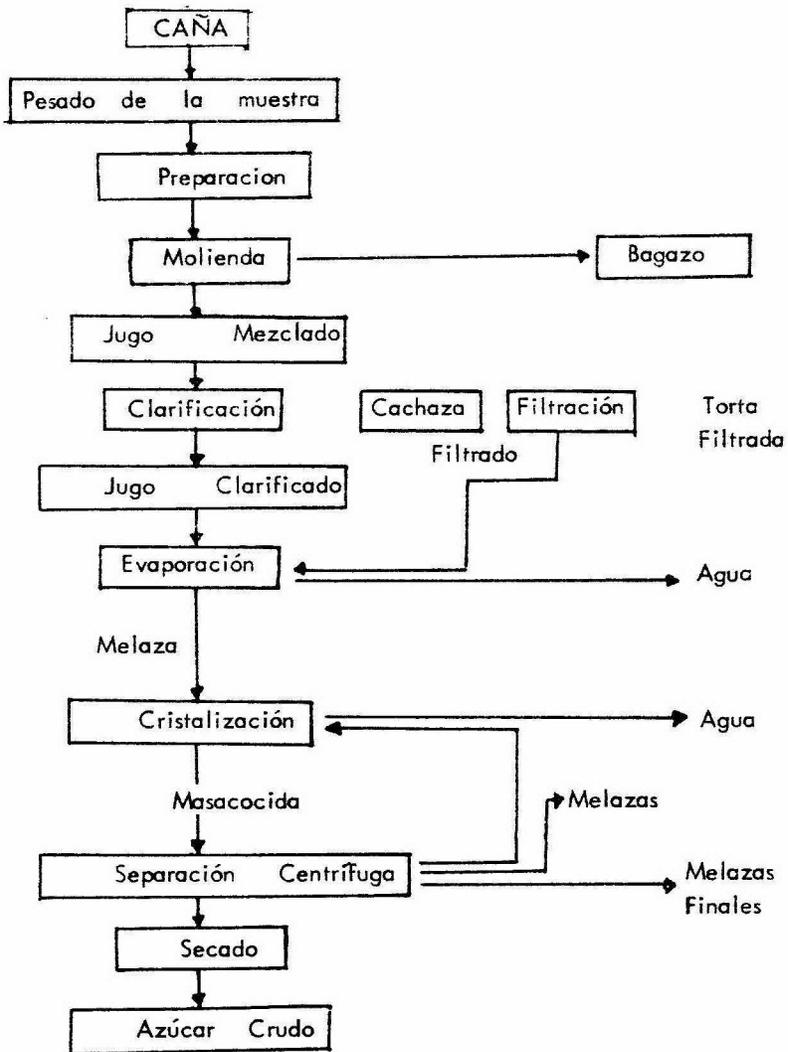
una velocidad de 1000 a 1800 r.p.m. El forro perforado retiene los cristales de azúcar que pueden ser lavados con agua si se desea. Las aguas madres o melaza pasan a través del forro impulsadas por la fuerza centrífuga que sobre ellas se ejerce, y cuando el azúcar queda purgado, se descarga de la centrífuga, quedando esta lista para recibir otra carga de masacocida. Las instalaciones modernas son exclusivamente del tipo de alta velocidad (o alta gravedad) con control automático total o parcial de todo el ciclo de purga.

En el sistema de cocción triple, la primera cocción o templa de jarabe puro rinde azúcar crudo y melaza A, ésta retorna al tanque para ser recocida junto con una remonta de masacocida de primer grado, y formar una segunda masacocida B, que a su vez rinde otra cosecha de cristales. El azúcar procedente de las templeas B, se junta con el azúcar A, para constituir la producción comercial de la fábrica. La segunda melaza B, es de pureza mucho menor, y a su vez, se vuelve a cocer con nuevo jarabe para formar una templa de grado bajo C. Estas masacocidas de grado bajo permanecen durante varios días en las cristalizadoras donde se enfrían. La masa es mantenida en movimiento por medio de espas giratorias. El azúcar C, se mezcla con jarabe y se utiliza para siembra de masacocidas A y B. La melaza final es un material pesado y viscoso que contiene aproximadamente una tercera parte de sacarosa, otra ter

cera parte de azúcares reductores y el resto de cenizas, no-azúcares orgánicos y agua, sirve como base para piensos de ganado, para la fabricación de azúcar industrial, para la producción de levadura, y para otros fines.

El siguiente diagrama de bloques ilustra claramente el proceso antes descrito.

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE AZUCAR CRUDO



El azúcar crudo así preparado contiene aproximadamente 98-99% de sacarosa y es refinada generalmente en una refinería separada.

Generalmente las refinerías son localizadas en los mejores centros de población, las cuales en la industria del azúcar de caña, son usualmente a distancias considerables de las áreas de crecimiento de la caña.

El proceso de refinación consiste esencialmente de una redisolución del azúcar crudo con una purificación subsecuente por clarificación y recristalización, generalmente con un paso adicional para eliminar el color. El diagrama de flujo de proceso de refinación, está presentado en la siguiente figura, y muestra que el proceso de refinación es similar en las partes más esenciales al proceso de azúcar crudo.

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE REFINACION DE AZUCAR

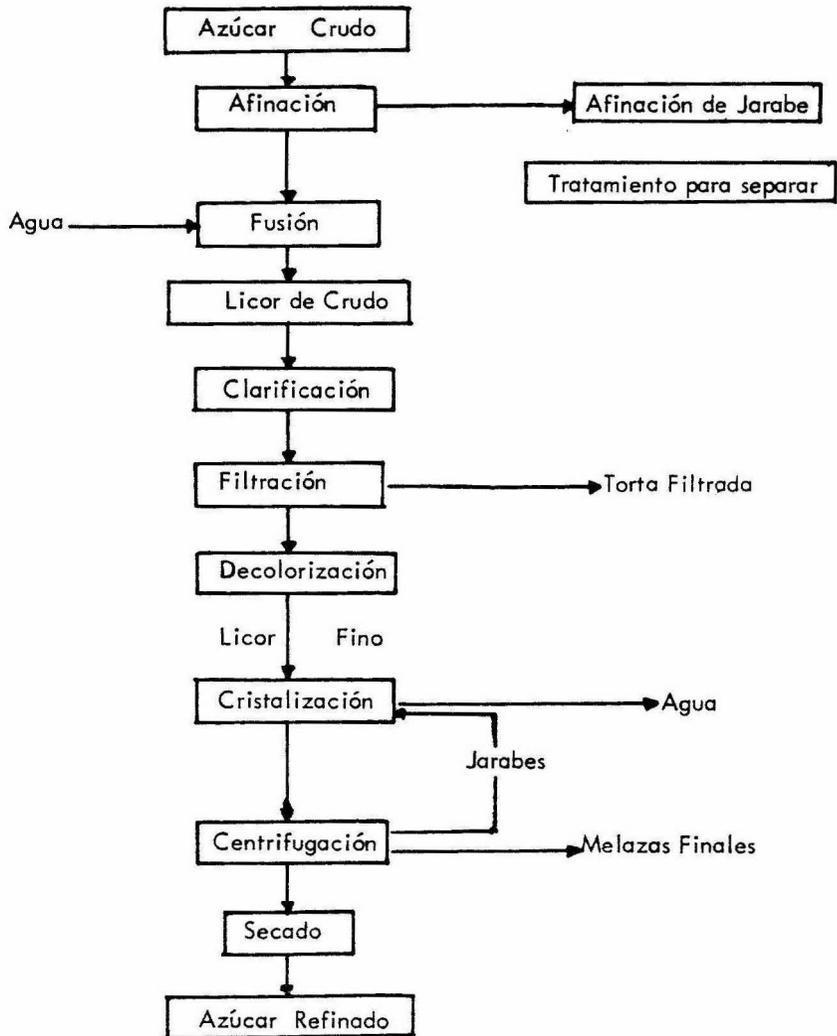
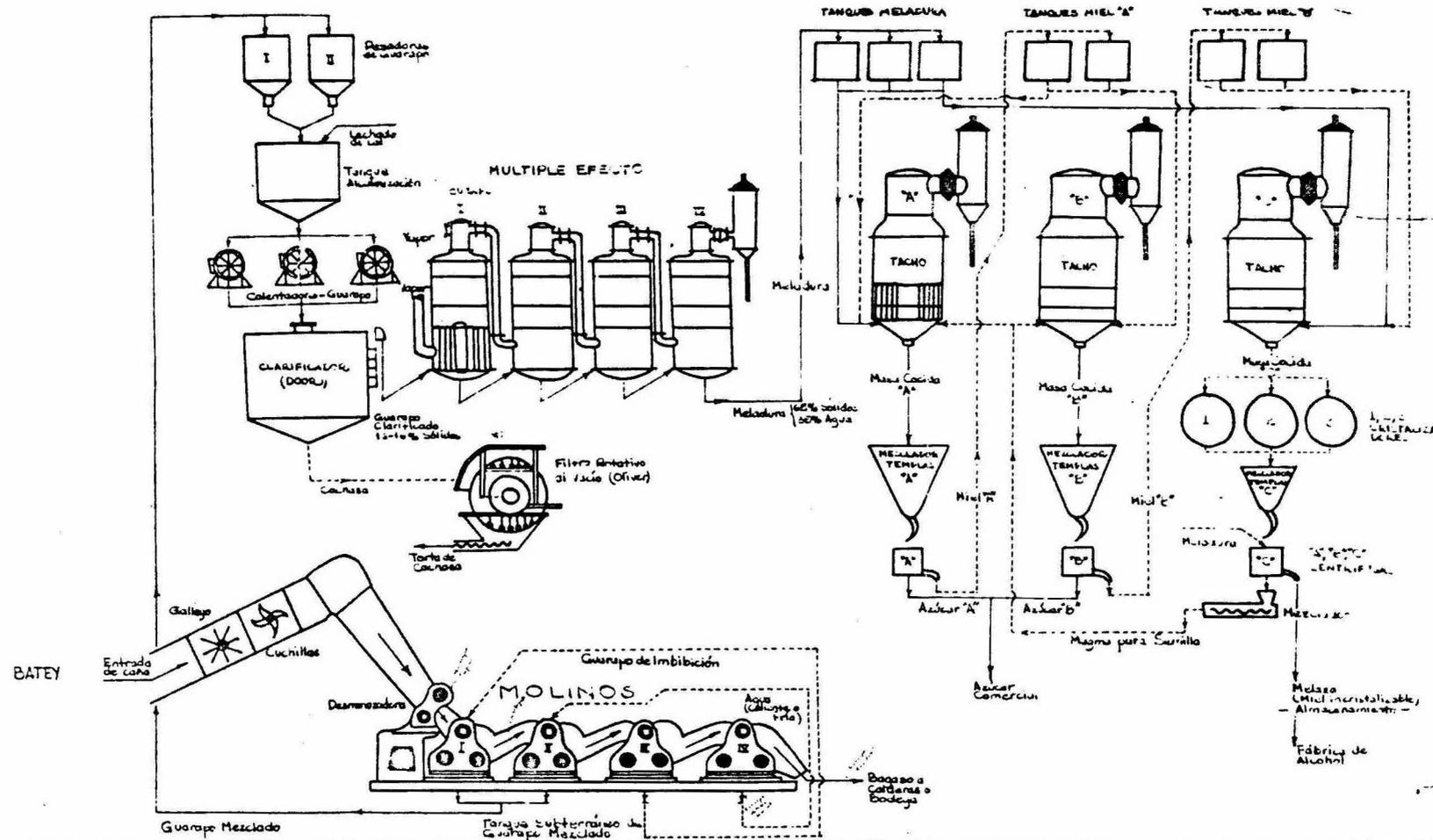


Diagrama de flujo de elaboración de azúcar crudo.



| DATOS: | PROCESOS Y SU CONTROL QUIMICO (Laboratorio) | |
|---|---|--|
| 1. Molienda: Extracción de Guapeos de $\pm 90\%$ | I. - MOLIENDA: | III. - EVAPORACION: |
| 2. Bateo: $\pm 40-50\%$ de agua. 8.300 BHP por libra de bagazo (4000 cal/g). | 1. Desmenuzadora Mecánica de transportador (Muestra, Caña) a | 1. Cuadruple exacto normal |
| 3. Lactado de Cal (Alcalinidad): $\pm 400g$ de CaO por ton (12 ^o Baumé). pH 7.0 \rightarrow 7.24 (Jugo claro o clarificado). Contenido de agua 85%. | 2. Limpieza y lavado de cañas. | 2. Obtención de Meladura (Muestras) a |
| 4. Clarificación: Flujo a 1.5 m/seg. pH 7.0 \rightarrow 7.24 (Jugo claro o clarificado). Contenido de agua 85%. | 3. Cuchillas (fullen iron mono, ferrall) y Limpiadoras (Maselli) a | 3. Tanques de Meladura (Muestras) a |
| 5. Evaporación: $\frac{2}{3}$ partes de agua se eliminan. Meladura: 65% de sólidos y 35% de agua. | 4. Desmenuzadora (Fullen; M. Alloy de 2 rodillos) (Alcalino, Guapeo) a | IV. - CRISTALIZACION: |
| 6. Cristalización: Surtidor de azúcar hasta cristalizar en rajas. | 5. Molino (Borden) de 4 a 5 metros de diámetro, rancho fullen y Krajtschi) (Muestras, Guapeos) a | 1. Tornos (de serpiente, columna, Water, Manill) |
| 7. Centrifugación: Velocidad en centrifugas 1000 - 1800 rpm. Centrifugas de alta velocidad o alta gravedad, con control automático. | 6. Transportadores de caña a Calderas o Bodega (Muestras) a | 2. Tanques de azúcar (Muestras) a |
| 8. Mielas incristalizables: Material Viscoso, pasado, con contenido de $\frac{1}{3}$ de azúcares azúcares, $\frac{1}{3}$ de azúcares reductores y el resto cenizas; No azúcares orgánicos y agua. | II. - DEFECACION Y CLARIFICACION: | 3. Tanques de forja (Muestras) a |
| | 1. Tanques de Guapeo mezclado (Muestras) a | 4. Sistemas de Temple (de 4, 2, 2) a |
| | 2. Sólidos en Guapeo mezclado (Muestras) a | 5. Meladoras |
| | 3. Alcalinización (Potenciómetro manual o automático "Micro-ohm") (Muestra Guapeo Alcalinado) a | 6. Centrifugas (Simple o Armada) (Muestras) a |
| | 4. Calentadora de Guapeo | 7. Tornos |
| | 5. Clarificación (Dorr-Oliver, Rapi-Dorr, Greiner, Bann) (Muestra Guapeo Claro) a | 8. Melaza o miel incristalizable (Muestras) a |
| | | V. - SECADO Y ENVASADO: |
| | | 1. Secador y Granador (Muestras) a |
| | | 2. Pesar y Envasar (Muestras) a |

C A P I T U L O 2

CAPITULO 2

Diferentes Sistemas de Purificación:

2.1. El propósito del proceso de clarificación es eliminar impurezas del jugo tan pronto como sea posible en el proceso. El jugo contiene considerables sustancias suspendidas, coloidales y finas, y son principalmente estos constituyentes los que son eliminados en la clarificación; Algunos constituyentes solubles también son eliminados. El proceso tan pronto como empieza, suspende la materia; Las partículas finas suspendidas son coaguladas dando partículas que se asentarán en un tiempo razonable, y el jugo es entonces bombeado del recipiente de asentamiento para permitir a la materia coagulante que se asiente. En la fabricación del azúcar crudo, el reactivo principal utilizado es la cal apagada (hidróxido de calcio).

El efecto combinado de la cal y el calentamiento es lo que forma un precipitado floculento, el cual contiene mucho de materia muy fina suspendida y que ha dejado por asentamiento un jugo claro. El sedimento

o cachaza debe entonces ser tratado para recuperar la considerable proporción de azúcar que está contenida ahí.

Entre los diferentes sistemas de clarificación se distinguen tres tipos principales:

1o.- Defecación; algunas veces llamado defecación con cal, donde la cal es el único material agregado (exceptuando reactivos menores).

→ 2o.- Sulfitación; donde en adición a la cal, se agrega dióxido de azufre gas al jugo dando un precipitado de sulfito de calcio.

→ 3o.- Carbonatación; en el cual es también agregado dióxido de carbono gas, dando un precipitado de carbonato de calcio.

La sulfitación y carbonatación son usadas (con varias y menores excepciones) solamente para la producción del azúcar blanca de consumo directo.

2.2. Composición de la Caña de Azúcar:

La caña tiene una riqueza muy variable en azúcar en los distintos países que la cultivan; en algunos varía del 13 al 14%, en otros esta riqueza no pasa del 12%, mientras que los hay donde llega a veces al 17% y aún más.

La proporción de fibra o materia leñosa es aproximadamente del 10 al 17%, correspondiendo al jugo del 90 al 83%.

En el cuadro siguiente se tiene la composición de los tallos de la caña.

Composición de la caña de azúcar:

| Componente: | % | Componente: | % |
|-------------|-------|---|----------|
| Agua | 74.50 | Sílices (Si O ₂) | 0.25 |
| | | Potasio (K ₂ O) | 0.12 |
| | | Sodio (Na ₂ O) | 0.01 |
| | | Calcio (CaO) | 0.02 |
| Cenizas | 0.50 | Magnesio (MgO) | 0.01 |
| | | Fierro (Fe ₂ O ₃) | Indicios |
| | | Acido Fosfórico (P ₂ O ₅) | 0.07 |
| | | Acido Sulfúrico (H ₂ SO ₄) | 0.12 |
| | | C l o r o | Indicios |
| Fibra | 10.00 | Celulosa | 5.50 |
| | | Pentosana (xilana) | 2.00 |

| Componente: | % | Componente: | % |
|---|-------|------------------------------|----------|
| Fibra | 10.00 | Pentosana (arabana) | 0.50 |
| | | Lignina, etc. | 2.00 |
| Azúcares | 14.00 | Sacarosa | 12.50 |
| | | Dextrosa | 0.90 |
| | | Levulosa | 0.60 |
| Compuestos Nitro- genados N Total 0.06% | 0.40 | Albuminoides | 0.12 |
| | | Aminoácidos (Asparagina) | 0.07 |
| | | Aminoácidos | 0.20 |
| | | Acido Nítrico | 0.01 |
| | | Amoniaco | Indicios |
| | | Compuestos Xánticos | Indicios |
| Grasa y Cera | 0.20 | | 0.20 |
| Pectina (gomas) | 0.20 | | 0.20 |
| Acidos Libres | 0.08 | (Ac. málico, succínico, etc) | 0.08 |
| Acidos Combinados | 0.12 | (Ac. málico, succínico, etc) | 0.12 |

TOTAL

100.00

100.00

2.3. Composición del Jugo de la Caña:

El jugo de los molinos llega a la etapa de la cristalización como una mezcla compleja de los componentes integrales de la planta de caña. La materia extraña incidental que se extrae por medio de las operaciones de molienda y lavado en el tándem de molinos contribuye a la amplia variación de la composición del jugo. Esta depende no sólo de la situación geográfica, de la variedad de la caña, de la estación del año y de la práctica del cultivo, sino también del tratamiento mecánico que se da a la caña durante el corte, el transporte, la limpieza y la molienda.

En el proceso de clarificación simple, el jugo de los molinos se trata con cal y se calienta antes de concentrarlo por evaporación.

Se ha hecho hincapié muchas veces sobre el incremento en la pureza, prevención de la inversión, eliminación de coloides, separación de no azúcares y producción de un jugo límpido, sin embargo, debe dársele una básica importancia a la necesidad de incrementar el pH del jugo hasta un punto cercano a la neutralidad en el que, en las subsecuentes operaciones, la inversión de la sacarosa se vuelva insignificante. Afortunadamente este incremento del pH puede conseguirse de la manera más barata por medio de la cal, que es un reactivo que al mismo tiempo ayuda a la separación de algunos constituyentes del jugo que provocan dificultades en el proceso de recuperación de azúcar. Debido a que el incremento del

pH por medio de la cal presenta pocos problemas, la atención ha sido naturalmente dirigida hacia el establecimiento de las óptimas condiciones necesarias para conseguir los efectos secundarios. Probablemente las más importantes de estos son: La separación de materias extrañas, tales como tierra y bagacillo, y de tantas como sea posible de las sustancias solubles que sean perjudiciales en las operaciones involucradas en la cristalización del azúcar.

Composición de sólidos en el jugo de la caña de azúcar:

Rangos aproximados de las concentraciones normales de los constituyentes principales sólidos en el extracto del jugo.

| Constituyente: | Porcentaje: | Porcentaje de sólidos solubles: |
|------------------|-------------|---------------------------------|
| A g u a | 73-76 | |
| Sólidos | 24-27 | |
| Fibra (seca) | 11-16 | |
| Sólidos solubles | 10-16 | |

Constituyentes del Jugo:

| | | |
|----------|-------|-------|
| Azúcares | 75-92 | |
| Sacarosa | | 70-88 |

| Constituyentes del Jugo: | Porcentaje: | Porcentaje de sólidos solubles: |
|--|-------------|---------------------------------|
| Glucosa | | 2-4 |
| Fructosa | | 2-4 |
| Sales | 3.0-7.5 | |
| De ácidos inorgánicos (ácido sulfúrico) | | 1.5-4.5 |
| De ácidos orgánicos (glicólico y Máfico) | | 1.0-3.0 |
| Acidos orgánicos libres (cítrico) | 0.5-2.5 | |
| Acidos carboxílicos (Ac. oxálico Ac. tartárico) | | 0.1-0.5 |
| Aminoácidos (Aspártico) | | 0.5-2.0 |
| Otros no azúcares orgánicos: | | |
| Proteínas | | 0.5-0.6 |
| Almidón | | 0.001-0.050 |
| Gomas | | 0.30-0.60 |
| Ceras, grasas fosfatadas | | 0.05-0.15 |
| No azúcares indefinidos | | 3.0-5.0 |

Desde el punto de vista de clarificación, los constituyentes más importantes son las sales, proteínas y gomas. Aunque están presentes en pequeñas proporciones, son las que tienen un efecto vital en el proceso de la clarificación. En el caso de las gomas y las proteínas el efecto puede ser altamente determinante para conseguir una floculación apropiada de los precipitados.

Desde un punto de vista fisicoquímico, el jugo de los molinos es un dispersoide compuesto de materiales en todos los grados de dispersión, desde partículas bastante gruesas hasta iones.

El material grueso disperso en el jugo consiste principalmente de tierra, partículas de bagazo y cera. Este tipo de material puede separarse del jugo por filtración.

Los coloides presentes en el jugo incluyen tanto los derivados del suelo como los derivados de la caña. Además de las partículas térreas, que durante la molienda se extraen de la caña; ceras, grasas, proteínas, gomas, pectinas, taninos y materias colorantes, son los que permanecen en solución coloidal. De igual manera, una cantidad variable de materia coloidal puede introducirse en el jugo debido al crecimiento y acción de los microorganismos.

Las dispersiones iónicas y moleculares incluyen el azúcar y los constituyen-

tes de las cenizas.

2.4. Reacciones en la Clarificación:

Podemos considerar ahora las reacciones en el proceso de clarificación con el conocimiento de la composición del jugo dado anteriormente, se pueden resumir como sigue:

- 1o.- Cambio en el pH debido a la cal agregada
- 2o.- Coagulación de algunos coloides
- 3o.- Formación de algunos compuestos de calcio insolubles
- 4o.- Formación de compuestos de calcio solubles

La coagulación de coloides es efectuada por el calor, la extensión de este efecto depende de la naturaleza del material coloidal y es función del pH. El funcionamiento superior del encalado en caliente o del encalado fraccional con jugos refractarios es probablemente debido a la precipitación más efectiva de materia proteínica a un valor de pH más bajo. Con jugos que clarifiquen más rápidamente, la cantidad o la naturaleza de los diferentes coloides y la eliminación satisfactoria de los mismos es obtenida por calentamiento a un pH más alto después del encalado.

El precipitado formado en la clarificación es principalmente fosfato de calcio; y es este precipitado el agente clarificante más importante y lleva con él, mucha de la materia fina coloidal y suspendida.

La formación de compuestos de calcio solubles es indeseable porque lleva más sales de calcio en solución e incrementa el contenido de cenizas del jugo, con un incremento en la formación de melazas finales.

Varias de las reacciones químicas serán ahora consideradas en más detalle. Debe enfatizarse, sin embargo, que el conocimiento de las reacciones químicas en la clarificación, está lejos de ser completa.

C A L :

La masa espesa de cal y agua consiste principalmente de una mezcla de suspensiones gruesas y de solución coloidal de hidróxido de calcio - $\text{Ca}(\text{OH})_2$. La solubilidad de la cal en agua es solamente 0.12% a 25°C , pero se incrementa mucho en una solución de azúcar, de tal manera, que una solución de sacarosa al 10% disuelve $1\frac{1}{2}\%$ de CaO . De igual manera la solubilidad se incrementa por la presencia en el jugo de algunas sustancias diferentes del azúcar.

La solubilidad del hidróxido de calcio disminuye al aumentar la temperatura. Por lo tanto, una solución saturada a la temperatura ambiente producirá un precipitado al ser calentada. También la solubilidad aparentemente es afectada por las propiedades físicas de las partículas de cal, la cantidad presente y la temperatura a la que es añadida la cal.

El hidróxido de calcio es una base relativamente fuerte. Como es un hidróxido de un metal bivalente, la ionización tiene lugar en dos pasos:



La actividad química del compuesto depende, principalmente, de la concentración efectiva, o actividad de los iones Ca^{++} y OH^- , aunque también toman parte en la reacción los iones CaOH^+ . Debido a que es pequeña la ionización secundaria del hidróxido de calcio, es baja la concentración de iones Ca^{++} . Se ha informado que una solución de sacarosa con 0,3 a 0,5% de CaO tiene menos del 10% de calcio en forma de iones Ca^{++} . Poco se conoce de la actividad del Ca^{++} en el jugo de la caña. Tanto los constituyentes orgánicos como los inorgánicos tienen un efecto muy marcado sobre la actividad. El calcio forma, con muchos ácidos orgánicos, sales que se disocian débilmente. Entre ellos se encuentran los ácidos glicólico y málico. Tiene tendencia a asociarse con aminoácidos tales como el aspártico para formar estructuras de quelatos poco ionizadas e iones complejos. Por lo tanto, un jugo dado tiene una definida fuerza de secuestro para el calcio, lo que da por resultado una disminución de la concentración del ion Ca^{++} .

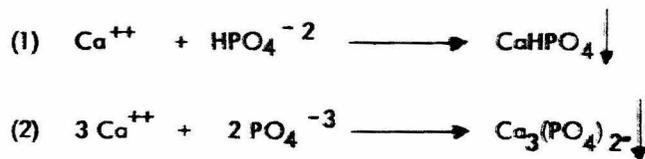
Precipitación del fosfato de calcio:

La mayoría del fósforo en el jugo de caña está aparentemente en la forma

de fosfatos solubles, como lo indica el hecho de que entre un 80-90% es eliminado por la precipitación con cal.

La reacción entre la cal y el fosfato es compleja, y aún aparte algunos efectos de interferencia debidos a otras sustancias presentes en el jugo de caña se presentan,

La lentitud de la reacción para alcanzar el equilibrio ha sido atribuida a dos factores: La precipitación intermedia de CaHPO_4 , que después se disuelve con gran lentitud y la lenta velocidad de precipitación del $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Simultáneamente tienen lugar la dos siguientes reacciones:



Se explica que la primera reacción sea más rápida debido a que es una reacción de segundo orden en la que intervienen dos iones; en cambio la otra es una reacción de orden más alto en la que intervienen cinco iones. La probabilidad de que se reúnan dos iones es mucho mayor que la probabilidad de que se junten cinco iones. Cuando la reacción (1) se acerca a su fin, su velocidad disminuye y entonces la reacción (2) la excede. - Esto da por resultado una posterior disociación de iones, HPO_4^{-2} en iones H^+ y PO_4^{-3} , proceso que origina un incremento en la acidez.

Esa disminución de iones HPO_4^{-2} es causa de que el CaHPO_4 comience a disolverse y esto continúa hasta su disolución completa. La velocidad de disolución de una sustancia es, generalmente, menor que su velocidad de precipitación y en este caso el CaHPO_4 puede cubrirse con una capa gelatinosa de Ca_3PO_4 , lo que hace disminuir aún más la disolución. La lentitud de la velocidad de redisolución, así como la lentitud de la precipitación de $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, contribuyen en gran manera al retardo con que se alcanza el equilibrio.

Las velocidades de estas reacciones se incrementan con la ebullición, y el aumento que se obtiene en la concentración de iones hidrógeno es una de las razones para la caída en el pH que ocurre en el calentamiento de los jugos alcalizados.

Según lo anterior, es evidente que el fosfato de calcio que se obtiene en la alcalización del jugo no es, terminantemente, un compuesto químico de finido, sino que es en primer lugar, una masa amorfa de composición y de caracteres químicos muy variados.

En la clarificación de los jugos de caña la presencia de una cantidad inadecuada de ácido fosfórico es muy importante. La insuficiencia de P_2O_5 aprovechable en el jugo es una de las causas de una clarificación pobre. La cantidad deseable de P_2O_5 presente en el jugo de caña no debe ser

menor que 300 ppm. En el caso de que el jugo esté deficiente en P_2O_5 , debe ser adicionado al jugo una cierta cantidad de éste al jugo de los molinos. El P_2O_5 agregado al jugo de caña antes del encalado puede ser en la forma de ácido fosfórico (H_3PO_4) viscoso al 85%, fosfato monocálcico ($CaH_4(PO_4)_2 \cdot H_2O$) o fosfato tricálcico ($Ca_3(PO_4)_2$). Los dos últimos deben ser preparados en soluciones acuosas. Todos estos fosfatos contienen aproximadamente 48% de P_2O_5 aprovechable. Los jugos tratados con fosfatos deben ser encalados a un pH de 8,0 a 8,5.

Precipitación de otros compuestos de calcio insolubles:

Al agregar el fosfato de calcio otras sales de calcio relativamente insolubles, se precipitarán al ser alcalizado el jugo de la caña. Entre ellas están el sulfato, aconitato, oxalato, tartrato y citrato. Estos tres últimos se presentan sólo en una proporción muy limitada.

Sales de calcio solubles:

Algunos de los ácidos naturales presentes en el jugo forman sales solubles de calcio, y también varias sustancias están presentes, como ya se ha mencionado, las cuales tienden a incrementar la solubilidad de los compuestos de calcio. Consecuentemente el contenido de calcio del jugo se incrementa durante la clarificación.

Silice:

Probablemente el jugo de la caña está saturado en lo que respecta a la sílice; Sin embargo, la solubilidad es extremadamente baja. Quizá - la sílice está presente principalmente como SiO_2 disuelto, SiO_2 - - coloidal y en suspensión en forma de silicatos. La mayor parte de la sílice se separa en la alcalización, quedando en el jugo clarificado un - contenido de 0,030 a 0,075% en sólidos.

Calcio remanente:

La cantidad de calcio que existe en el jugo crudo es muy variable, pero el incremento es independiente del contenido inicial.

Cuando se añade cal, el contenido de calcio en el jugo se incrementa - esencialmente en la misma cantidad que se tuviera si la concentración - inicial de calcio fuera cero. Sin embargo, sigue en pie el importante - factor de que es baja la actividad del ion Ca^{++} , debido ello a la presencia de varios reguladores de calcio. De ahí que sea necesaria una cantidad incrementada para producir la misma concentración de equilibrio en una reacción iónica, tal como la precipitación del fosfato de calcio.

Magnesio:

El grado al cual se precipita el MgO en la alcalización depende del pH, ya que probablemente se precipita en primer lugar como $\text{Mg}(\text{OH})_2$. - -

La mayor precipitación se obtenía a un pH mayor que el que normalmente se utiliza en la clarificación.

La precipitación del magnesio arriba de un pH de 7 causará un incremento en la concentración de calcio y, como se disolverá un equivalente de calcio por cada equivalente de $Mg(OH)_2$ precipitado, el pH permanecerá igual.

Fierro y Aluminio:

En el jugo, sólo en un grado muy limitado, el Fierro y el Aluminio se presentan en solución. Sin embargo, grandes cantidades pueden estar en suspensión, principalmente formando parte de las partículas férricas. Los cationes son casi completamente removidos por la alcalización a un pH de 8.

Otras sustancias inorgánicas:

Las otras sustancias inorgánicas que existen en el jugo, son el potasio, el sodio y el cloro. Todas ellas se encuentran en forma iónica, y en su mayor parte permanecen esencialmente sin sufrir ningún cambio, debido a la alcalización. Los metales polivalentes, tal como el manganeso, de los que sólo existen vestigios, son casi completamente separados en la clarificación.

Cenizas totales:

A causa de la alcalización, el contenido total de cenizas solubles en el jugo cambia ligeramente. La precipitación del fosfato, sílice, sulfato, magnesio, aluminio y hierro tiende a reducir el contenido de cenizas. Sin embargo, el incremento en calcio y alguna disminución de los constituyentes orgánicos balancea este efecto, de tal manera que el cambio total es muy pequeño.

Cambios en las sustancias orgánicas:

a) Sacarosa:

La única reacción significativa de la sacarosa que se ha encontrado en la clarificación es la inversión. Esta es una reacción de hidrólisis:



Sacarosa

D - glucosa

D - fructuosa

cuya velocidad se incrementa con la concentración del ion hidrógeno y de la temperatura. Esta reacción no es reversible, así que durante todo el tiempo se está efectuando durante la clarificación en un mayor o menor grado. Las curvas de las temperaturas de inversión en la fig. 2.1., muestran que para propósitos prácticos, la inversión se vuelve despreciable arriba de un pH de 7.2 y una tem

peratura de 100°C, o menor.

Desde un punto de vista químico, la inversión de una pequeña -
cantidad de sacarosa no influye en el proceso de clarificación, -
pues los productos de la inversión, glucosa y fructuosa, están ya -
anteriormente presentes en el jugo en cantidades sustanciales.

b) Azúcares reductores:

Los azúcares reductores están siempre presentes en el jugo de caña
en la misma medida, y consisten principalmente de la hexosas, -
glucosa y fructuosa. Hay gran cantidad en soluciones ácidas, pe-
ro se descomponen rápidamente con una alcalinidad alta, particu-
larmente a altas temperaturas. De esta descomposición de azúcares
reductores resulta la formación de ácidos con una correspondiente
caída en el pH y en la formación de sales solubles de calcio de es-
tos ácidos. Los productos de la descomposición son numerosos y, -
particularmente en la presencia de aminoácidos dan un aumento en
los compuestos complejos de color oscuro los cuales tienen un -
efecto adverso en el color del azúcar producido y también causan
una alta viscosidad en los jarabes cuando son encontrados. La -
descomposición de azúcares reductores es por lo tanto altamente
indeseable en varios aspectos.

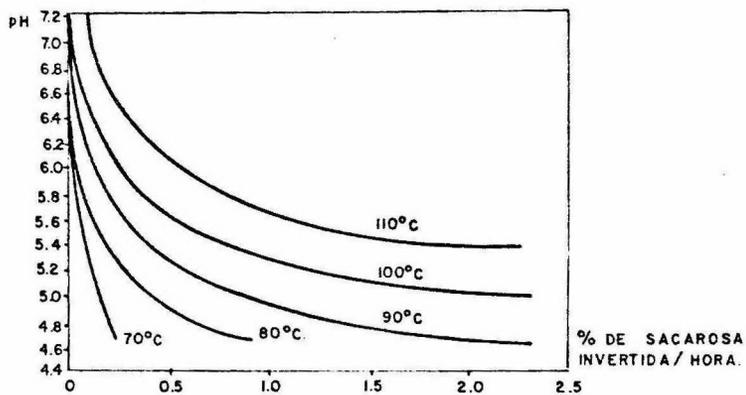


Fig. 2.1 INVERSION DE LA SACAROSA.

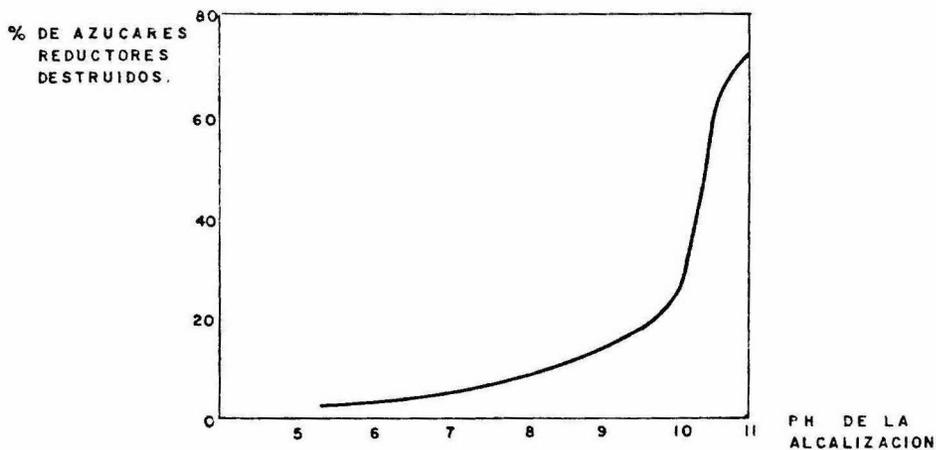


Fig. 2.2 DESTRUCCION EN EL JUGO, DE AZUCARES REDUCTORES.

Las más importantes consideraciones de la descomposición de dichos azúcares son las siguientes:

- (1) Que los ácidos orgánicos que se forman puedan ser neutralizados por la cal, incrementándose, entonces, el contenido de calcio en el jugo.
- (2) Que se forman complejos de condensación de alto color, los que causan que los azúcares producidos sean oscuros.
- (3) Que probablemente entre los productos de la descomposición se encuentran sustancias melacigénicas.

La Fig. 2.2. muestra la destrucción de los azúcares reductores en jugos alcalizados a varios niveles de pH y calentados a 100°C durante iguales períodos. Los datos, aunque únicamente son relativos, muestran el rápido aumento en la destrucción de los azúcares reductores que tiene lugar al incrementarse el pH.

c) **Compuestos nitrogenados:**

No ha sido bien caracterizada la distribución del nitrógeno en el jugo, se ha encontrado que aminoácidos y amidas eran los principales compuestos, existiendo relativamente menores cantidades de proteínas. El nitrógeno separado en la clarificación puede variar de un 12,5 a un 60%, pero el promedio general de separación es de 1/3. Las proteínas son casi completamente precipitadas, en cambio los aminoácidos simples permanecen en solución.

d) **Aminoácidos y amidas:**

La mayoría de los aminoácidos y amidas comunes han sido aislados en el jugo de la caña. Los aminoácidos simples son estables bajo las condiciones de la clarificación, permaneciendo sin precipitar.

e) **Proteínas:**

Poco se conoce del tipo de proteínas que existen en el jugo de la caña. Sin embargo, aparentemente un gran porcentaje lo constituyen las albúminas, como lo indican las mediciones de la coagulación por medio del calor.

Las proteínas tienen un peso molecular elevado y forman soluciones coloidales; como son combinaciones complejas de los aminoácidos, tienen el carácter de anfóteros, con características tanto ácidas -

como básicas. Por lo tanto, el comportamiento químico de las proteínas depende en alto grado del pH. Cada proteína tiene un punto isoeléctrico definido en el cual no dominan ni los grupos ácidos ni los básicos. En el caso de la albúmina en el jugo, se tiene información de que esto ocurre a un pH de 5.5, punto en el que la proteína muestra un mínimo de hidratación y turgencia y donde la solución coloidal tiene un mínimo de estabilidad. La precipitación tendrá lugar más fácilmente a este pH si la proteína se desnaturaliza (la desnaturalización es un tipo de cambio molecular interno que puede ser causado también por otros medios, tal como la acción de ciertos reactivos químicos). Debido a que el jugo crudo tiene un pH situado en el nivel del punto isoeléctrico, la albúmina deberá ser efectivamente removida por el calentamiento. La indicación es que la alcalización del jugo en caliente da por resultado la separación de más compuestos nitrogenados que la alcalización en frío. Sin embargo, otros factores pueden afectar esto, aunque la mayor parte de la proteína en el jugo se separa por la acción del calor y la cal, y muy poca llega a las meladuras y melazas.

Cualquier proteína que permanece en el jugo después de la alcalización es altamente perjudicial. Estas sustancias actúan como protectoras de los coloides y tienden a estabilizar la materia en

suspensión; pueden reducir la actividad del ion calcio, y en consecuencia, incrementar la concentración de ese elemento. En las operaciones finales de la fabricación, las proteínas pueden incrementar la viscosidad de las melazas y disminuir la velocidad de cristalización de la sacarosa.

f) Gomas:

Las gomas están compuestas, principalmente, de pentosanas, polisacáridos que por hidrólisis dan azúcares del grupo de la pentosa. Las pentosanas son sustancias coloidales hidrofílicas que incrementan marcadamente la viscosidad de las soluciones.

Es bajo el contenido de pentosana en el jugo crudo. Como las pentosanas son poco afectadas por el proceso de clarificación, una gran porción de ellas permanece en el jugo clarificado y puede causar viscosidades dificultosas en las melazas.

g) Pectinas:

Las pectinas, al igual que las gomas son sustancias coloidales hidrofílicas que tienen la propiedad, muy pronunciada, de incrementar la viscosidad de las soluciones. Son carbohidratos de composición compleja, cuya estructura básica es un ácido poligalacturónico, parcialmente esterificado con alcohol metílico, que también -

contiene grupos de pentosa y pentosana. Las pectinas son ópticamente activas. Se hidrolizan fácilmente a ácido péctico en solución alcalina, de ahí que en el jugo alcalizado se forme pectato de calcio. Aunque éste es muy insoluble, generalmente resulta en la formación de un gel, cuya floculación y precipitación dependen de las condiciones del medio. La precipitación es estorbada por el efecto peptizante de los azúcares, aminoácidos y sales inorgánicas. Las pectinas incrementan la solubilidad de la sacarosa.

Es muy importante que durante la clarificación las pectinas sean separadas lo más posible. A un pH de 8.0 la alcalización convertirá esencialmente todas las pectinas en pectato de calcio, y la precipitación de ésta dará por resultado la separación de la mayoría de las sustancias del jugo.

Ceras y grasas:

El jugo crudo contiene en suspensión una apreciable cantidad de ceras, resinas y grasas, ya sea en forma de partículas grandes o bien en estado coloidal. El efecto de la clarificación es principalmente físico y, como esas sustancias son de baja densidad, durante la clarificación van a la parte superior, formando una nata, aunque cierta cantidad será acarreada por el precipitado, y por otra parte, a menudo una parte permanece en suspensión en el

jugo clarificado; de ahí que esas sustancias se encuentran como impurezas en algunos de los productos de la fábrica.

2.5. Física y Química de la Clarificación:

Física y químicamente, la simple clarificación del jugo causa la precipitación, coagulación y, eventualmente, el asentamiento del material en suspensión. (El material que sube y forma nata tiene, por lo general, una importancia secundaria). Desde un punto de vista práctico, son deseables los siguientes resultados:

- 1o.- Precipitación y coagulación tan completas como sea posible.
- 2o.- Rápida velocidad de asentamiento.
- 3o.- Mínimo volumen de asientos.
- 4o.- Asientos densos.
- 5o.- Jugo claro.

Tanto la temperatura como el pH la cantidad de cal y la mecánica del proceso, determinan el carácter físico del sistema sólido-líquido resultante.

En los resultados adversos de la clarificación están implicados los siguientes factores:

- 1o.- Un asentamiento incompleto puede ser debido:
 - a) Al tamaño pequeño de las partículas.
 - b) A la acción coloidal protectora, y
 - c) A la densidad de algunas partículas no mayor que la del jugo.

2o.- Un asentamiento lento puede ser debido a:

- a) La viscosidad del líquido.
- b) La gran área superficial de las partículas, y
- c) La pequeña diferencia de densidad entre partículas y líquido.

3o.- Un gran volumen de asientos puede deberse a:

- a) La gran cantidad de material precipitable, particularmente fosfatos.

4o.- La baja densidad de los asientos puede deberse a:

- a) La forma y tamaño de las partículas, y
- b) La hidratación de las partículas.

Partículas gruesas de materia en suspensión:

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 flóculo, formado, principalmente por la precipitación del fosfato de calcio. La eliminación efectiva de estas voluminosas partículas depende del carácter del precipitado formado.

Las partículas de un precipitado alcanzan su tamaño máximo cuando la - concentración de las 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 producen resultados más favorables que la adición intermitente, ya que con esto se tendrían regiones de muy bajas y de muy altas concentraciones.

Como ya se dijo antes, la velocidad de asentamiento de las partículas depende de su tamaño, forma y densidad, así también como de la densidad y viscosidad del jugo. Si las partículas son de forma esférica y no hay ningún efecto de otras partículas o de las paredes del vaso, la velocidad de caída está expresada por la ley de Stoke:

$$V = \frac{D^2 (d_1 - d_2) g}{18 U}$$

Donde: V = velocidad de caída
D = diámetro de la partícula
d₁ = densidad del sólido
d₂ = densidad del líquido
g = constante de gravedad
U = viscosidad del líquido

Si las partículas son esféricas, la constante en la ecuación de Stoke --

relacionada con esto no es mayor de $1/18$ y, en su forma general, se vuelve

$$V = K \frac{D^2(d_1 - d_2)}{U}$$

donde k incluye la constante gravitacional, así como la constante para la forma particular de la partícula.

En el jugo, la densidad del líquido d_2 está generalmente entre 1.05 a 1.10, mientras que la densidad de las partículas sólidas varía dentro de amplios límites. La materia inorgánica, tal como el fosfato de calcio, y las partículas del suelo tendrán una densidad comprendida entre 2.2 y arriba de 3.0. La materia orgánica tendrá una densidad muy aproximada a la del jugo, 1.1 ó menos, y aún puede ser menor que 1.0 en el caso de que se trate de materiales tales como las grasas y las ceras. Sin embargo, en su conjunto la densidad de las partículas alcanzará un promedio mayor que 1.5, de ahí que la diferencia $d_1 - d_2$ será lo suficientemente grande para producir un asentamiento relativamente rápido, siempre que los otros factores sean favorables.

Por lo tanto, el tamaño y la forma de las partículas son factores importantes en la velocidad de asentamiento. Las condiciones que originan grandes partículas que tienden a aproximarse a la forma esférica, son las que dan el asentamiento más rápido.

Con objeto de conseguir partículas grandes y densas que tengan una superficie pequeña, las condiciones deben favorecer la unión de las diminutas partículas 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. Otros factores de importancia en el calentamiento son las disminuciones en la viscosidad y en la densidad del jugo.

Los coloides liofílicos que existen en el jugo tenderán en el sentido de prevenir la unión de partículas, tanto por incrementar la hidratación de éstas como por aumentar la carga eléctrica en su superficie. Todas las partículas del jugo poseen una carga negativa. La fuerza de repulsión de las cargas deberá ser dominada antes de que las partículas se unan. Mientras menor sea la superficie, menor será la carga, pero las partículas más pequeñas pueden tener una carga relativamente mayor por unidad de área. Por lo tanto, las partículas mayores con una área mínima superficial serán las que se precipitarán más fácilmente.

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 la 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 eliminadas del jugo, las sustancias coloidales pueden incrementar la viscosidad de meladuras y melazas haciendo más lenta la filtración, favoreciendo la formación de espumas, incrementando el color y, finalmente, interfiriendo con la cristalización de la sacarosa. Aunque desde un punto de vista del porcentaje, no es grande la cantidad de coloides que pueden ser eliminados, sí es un resultado importante del proceso de clarificación la remoción de sustancias dentro de esos límites de tamaño.

Los coloides del jugo de la caña son de dos tipos: liofílicos y liofóbicos. Los coloides liofílicos son principalmente orgánicos, estando caracterizados por una fuerte atracción hacia el líquido, una propiedad que se manifiesta por un alto grado de hidratación, hinchamiento y alta viscosidad. Por otra parte, los coloides liofóbicos están menos hidratados, formando dispersiones inestables que tienen poco efecto sobre la viscosidad.

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 éstos se encuentran las glucosanas y las levulosanas, de carácter mucilaginoso y liofílico.

En el proceso de clarificación también pueden formarse coloides en la precipitación de las sales inorgánicas y en la descomposición de las sustancias orgánicas. Entonces, una medición de los coloides antes y después de la clarificación no es necesariamente una medida de su eliminación.

La cantidad de materia coloidal que existe en el jugo crudo, cae dentro de los límites de 0.02 y 0.29%. La clarificación puede hacer que esta cantidad aumente o disminuya, pero, en promedio, se consigue una eliminación aparente del 10 al 15%.

En el jugo las partículas coloidales poseen una carga eléctrica negativa. Esta carga es la causa de que las partículas se rechacen unas a otras, evitando su unión de esa manera. Puede ocurrir una precipitación si la carga se neutraliza o se hace contraria. Aún más importante que la carga, es el

grado de hidratación de los coloides liofílicos, pudiendo éstos coagularse por una deshidratación tal como la que se origina por el calentamiento. Sin embargo, con objeto de neutralizar o de cambiar la carga en sentido opuesto, deben ser introducidas partículas cargadas positivamente, o bien, debe conseguirse una adsorción de los iones positivos del electrólito. Sin embargo, a lo largo de la clarificación ordinaria, que se efectúa por medio de la cal, los coloides permanecen cargados negativamente. Los experimentos de cataforesis indican que después de la alcalización decrecen los movimientos hacia el ánodo, siendo esa indicación de que ocurre cierta neutralización de la carga, posiblemente por adsorción de los iones calcio. Son necesarias, relativamente, grandes cantidades de cationes polivalentes, tales como Al^{+++} para dar a las partículas una carga positiva. Es claro que se tendrá muy poca separación de partículas coloidales mientras éstas retengan su carga negativa.

También es negativa la carga de las partículas de fosfato de calcio, de ahí que no se debe esperar que las partículas las separen por adsorción alguna cantidad apreciable de los coloides negativos del jugo. El flóculo de fosfato arrastrará los coloides de mayor tamaño, los cuales tienen una pequeñísima carga por unidad de peso, pero la separación de los verdaderos coloides no es una acción indicada.

La separación de coloides que se efectúa durante la clarificación se debe,

principalmente, a la acción del calor y de los cambios químicos. --
Debido a la sola acción del calor, las albúminas se deshidratan se --
desnaturalizan y se coagulan. Esta acción también es responsable, en
una parte considerable, de la clarificación del jugo. Otras proteínas,
que tengan un punto isoeléctrico por encima del correspondiente al ju
go crudo, pueden ser igualmente coaguladas y precipitadas debido -
al cambio en el pH. Las pectinas se descomponen por acción de la -
cal, son precipitadas como pectotato de calcio y luego eliminadas. -
Aparte de los anteriores, los efectos de la clarificación sobre los coloí
des del jugo son de muy pequeña significancia.

2.6. Efecto del pH:

Analizando la tecnología aplicada, ayudados con el conocimiento de
las reacciones fundamentales que tienen lugar en la clarificación, es
comprensible que se establezca una limitación práctica a los valores del
pH que vayan a ser aplicados. Si es demasiado bajo el pH del jugo cla
rificado, entonces no se conseguirá de un modo completo la precipita
ción de fosfatos, sesquióxidos y ácido silícico. El pH más bajo no afec
ta la redisolución de la materia en suspensión que está originalmente --
presente en los jugos de los molinos. Se tiene la ventaja de que no hay
destrucción de azúcares reductores; y tampoco hay un incremento anor
mal en el contenido de cal del jugo clarificado, tal como el causado por
descomposición de los azúcares reductores. Una alta alcalinidad tiene la

ventaja de una completa precipitación de los no azúcares inorgánicos removibles (fosfatos inorgánicos, sesquióxidos y ácido silícico). Hasta un cierto grado puede afectar la redisolución de los no azúcares proteínicos e incrementar el contenido de nitrógeno del jugo clarificado. La mayor desventaja de la alcalinidad (pH) demasiado alta es la descomposición de los azúcares reductores y el incremento del contenido de cal. Esquemáticamente se representa esto en la fig. 2.3.

No es posible dar una regla general para encontrar el pH óptimo, ya que varían considerablemente las cantidades de los diferentes tipos de no azúcares presentes en el jugo de los molinos.

Si un jugo es bajo en contenido de fosfatos y de sesquióxidos puede ser ventajoso fijar el punto final de la alcalización de un pH 6.9-7.2 en el jugo clarificado. Sin embargo, si un jugo es alto en fosfatos y tiene considerable cantidad de ácido silícico, estando bajo en no azúcares proteínicos, puede ser recomendable alcalizar el jugo hasta un pH de 7.6-7.8 en el jugo clarificado. Vemos entonces que el pH óptimo está condicionado por la composición del jugo de los molinos.

Una solución práctica para determinar el pH en el lado alcalino es prestar más atención a la cantidad de fosfato inorgánico que queda en el jugo clarificado. Si esta cantidad cae abajo de un cierto nivel, un contenido de

P_2O_5 de 10 mg por litro de jugo clarificado, entonces existirá ahí un considerable peligro de sobrealcalización. La desventaja es que aumenta hasta un grado indeseable el contenido de no-azúcares en los jugos clarificados; al incremento en el contenido de cal sigue siempre un incremento en la proporción de incrustaciones, teniéndose también que esas sales de cal se precipitan parcialmente en el proceso de evaporación, en forma de una suspensión finamente dividida que queda en el seno de las melazas, disminuyendo por ello la filtrabilidad del azúcar crudo e impidiendo que en la operación de centrifugación se obtenga una buena separación entre los cristales y el licor madre.

Hay unas reglas que deben ser aplicadas, bajo cualquier circunstancia, en la tecnología de la purificación:

- 1o.- Debe evitarse la excesiva alcalización ($pH > 8.5$) a altas temperaturas, debido a que esto causa una destrucción de azúcares reductores, junto con una formación de productos de descomposición de ácidos y de sales solubles de cal.
- 2o.- El jugo deberá neutralizarse con la cal hasta un $pH > 7$ para evitar pérdidas, por inversión de sacarosa, durante la clarificación y concentración del jugo.

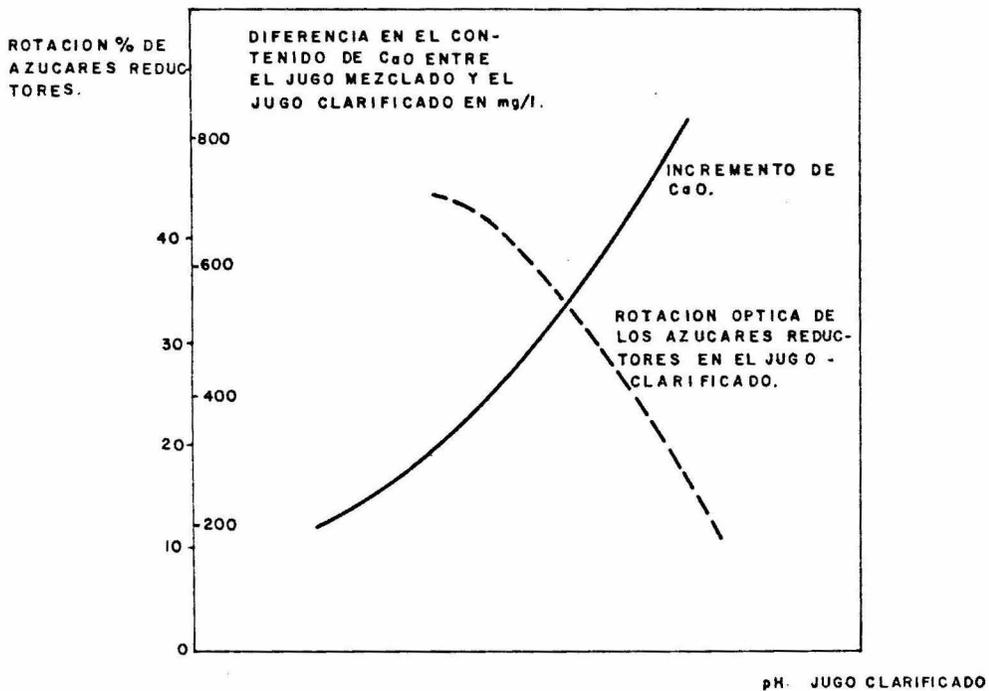


Fig.2.3EFECTO EN LA CLARIFICACION, DEL GRADO DE ALCALIZACION SOBRE EL INCREMENTO DE LAS SALES DE CAL SOLUBLES EN EL JUGO CLARIFICADO Y SOBRE LA DISMINUCION DE LA LEVO-ROTACION EN LOS AZUCARES REDUCTORES.

- 3o.- Los mejores resultados se obtienen, especialmente, después de la introducción de calentadores, clarificadores y filtros continuos, lo que permite poder regular la cantidad de jugo que va a ser manejado por el equipo por unidad de tiempo, tan constante como sea posible. La regularidad es la llave para los óptimos resultados en la eficiencia de la fabricación de azúcar.
- 4o.- Sólo pueden obtenerse resultados satisfactorios si la molienda de la caña, la recolección y el transporte del jugo, y la operación de alcalización se efectúan tomando todas las medidas para lograr una escrupulosa limpieza, en tal forma que se reduzca a un mínimo la acción de los microorganismos.

La cal debe ser cuidadosamente seleccionada. Debe contener sobre el 95% de hidróxido de calcio y no más del 1% de óxido de magnesio, y debe estar casi libre de fierro, óxidos de aluminio y arena. La cal debe estar finamente triturada y pasar a través de una malla de 400. La cal que cumple con estas especificaciones será actualmente más económica para usarla que, una cal de grado más barato, porque en la preparación de la lechada de cal de cerca de 5°Baumé toda la cal estará en suspensión, y cuando es dispersada en el jugo de caña crudo, ésta reaccionará mucho más rápido con ácidos y compuestos del jugo de caña.

La cal se añade al jugo en forma de hidrato o hidróxido de calcio. La fábrica puede comprar la cal hidratada como tal, o bien puede producirla "apagando" el óxido de calcio o "cal viva". Tomando como base los costos, el primer caso se justifica si el costo del producto hidratado y el del transporte extra, por unidad de óxido de calcio desde las calderas, son menores que el de la operación de una pequeña planta de hidratación en el propio ingenio. Pero ese raramente es el caso, ya que la compra de la cal hidratada en lo general se justifica con fundamento en la conveniencia y en la pureza.

La adición de la dosis de cal en forma de sacarato de calcio, que no se usa de manera común, con toda probabilidad se basa inicialmente en una o dos consideraciones. El sacarato de calcio, por lo general, se prepara sobrealcalizando un jugo crudo de baja pureza, o un jugo filtrado, en lugar de utilizar una solución acuosa de azúcar. Con esto se consigue que no sea necesario añadir en el procedimiento cantidades extras de agua, aliviando por lo tanto, el problema de la operación. La segunda consideración es que el jugo o filtrado que se utiliza para la producción del sacarato se mantiene durante un tiempo a un valor de pH muy alto.

El uso del sacarato tiene algunas ventajas, notablemente una mejor eliminación de las ceras. La principal desventaja operacional es el gran volumen de cachaza que es probable se obtenga, siendo esta la causa de que el método no se haya adoptado ampliamente en la industria del azúcar crudo.

2.7. Defecación:

Etapas de la defecación como proceso de clarificación:

Con objeto de describir los aspectos fundamentales de la clarificación de los jugos de caña, es necesario dividir ésta en los siguientes procesos:

- a) La separación de las impurezas que están en suspensión en los jugos de los molinos, por medio de tamizado, colado, flotación, asentamiento, sedimentación o centrifugación.
- b) El calentamiento de jugos.
- c) El uso de lechada de cal y la preparación de ésta a una densidad constante, permitiendo su adición en cantidades medidas y conocidas, a una determinada cantidad de jugo.
- d) La introducción de modernos sistemas de control del pH, con objeto de determinar el punto final del proceso de alcalización,

comenzando con la prueba de asentamiento, seguida por la introducción del papel tornasol, la utilización de métodos de titulación y, más recientemente, por la introducción de la medición del pH, primero con la ayuda de indicadores, y luego con métodos eléctricos de medición directa del pH, combinados con sistemas de registro.

2.8. La Circulación de la Cal:

Este sistema consiste esencialmente en dos tanques para mezclar cal, dotados de agitadores, en los cuales la cal puede mezclarse con agua hasta la densidad deseada que suele ser de 15° Baumé, pero frecuentemente es de menor contenido de cal, especialmente cuando se hace uso de la alcalización automática. Se puede utilizar cal viva en trozos, cal hidratada pulverizada, o cal viva en polvo; la que resulte más disponible desde el punto de vista económico. La lechada de cal que así se prepara se bombea por el sistema de circulación a aquellos puntos de la fábrica donde sea necesaria. Uno de los tanques mezcladores se llena, y en él se apaga la cal, mientras el otro está vaciándose.

2.9. Control de la Adición de Cal:

La adición de la cantidad correcta es la base de una buena clarificación, la adición de poca cal producirá una decantación defectuosa y un jugo turbio y quizás ocurran pérdidas por inversión. La adición de demasiada cal produce oscurecimiento de los jugos, aumento de gomas en los productos

de baja pureza, aumento en las cenizas debido a las sales cálcicas disueltas, y una producción excesiva de melaza final.

Métodos de adición de la cal al jugo:

a) Métodos manuales.

Un método manual de adición se traduce como un método intermitente o discontinuo. Consiste en la medición del volumen requerido de cal de la deseada densidad, y de la adición de ésta al tanque del jugo. La objeción principal es que no se puede evitar la creación de zonas de alta alcalinidad.

b) Métodos automáticos.

Un verdadero dispositivo automático de alcalización debe combinar:

- 1o.- La adición automática de una cantidad constante de hidróxido de calcio aprovechable por unidad de jugo.
- 2o.- Adaptabilidad de cambio si se cambia la calidad del jugo.
- 3o.- Cambio inmediato de la cantidad de cal añadida cuando cambie la calidad del jugo. Esto significa en efecto que el dispositivo automático debe controlar la adición de acuerdo con la cantidad de jugo y con su demanda de cal,

y a una cantidad de jugo y demanda constantes deberá ser capaz de variar la velocidad del flujo de la lechada de cal de acuerdo con las diferentes densidades de la lechada y de las variantes calidades de la cal.

1) Mecánica:

No en todos, pero sí en la mayoría de los diseños mecánicos, se ha dispuesto la adición automática de una cantidad constante de lechada de cal por unidad de cantidad de jugo, que cambiará al variar la velocidad del flujo del jugo. El cambio de la cantidad añadida debido a la variación de la demanda de cal se consigue usualmente por medio de un control manual. Ningún dispositivo de alcalización mecánica tiene la ventaja de controlar, de acuerdo con la variable demanda de cal, la cantidad de lechada que deba añadirse. Para esto se necesita un medio que determine la reacción del jugo. Hoy en día ya se dispone de equipos electrométricos convenientes que pueden indicar y registrar la concentración del ión H^+ en el jugo.

2) Electrométrico:

Para el control electrométrico de la adición de lechada de cal al jugo son necesarios un potenciómetro y un adecuado par de electrodos. A su vez, este equipo debe acoplarse a un dispositivo

electromecánico de algún tipo para poder controlar la cantidad de lechada que se añade de acuerdo con la lectura del pH dada por el potenciómetro en relación con el punto deseado de control. De ahí que fundamentalmente, la materia más importante en el procedimiento es el punto en el que se toma la muestra, la que después se pasa por medio de una pequeña conexión lateral auxiliar, a la cámara donde está situado el electrodo.

2.10. Control de pH:

Generalmente la adición de cal al jugo es controlada cuando se pone tan cercanamente como sea posible, a un pH uniforme en el jugo clarificado que deja el sedimentador. Esto no significa que un cierto valor de pH es el óptimo para todos los jugos; pero generalmente hablando, la clarificación óptima es obtenida en un cierto rango de pH. Entonces la finalidad es llevar el pH, lo suficientemente alto para obtener una precipitación completa de fosfato, sin causar un exceso de sales de cal en la solución. Un cambio substancial en el pH es deseado para causar una precipitación secundaria en el jugo que deja el sedimentador, con los consecuentes depósitos en los evaporadores y quizá en los siguientes pasos.

En principio, el camino más simple para tener un control a un pH constante en el jugo clarificado sería controlar la adición de cal de acuerdo al pH del jugo que deja el sedimentador. Esto en efecto fué el método

usado cuando el control de pH fué introducido, con mediciones colorimétricas; sin embargo, el tiempo involucrado en el cual intervienen mezclados, calentamiento y proceso de sedimentación es excesivo. Por lo tanto, el método normalmente adoptado con métodos electrométricos es puesto para detectar por medio de electrodos tan cerca como sea posible del punto en el cual la cal es agregada al jugo, consistente con el mezclado propio de la cal con el jugo. Esto hace mínimo el tiempo y da un control más cerrado; por otro lado, la discrepancia permitida debe ser hecha para la caída de pH del jugo encalado al jugo clarificado, la cual puede variar considerablemente.

Las características del sistema de control el cual determina la precisión del control son como sigue:

- a) La naturaleza de los cambios en la variable controlada se debe a la naturaleza del material, en este caso la acidez del jugo. Esto es conocido como "factor de cambios" y puede elevarse para cambios en la velocidad de flujo o en la acidez del jugo.
- b) La "velocidad de reacción", en este caso la relación tiempo-temperatura el proceso de mezclado de la cal con el jugo y el efecto de las reacciones químicas las cuales determinan el pH inmediatamente establecido.

- c) El tiempo debido a los aparatos de medición, la acción de los controladores y otras partes del sistema, las cuales determinan el intervalo de tiempo entre el acontecimiento en un cambio en el pH del jugo y el efecto de la acción tomada para corregirlo.

Estos factores están condicionados a que si el control es manual o automático. Con el control manual, el operador observa un cambio en el indicador de pH; y entonces ajusta el flujo de cal para corregir ese cambio. Con el control automático la misma acción correctiva es tomada por el instrumento; y con la propia instalación el grado de control con el control automático es mucho mejor que el que se lograría con una buena atención por parte de un operador humano, sin embargo, el instrumento debe ser constantemente vigilado.

Con el encalado en frío, los electrodos de pH son puestos como se muestra en la Fig. 2.4., generalmente con una pequeña cámara abierta a través de la cual fluye una muestra de jugo tomada de la línea principal de jugo por un pequeño tubo. Esta muestra de jugo es entonces retornada al tanque de jugo mezclado. Con algunos tipos modernos de electrodos industriales, los electrodos que se van a montar pueden ser puestos directamente en la línea principal de jugo, que es designada para operar bajo una presión considerable. La señal de los electrodos es recibida en el instrumento de control, el cual da una señal amplificada, eléctrica, neumática o

hidráulica, para que actúe el mecanismo o válvula de control apropiada la cual ajusta el suministro de cal.

En un sistema de control de pH, manual o automático, el control efectivo puede solamente ser obtenido si "el factor de cambios" es mantenido a un mínimo; es decir: cambios en la velocidad de flujo y calidad del jugo - deben ser mantenidas a un mínimo. La calidad del jugo está más allá del control del operador, pero regularmente el flujo puede ser controlado con una instalación conveniente. Similarmente las variaciones en la concentración de la lechada de cal deben ser evitadas. A un control de pH - - apropiado es todavía necesario tener en cuenta las diferencias en la composición del jugo.

Con el encalado en caliente, el sistema de control de pH es similar en principio a como lo muestra la Fig. 2.4. , pero la cal es agregada generalmente en el tanque flash, y la muestra tomada de la línea entre el tanque flash y el sedimentador. Generalmente un enfriamiento de la muestra es necesario para obtener una lectura satisfactoria del pH y así la muestra es pasada a través de un enfriador de agua enchaquetado convenientemente antes de pasar a la cámara de electrodos.

2.11. Formación y Acondicionamiento del Flóculo:

El requerimiento básico de los procedimientos de clarificación es manejar

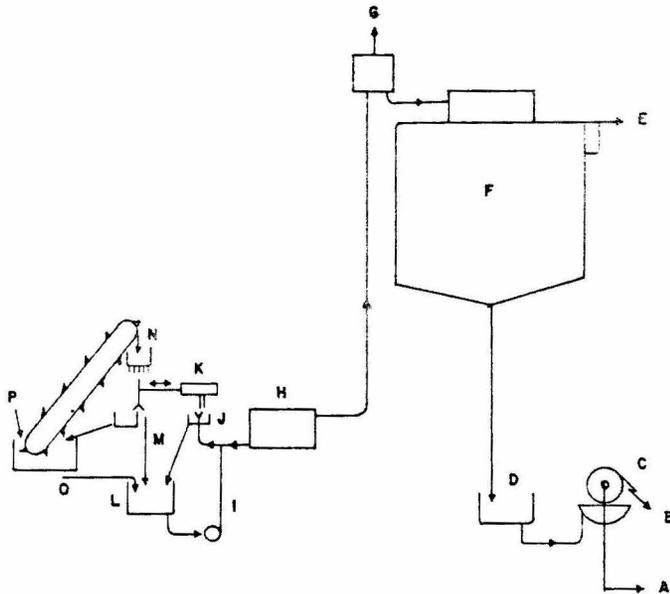


Fig. 2-4 ESQUEMA DEL PROCESO DE CLARIFICACION.

- | | |
|---|------------------------|
| A - FILTRADO. | K - CONTROLADOR DE pH. |
| B - TORTA FILTRADA. | L - TANQUE MEZCLADOR. |
| C - FILTRO. | M - CAL. |
| D - MEZCLADOR. | N - CAL. |
| E - JUGO CLARIFICADO A EVAPORADORES. | O - JUGO MEZCLADO. |
| F - CLARIFICADOR. | P - LECHADA DE CAL. |
| G - VAPOR. | |
| H - CALENTADOR. | |
| I - JUGO ENCALADO. | |
| J - MUESTRA PARA pH. | |

el proceso de tal manera que se obtenga un flóculo (llamado también grumo o coágulo) bien formado, de asentamiento rápido, con la producción de un jugo claro y brillante. Lo más importante es la manera de como se forma el flóculo. En esto influyen la calidad y los constituyentes del jugo y, secundariamente, la particular secuencia calor que se emplea. Con este objeto se puede definir la calidad del jugo como la forma en que responde un proceso de clarificación, pudiendo esto variar dentro de muy amplios márgenes, siendo esta la razón por la que están involucradas tantas secuencias de cal y calor. No se ha entendido claramente la causa exacta de esta variación en la calidad, aunque básicamente se debe a las relaciones fisicoquímicas de los diferentes constituyentes del jugo. Algunos factores han influido sobre estas relaciones, por ejemplo: la variedad, el grado de madurez, las cualidades del suelo, las condiciones de humedad, etc.

Los cambios fundamentales que tienen lugar durante la clarificación de un jugo, son los siguientes:

- 1o.- Un cambio en la concentración del ión H^+ debido a la adición de la lechada de cal.
- 2o.- Coagulación de algunos de los coloides debida a cambios en la concentración del ión H^+ y a la aplicación de calor.

3o.- Formación de compuestos insolubles de calcio y sus complejos.

4o.- Formación de compuestos solubles de calcio y sus complejos.

El efecto total que se desea es la formación de un precipitado en dos o más etapas.

Al añadir en frío la lechada de cal para producir una reacción alcalina, algunos coloides se precipitan formando lo que podría llamarse flóculo de calcio, formandose un precipitado principalmente de fosfato de calcio y de hidróxidos de hierro y aluminio.

El papel del fosfato se considera tan importante que forma el eje central alrededor del cual giran la mayor parte de las teorías sobre el mecanismo del proceso de clarificación. Por otra parte, se conoce que un jugo muy refractario puede contener tanto como el doble del requerimiento normal de fosfato y aún así no responde satisfactoriamente al tratamiento. Un precipitado de fosfato de calcio es un precipitado floculento que remueve ciertos coloides por adsorción superficial y que al irse asentando arrastra mecánicamente algunos de los coágulos de calcio y algunas otras impurezas en suspensión. Al calentar el jugo las reacciones se aceleran. Por efecto de la deshidratación, posteriormente puede tener lugar una precipitación de los coloides. El efecto práctico es que la precipitación se consolida, y con menos probabilidad puede formar una nata.

Por eso al llevar a cabo la secuencia de alcalización en caliente, el efecto primario es que la coagulación de los coloides afectados por el calor, a una concentración del ión hidrógeno en el punto isoeléctrico, o cerca de él. Estos flóculos parecen estar desprovistos de la fuerza mecánica necesaria para soportar un manejo industrial moderado y algunos están fragmentados. Después de la adición de cal hasta un pH de 7.8 se precipita el fosfato de calcio pero no absorbe ni ocluye mecánicamente todos los fragmentos, resultando una solución ligeramente turbia.

Cualquier procedimiento de clarificación del azúcar crudo que comprenda más de una etapa de alcalización y más de una etapa de calentamiento está ideado para inducir la coagulación y la precipitación por etapas o grados. Cada etapa se ajusta a los requerimientos de precipitación de ciertos constituyentes del jugo. En cada etapa se precipitan los diversos constituyentes del jugo y se forman grandes flóculos debido a las oportunidades de adsorción, adhesión y oclusión.

La aplicación de calor al jugo crudo por medio de modernos calentadores de alta velocidad resulta en un rápido incremento de la temperatura hasta el punto deseado. Pero a la vez que esto se efectúa el jugo está sometido a una violenta turbulencia mientras pasa a través del calentador. Esta no es una condición que induzca a una formación deseable

de flóculo, debido al desgaste mecánico y al desgarramiento de las partículas. Los efectos perjudiciales de las bombas centrífugas sobre el flóculo, después de la alcalización en frío o de la alcalización secundaria, guarda similitud con los efectos de turbulencia en un calentador de alta velocidad.

Un factor importante en la reducción de la turbiedad en el jugo clarificado es la resistencia mecánica del flóculo. Otro factor es el peso del flóculo.

La formación y el acondicionamiento del flóculo no son procesos instantáneos. Los cambios físicos y químicos inducidos por la adición de cal dependen fundamentalmente de la propia alimentación de cal al flujo del jugo y de la uniformidad de la reacción que ocurre en su masa.

Se ha obtenido un éxito considerable en el acondicionamiento del flóculo procurando que el jugo tratado no sufra choques mecánicos después del calentamiento inicial. El calentamiento y la alcalización secundaria pueden disponerse de tal modo que cuando se lleven a efecto haya un flujo de gravedad hacia el clarificador. La tendencia que tienen los flóculos de atraerse, de chocar y adherirse unos con otros es tomada en cuenta por algunos fabricantes de clarificadores, de ahí que instalen una cámara de floculación como compartimiento superior del aparato. Los flóculos que

después de su formación se redispersan o se desgarran mecánicamente, debido al agitador de alta velocidad, raramente vuelven a tomar la forma y tamaño originales. Su facultad para hacerlo queda disminuida en cierta forma.

En algunos clarificadores de jugo de caña se forman colchones de lodos, que son atravesados por el líquido que al entrar fluye hacia arriba. Se ha encontrado, en la práctica, que si se procura que esto ocurra a velocidades de cierto valor crítico, que varía con el líquido y con el flóculo, parte del material en suspensión se separa y el colchón se consolida. - Esta es, en efecto, una medida para que tenga lugar un lento movimiento de enrollamiento que ayuda a la cohesión.

Al acondicionamiento del flóculo corresponde entonces una parte muy importante del procedimiento de clarificación del azúcar crudo. Factores prácticos, como la liberación de la turbiedad del jugo clarificado, las densidades y volúmenes de lodo, las pérdidas de pol en la cachaza, la capacidad de un área dada de asentamiento, etc., son influidos por su propio manejo. Los intensivos estudios que han conducido al desarrollo de estas prácticas son el resultado de la necesidad ocasionada por la aparición de jugos refractarios. De ninguna manera puede asegurarse que todos los tipos de jugos refractarios pueden ser manejados satisfactoriamente, pero la provisión de un tanque de retención y de acondicionamiento

to del flóculo, en una o más de sus formas, hace avanzar un largo trecho en el camino hacia la solución práctica.

Se ha encontrado que con el incremento del tiempo se tiene también una elevación en la pureza sacarosa brix, desde el jugo crudo al clarificado. La eliminación de cenizas no se incrementa materialmente cuando el período de contacto excede de 5 min. Las principales reacciones inorgánicas se efectúan con bastante rapidez y el menor incremento en calcio % Brix ocurre después de 5 min. Se ha observado que cuando se usa una lechada de cal de baja densidad se consigue un rápido asentamiento del flóculo por medio de una agitación prolongada y a expensas de un apreciable incremento en el calcio residual. Una lechada de cal de baja densidad produce una óptima velocidad de asentamiento con un corto período de contacto. Los resultados anteriores podrían explicar porqué, debido a la amplia utilización de dispositivos automático-electrométricos de alcalización, existe una tendencia definida hacia el uso de lechada de cal de baja densidad.

2.12. Diferentes Formas de Defecación con Cal: ✓

Con objeto de aclarar el terreno de las muchas y diferentes combinaciones de cal y calor que se pueden usar o que ya se usan en la industria, se da enseguida un resumen de ellas, junto con un breve exámen de cada una:

a) Encalado en frío. ✓

La defecación clásica y simple consiste en agregar toda la cal al jugo frío antes de calentar. El jugo es entonces calentado (hasta el punto de ebullición o ligeramente cerca de él) y es entonces asentado. Con las cañas nobles las cuales fueron en general las primeras en este siglo, el encalado en frío da excelentes resultados y fue bastante satisfactorio en todos los aspectos. Con las variedades de caña híbridas introducidas desde 1925, más o menos, los resultados con el proceso simple de encalado en frío no fueron satisfactorios, y han sido desarrolladas varias modificaciones.

b) Encalado en caliente. ✓

Una de las primeras modificaciones fue el encalado en caliente, o agregar la cal después del calentamiento del jugo; en algunos casos un grado considerable de sobrecalentamiento fue recomendado. Este da una clarificación muy superior con coagulación de ciertas materias coloidales las cuales no fueron afectadas cuando se calentó, después de la adición de cal. El calentamiento a un pH natural de 5.2 - 5.5, involucra algunos riesgos de inversión de sacarosa.

c) Encalado Fraccionario y Doble Calentamiento: ✓

Este Procedimiento consiste en:

Encalar el jugo frío hasta un pH de 6.2 a 6.4.

Calentar hasta la ebullición.

Reencalar hasta un pH de 7.6 a 8.2.

Calentar nuevamente hasta la ebullición.

Dejar decantar.

Los pH indicados corresponden, aproximadamente, a la adición de un tercio de la cantidad total de cal en el primer encalado o preencalado y dos tercios en el segundo encalado o encalado propiamente dicho.

El preencalado puede llevarse hasta un pH de 6.6, pero no debe pasarse de este punto. En la mayor parte de los casos generalmente un pH de 6.3 es satisfactorio.

El primer calentamiento puede detenerse en 93°C. Pero se ha constatado una disminución en la eficacia de la clarificación cuando el calentamiento llega a menos de 98°C. Para mayor seguridad es conveniente llevarlo hasta 105°C.

El segundo encalado puede llevarse más allá de 8.2, pero el valor óptimo se mantiene, en general cerca de 7.8. Si se encala a .

8.4 el jugo defecado permanecerá alcalino: 7.2 a 7.4.

El segundo calentamiento debe, necesariamente, pasar de la temperatura de ebullición y es bueno llevarlo hasta 105°C.

El pH final del jugo decantado debe ser de 6.8 a 6.9, aproximadamente.

Ventajas: Este procedimiento tiene sobre el encalado en frío las ventajas siguientes:

- 1) Se obtienen menos espumas.
- 2) El jugo claro es mucho más brillante.
- 3) La cachaza filtra mejor y produce tartas secas y porosas.
- 4) Los coloides nitrogenados se eliminan en una gran proporción: alrededor del 80% en lugar del 50%.
- 5) Las ceras se eliminan en una mayor proporción: 90% en lugar del 70%.

d) Clarificación Compuesta:

Este procedimiento exige la separación del guarapo en dos partes:

- 1) El jugo primario o guarapo de presión seca dado por la desmenzadora y/o el primer molino.
- 2) El jugo secundario formado por el jugo de presión húmeda

dado, generalmente, por el segundo molino en el caso de la imbibición compuesta.

La clarificación compuesta consiste en tratar separadamente estas dos categorías de jugo que presentan entre ellas diferencias importantes:

- a) El jugo de presión seca es más denso mientras que el jugo de presión húmeda contiene la mayor parte del agua de imbibición.
- b) El primer jugo extraído es el más puro.

La primera diferencia (densidad), permite decantar más fácilmente al jugo menos puro, que tiene la mayor necesidad de ser clarificado. Se sabe en efecto, que los jugos se decantan tanto más fácilmente cuando su densidad es más débil.

Cada una de las dos clases de jugo se encala y se calienta:

Jugo Primario: Encalado a pH 7.0 a 7.4.
Calentamiento a 105°.
Decantación.

Jugo Secundario: Encalado a pH 7.8 a 8.8.
Calentamiento a 105°.
Decantación

El jugo claro dado por el clarificador secundario va al alcalizador primario. Su pH es de 6.8, aproximadamente.

Los lodos secundarios van a la filtración. En resumen; sólo el jugo primario sufre la alcalización ordinaria por lo menos para la fracción (aproximadamente el 90%), que corresponde al jugo claro. El jugo secundario sufre por lo menos un doble encalado y un doble calentamiento. Ciertas fracciones de este jugo siguen un tratamiento mucho más complicado. Puede también tratarse el jugo primario alcalizándolo fraccionadamente y calentandolo dos veces, este procedimiento está representado en la Fig. 2.5.

Ventajas: Este procedimiento tiene sobre la clarificación simple la ventaja de eliminar a los coloides completamente: 30 a 37% en lugar de 18 a 23%. Otra de las ventajas principales de la clarificación compuesta es que los lodos secundarios tienen características físicas que les dan una mejor filtrabilidad al compararlos con los de la clarificación simple.

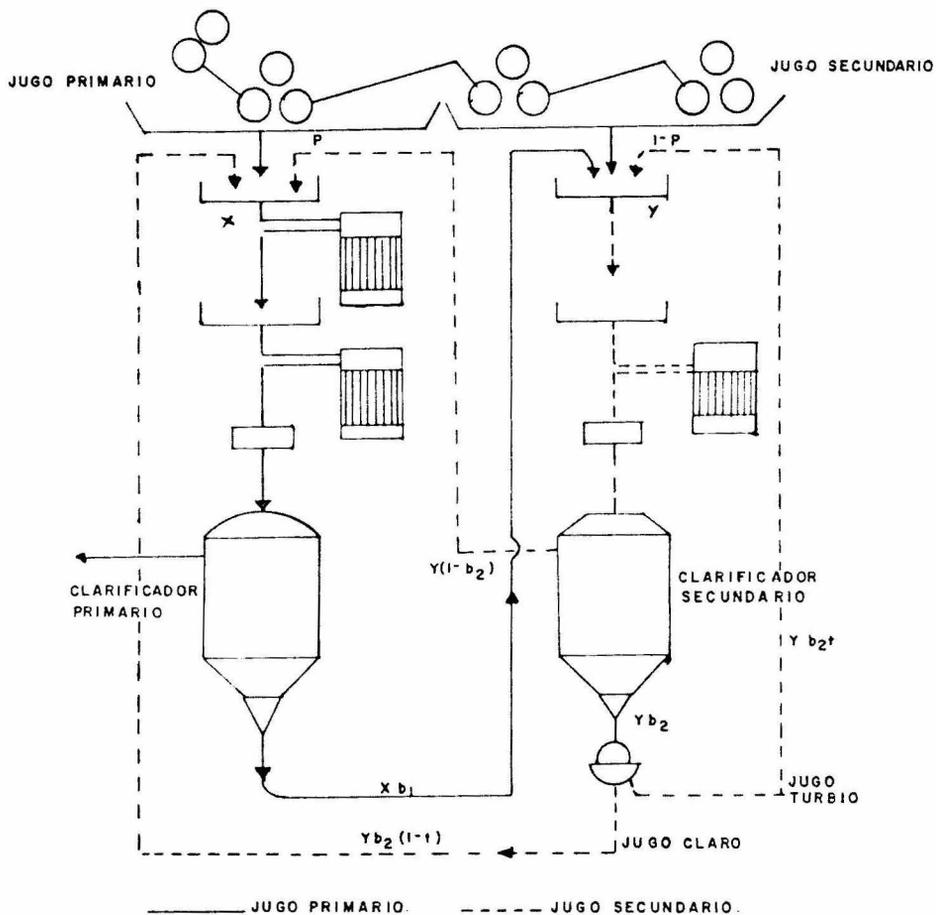


Fig. 2.5 CLARIFICACION COMPUESTA.

P.- JUGO PRIMARIO $P = 60\%$, $1-P = 40\%$

b.- CACHAZAS $b_1 = 0.10$, 10% DE CACHAZA Y 90% JUGO CLARO.

$b_2 = 0.25$ 25% DE CACHAZA Y 75% JUGO CLARO.

X.- JUGO QUE PASA AL CLARIFICADOR PRIMARIO/ UNIDAD DE JUGO MEZCLADO.

Y.- JUGO QUE PASA AL CLARIFICADOR SECUNDARIO/ UNIDAD DE JUGO MEZCLADO.

1.- PROPORCION DE JUGO TURBIO/ UNIDAD DE JUGO QUE PASA AL FILTRO.

2.13. Defecantes Auxiliares:

Los defecantes auxiliares son sustancias que se añaden al jugo, generalmente, al mismo tiempo que la cal y el tratamiento por calor, de las que se dice que en ciertos casos ayudan a conseguir mejores resultados. La notable excepción es el fosfato. Este desempeña una parte tan fundamental en la clarificación del azúcar crudo que una deficiencia de él en el jugo crudo debe ser rectificada adicionando cantidades controladas.

(a) Fosfato:

Es necesario que el precipitado se forme en el seno del jugo con objeto de que la adsorción y la oclusión se efectúen en el mayor grado posible. Si el jugo es deficiente en fosfato, cuyo estandar, establecido por varios tecnólogos de diferentes países, es de 300 mg de P_2O_5 por litro, entonces puede ser necesario añadir fosfato en una forma u otra para que de ese modo se pueda obtener un precipitado voluminoso.

Si consideramos que el azúcar es un alimento y que, por otra parte, el fosfato industrial puede contener arsénico y plomo, deben tomarse las debidas precauciones para que el tipo de fosfato usado no contenga estas sustancias en cantidades apreciables.

(b) Arcilla:

La arcilla, y en muchos casos una arcilla especial, grado técnico, llamada bentonita, ha sido usada en diferentes ocasiones durante los últimos 20 ó 30 años como defecante auxiliar en la clarificación del azúcar crudo.

(c) Aluminato:

Parece ser que fue Wayne el primero que sugirió el empleo del aluminato de sodio como coagulante auxiliar. El usó la dosis de 90 a 270 g por cada 3,800 l., haciendo alcalizar y calentar posteriormente el jugo. Los volúmenes de lodo aumentaron de 15 a 20%. Fleshman piensa que esto no es muy prometedor debido a que forma un precipitado semigel el cual se asienta muy lentamente y es difícil de filtrar. Faith y Sartorius observaron que cuando se usaba aluminato se tenían menos incrustaciones en los evaporadores, a la vez que un bajo contenido de coloides y una alta pureza de la meladura. Pensaron que esto era debido a la adsorción y neutralidad de los coloides por el flóculo de aluminio y a la reacción entre aluminatos y silicatos.

(d) Oxido de Magnesio:

Bajo el nombre de Elguanita se ha usado recientemente un óxido de magnesio especialmente preparado. En suspensión en agua y

en varias soluciones de azúcar, la Elguanita tiene un valor de pH de 11,3 a 12,4. En el tratamiento del jugo de la caña se adiciona al jugo mezclado y calentado a 70-90°C. El jugo se decanta o se filtra y el jugo clarificado se trata con fosfato hasta un pH de 5,0-7,3, se calienta a 80-90°C, se decanta y se filtra de nuevo. En escala industrial se ha utilizado en la fabricación de azúcar crudo. No se ha dado a conocer en la literatura datos reales de este agente clarificante, tales como cantidades aplicadas, composición y resultados técnicos obtenidos.

(e) Los Polielectrólitos:

Entre las mejoras resultantes de investigaciones recientes e importantes logradas en la clarificación del guarapo, ocupa uno de los primeros puestos la introducción de agentes especiales sintéticos coagulantes y floculantes llamados electrólitos. Para este fin han sido recomendados cierto número de polímeros sintéticos, solubles en agua, que llevan varios nombres comerciales; Lytron, Krilum Separan, y también suelen llevar números calificativos (por ejemplo: Separan AP-30, Lytron X-886), y en la actualidad es bastante general su uso en los ingenios. Un informe de Keller sobre pruebas en gran escala del Separan AP-30, efectuadas en Luisiana, dice que mejoró la floculación, aumentó la - - -

velocidad de decantación, aumentó el volumen de la cachaza y disminuyó el porcentaje de pol en tortas de filtro. Las pruebas efectuadas en ingenios de Hawaii tuvieron resultados diversos, que dependieron de las regiones de donde procedía la caña.

En términos generales, para aplicar el Separan en los ingenios se hace lo siguiente:

Debe disolverse el Separan AP-30 para formar una solución inicial. Esto tiene por objeto tener una mezcla fácil de manejar en los procesos siguientes y sobre todo asegurarse de que se ha disuelto el material en forma adecuada. Se ha considerado que una solución conteniendo 0,5% de Separan AP-30 es adecuada ya que es bastante estable y no necesita de recipientes muy grandes.

Para lograr un buen mezclado entre la solución inicial conteniendo el Separan y el guarapo o jugo es necesario diluir esta solución inicial hasta una concentración de alrededor de 0,05%. Si la cantidad de agua de dilución resultase muy alta y ello representase problema para los evaporadores puede usarse guarapo clarificado como agua de dilución.

Para lograr disolver el Separan en el tanque de la solución inicial es muy conveniente el empleo de un eyector. En la parte superior se coloca un embudo donde habrá de irse agregando el Separan poco a poco. Para evitar que se tape el eyector con grumos que se hayan formado por el contacto de gotas de agua con el Separan AP-30, deberá ponerse en el embudo un tamíz de tamaño adecuado. El eyector tiene una entrada lateral para el agua que disolverá el Separan.

Es posible que el uso de polielectrólitos como agentes de mejora de la floculación resulte ser el adelanto más importante logrado en la clarificación en las últimas décadas. La cantidad y variedad de los compuestos existentes sugieren que es probable que se logren mejoras adicionales.

2.14. Sulfitación: ✓

En la clarificación de los jugos de caña por medio del procedimiento de sulfitación se emplean cal y bióxido de azufre como agentes. En este procedimiento se añade al jugo crudo, mayor cantidad de cal que la equivalente a su acidez natural, de ahí la necesidad de neutralizar el exceso de cal por medio de bióxido de azufre. Están en uso cierto número de modificaciones en lo que se refiere a la forma de aplicar estas dos sustancias. - -
Estos procesos de sulfitación van desde un mejoramiento en el manejo - -

de los jugos refractarios hasta la fabricación de azúcar blanco de consumo directo, de calidad igual al azúcar de carbonatación.

La base de la fabricación de azúcar blanco directo, es la intensidad de la purificación del jugo. Al lado de esto, la blancura del azúcar producido depende en gran parte de la pureza de las masas cocidas, de las que el azúcar separa. Empezando con jugos mezclados de más o menos 86 de pureza se tendrá un proceso de sulfitación lo suficientemente ineficaz para que no se puedan conseguir meladuras que tengan las altas puridades necesarias.

Para mejorar la blancura del azúcar de sulfitación se acostumbra refundir azúcares de bajo grado. Aplicando un sistema de cuatro masas cocidas, se refunden los azúcares C y D, que tienen poca blancura, y mezclando luego los fundidos con la meladura se eleva la pureza de las dos primeras templeas. Por este medio se obtienen solamente azúcares A y B de buena calidad, los que se envasan para venderse como azúcar blanco de consumo directo. La Fig. 2.5. muestra el diagrama de flujo desde el jugo mezclado hasta el azúcar blanco de consumo directo y las mieles finales.

- 2.15. Precipitación de los no azúcares en la alcalización de los jugos de caña Sulfitados:

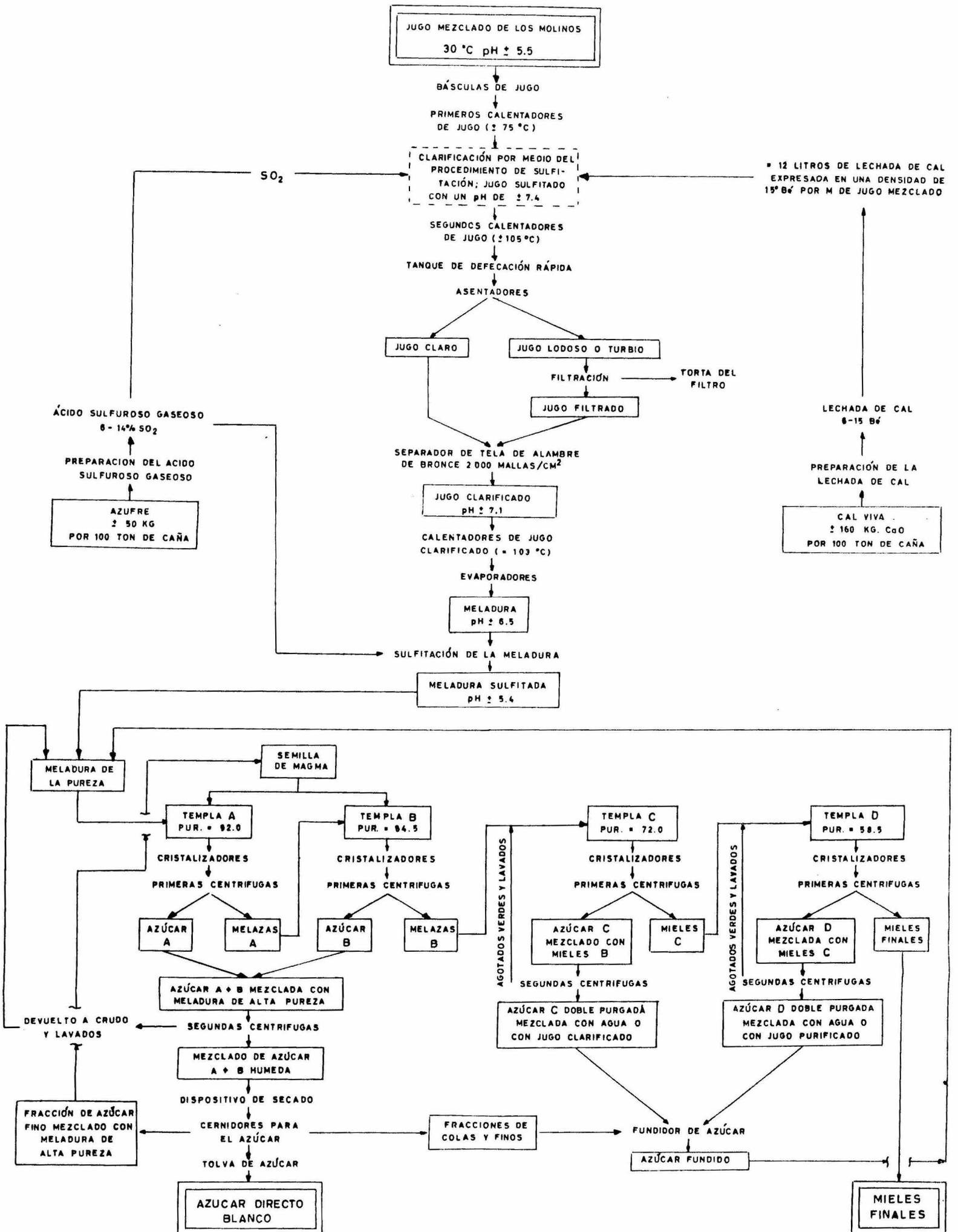


FIG. 2.5 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA FABRICACIÓN DE AZÚCAR BLANCO SEGÚN EL PROCEDIMIENTO DE SULFITACIÓN

Puede considerarse que el proceso de sulfitación se efectúa en dos etapas: Una es la neutralización de la acidéz del jugo, siendo esta una defecación; la otra es la neutralización, con el bióxido de azufre, del exceso de la cal añadida.

Si se mezclan pequeñas cantidades de cal con jugo crudo calentado, se forma un precipitado. Al principio de la adición de estas pequeñas cantidades, el precipitado consiste solamente de unos pocos coágulos voluminosos. Añadiendo gradualmente más lechada de cal, hasta alcanzar un pH de 7.3-7.8, aparecen numerosos flóculos, más pequeños y más densos, que tienden a asentarse rápidamente. Esta floculación puede ser observada fácilmente, al igual que el asentamiento, si la alcalización se efectúa en un recipiente de vidrio. Después de la clarificación se asienta el precipitado en el fondo del vaso, formando una capa. El líquido sobrenadante tiene un color que va del amarillo al rojo castaño y un aspecto opalescente, más o menos transparente. El análisis del sedimento puede indicar que clase de substancias se precipitan y en que cantidad.

La precipitación, iniciada por la adición de cal, comprende una serie de operaciones complicadas que ocurren en los sistemas coloidales y que pueden diferenciarse en reacciones químicas y en fenómenos físicos.

Las reacciones químicas de precipitación tienen lugar:

- a) Por una combinación de los iones Ca^{++} con los aniones de los ácidos orgánicos e inorgánicos, formándose sales de calcio ligeramente solubles, tales como $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, CaC_2O_4 y CaSO_4 .
- b) Por combinación de los iones OH^- con ciertos cationes, formándose hidróxidos ligeramente solubles, como $\text{Fe}(\text{OH})_3$ y $\text{Al}(\text{OH})_3$.

El complemento de estas reacciones químicas esfa influido por el pH, la concentración de los reactivos, la temperatura, y la solubilidad de los precipitados en la solución de sacarosa y no-azúcares.

La precipitación física de los coloides del jugo depende de la destrucción de la estabilidad del estado coloidal. En el caso de que el agua sea el medio de dispersión, los sistemas coloidales se diferencian en hidrofóbicos e hidrofílicos. La estabilidad de los coloides hidrofóbicos se debe a la carga eléctrica de las partículas, ya que previene que éstas se atraigan entre sí. La neutralización de las cargas eléctricas da por resultado la aglomeración de un gran número de partículas coloides minúsculas. Esto prosigue hasta que se forma un agregado (flóculo) lo suficientemente grande y pesado para separarse de la solución, ya

sea por sedimentación o por filtración. La neutralización de las cargas se efectúa por adsorción de iones con cargas opuestas. Como la presencia de iones en una solución depende en alto grado del pH, este valor también influye mucho en la floculación. Los coloides hidrofóbicos son principalmente de naturaleza inorgánica, por ejemplo: Los compuestos silíceos, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ y $\text{Al}(\text{OH})_3$. El estado de estabilidad de los coloides hidrofílicos se debe principalmente a la solvatación de las partículas (o sea a la combinación de las moléculas o iones del soluto con una definida proporción de las moléculas del solvente). La floculación se efectúa al separarse las moléculas de agua que forman una pared protectora alrededor de las partículas coloidales. Este proceso de deshidratación que ocurre en la purificación de los jugos está ayudado en gran parte por la influencia del calor. Los coloides hidrofílicos están constituidos, principalmente, por compuestos orgánicos, tales como las hemicelulosas, las sustancias nitrogenadas y el almidón.

Después de flocular, los agregados pueden retornar al estado coloidal, a esto se le llama peptización. Los coloides floculados que peptizan fácilmente son coloides reversibles. Por ejemplo, un cambio en el pH del medio puede provocar la peptización.

Otro importante fenómeno que ocurre al separar de la solución la materia coloidal es la adsorción. Adsorción es la adhesión de las moléculas

o de las partículas coloidales a la superficie de la materia sólida. Los precipitados con una gran área superficial pueden mostrar una alta capacidad de adsorción. Los precipitados de fosfato de calcio, junto con los precipitados de Si, Al y Fe, pueden desempeñar un importante papel en la purificación del jugo. Los jugos refractarios con un bajo contenido de P_2O_5 , en general se comportan normalmente durante la operación de sulfitación después de la adición de fosfatos solubles al jugo mezclado. El valor del pH de la solución tiene una influencia definida sobre la cantidad máxima de la materia absorbida.

El jugo crudo contiene diversos componentes en estado coloidal. Se necesitan diferentes condiciones para obtener una floculación óptima en cada grupo de estos coloides, de ahí la dificultad para precipitar, por medio de los métodos de purificación usuales, un porcentaje grande de los coloides del jugo. La proporción aproximada de coloides que se pueden separar del jugo de caña por defecación con cal es del 20-25%. Con la doble carbonatación se puede eliminar tanto como 65-70%. Esta alta cifra de carbonatación se atribuye parcialmente a la separación del jugo claro del sedimento a un alto pH, y parcialmente a la fuerza de adsorción debida a las grandes cantidades de precipitado de carbonato de calcio. Lo más probable es que la separación de coloides que se consigue con la técnica de sulfitación se ubique entre los valores de

defecación y carbonatación y más en el lado de la cifra de defecación.

Al lado de la influencia del calor, el factor más importante en la precipitación es el pH del jugo. En la práctica de la sulfitación el pH se regula por adición de cal y por sulfitación, o por sulfitación y adición de cal. Se conocen varios niveles de pH del jugo en los que se observa una buena floculación acompañada por un rápido asentamiento del precipitado y por un jugo bien clarificado.

2.16. Propiedades del Bióxido de Azufre:

El bióxido de azufre no sólo actúa como un agente que neutraliza el exceso de cal, también hay una influencia favorable del ácido sulfuroso sobre las materias coloreadas del jugo de la caña; además, la acción del ácido previene o aminora la formación del color en las últimas etapas de la elaboración, o sea en la evaporación y en la cristalización. Esta acción generalmente se atribuye a las propiedades reductoras del ácido sulfuroso. Una probable explicación de la acción bloqueadora del bióxido de azufre es que éste se combina con los azúcares reductores y bloquea la función carbonilo, que es esencial para la formación del caramelo y de la melanoidina. Los jugos blanqueados expuestos al aire, se oscurecen en la superficie que está en contacto con éste, debido a la oxidación.

Como otra acción favorable del bióxido de azufre sobre los jugos se menciona una disminución en la viscosidad.

2.17 Precipitación y Solubilidad del Sulfito de Calcio:

Una sal ligeramente soluble precipita si su solución está sobresaturada o en otras palabras, si el producto de sus concentraciones de iones -- -- excede el producto de solubilidad.

Supongamos que tenemos agua de cal saturada con sulfito. En esta solución las moléculas de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ están completamente disociadas en iones Ca^{++} e iones OH^- . El pH del agua saturada de cal es de, aproximadamente, 12.6 a 30°C. Cuando el SO_2 gaseoso burbujea a través del líquido, se forma el H_2SO_3 . Este ácido se disocia de acuerdo con la fig. 2.6. El alto pH inicial de la solución causa la formación de iones H^+ y de iones SO_3^- . Muy pronto el producto $[\text{Ca}^{++}] \times [\text{SO}_3^-]$ es mayor que el producto de la solubilidad de CaSO_3 , y entonces comienza la precipitación de esta sal. Mientras tanto, los iones OH^- de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ se combinan con los iones H^+ del H_2SO_3 disociado para formar moléculas de agua no disociadas, causando que disminuya el pH de la solución. Al continuar la sulfitación, -- se precipita cada vez más, el CaSO_3 sólido, lo que da por resultado una disminución gradual de la concentración del ion Ca^{++} . Eventualmente, la concentración del ion Ca^{++} es tan pequeña que el producto $[\text{Ca}^{++}] \times [\text{SO}_3^-]$

% DE DISOCIACION.

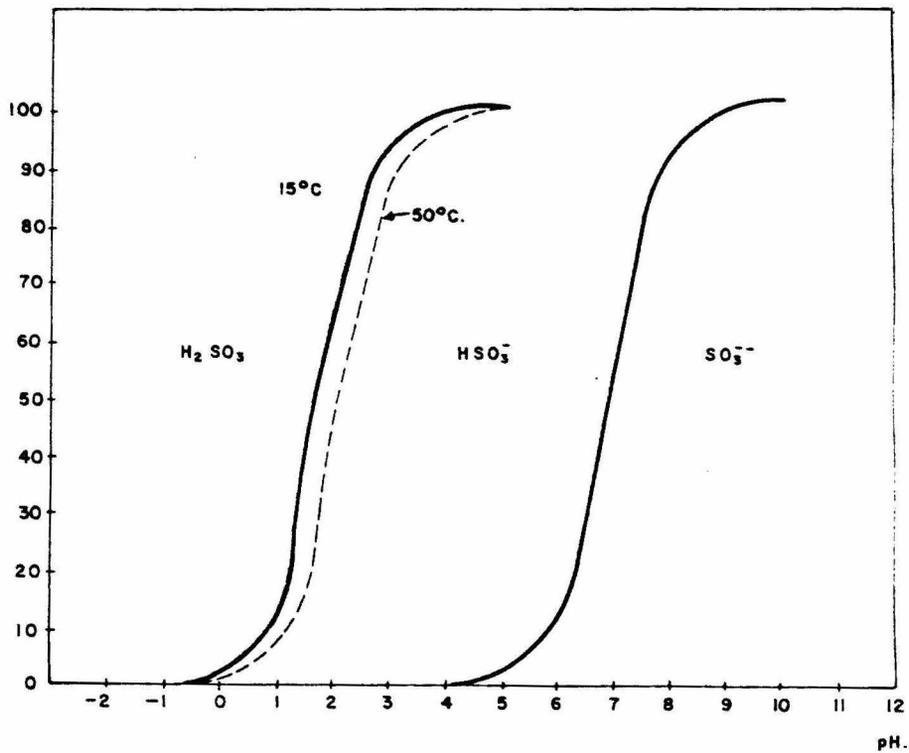
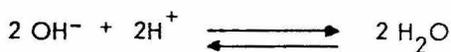
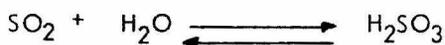
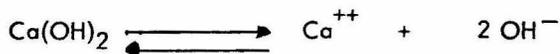
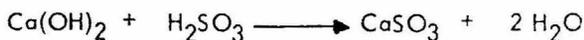


FIG. 2.6 DISOCIACION DEL ACIDO SULFUROSO

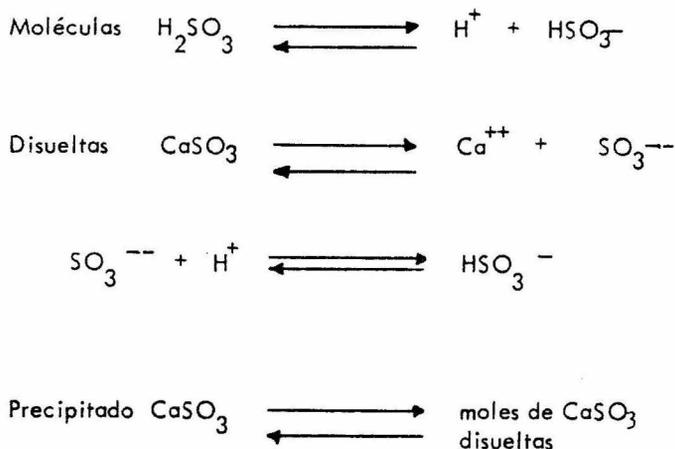
justamente iguala el producto de solubilidad del CaSO_3 . En este momento la precipitación se completa y se alcanza la condición de un mínimo de concentración de ion Ca^{++} en la solución. Las anteriores reacciones pueden representarse en la forma siguiente:



Aunque son muy pequeñas las concentraciones de los iones implicados en este equilibrio, al preciso momento en que se separan los iones del equilibrio otro número de moléculas enteras se disocian. De esta manera grandes cantidades de reactivos se transforman en un corto tiempo. El resultado de la transformación total, que se efectúa por vía del equilibrio iónico está dada por:



Si continuamos haciendo pasar SO_2 gaseoso a través de la solución, después de alcanzar esta neutralización completamente, el pH se moverá más hacia el lado ácido, y con esta disminución del pH la disociación del H_2SO_3 seguirá la curva del segundo paso (fig. 2.6) Entonces más iones HSO_3^- entrarán a la solución y la concentración iónica del SO_3^{--} disminuirá. Sin embargo, el sistema tratará de mantener una concentración del ion SO_3^{--} correspondiente al producto de solubilidad del CaSO_3 , lo que sólo puede conseguir por disolución del precipitado de CaCO_3 sólido. Este proceso puede representarse por medio de las siguientes fórmulas:

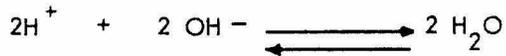
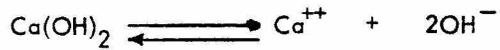


Combinando estas reacciones tendremos:



Si por otra parte, empezamos con una solución de ácido sulfuroso y neutralizamos el ácido con agua de cal, entonces el pH inicial será bajo. Supongamos que este pH tenga aproximadamente un valor de 2. En la Fig. 2.6 se ve que la solución contiene moléculas de H_2SO_3 no disociadas e iones HSO_3^- . Al añadir agua de cal se introducen en la solución iones Ca^{++} e iones OH^- . Cada ion Ca^{++} equilibra dos iones HSO_3^- , y los iones OH^- se combinan con los iones H^+ produciendo moléculas de agua e incrementando el pH. Con la elevación del pH, más y más iones HSO_3^- entran en equilibrio con iones de Ca^{++} , y este proceso sigue hasta que todos los iones H_2SO_3 se dividen en iones H^+ y HSO_3^- . En este punto se ha completado la mitad de la neutralización y la solución contiene el bisulfito de calcio soluble. La adición posterior de cal y el incremento en el pH hacen que los iones SO_3^{--} pasen al líquido. Estos iones entran en equilibrio con los iones de Ca^{++} y tan pronto como $\text{Ca}^{++} \times \text{SO}_3^{--}$ excede el producto de solubilidad, comienza la precipitación continua del CaSO_3 . Esta precipitación se completa cuando la concentración del ion SO_3^{--} se vuelve tan pequeña que ya no puede ser excedido el producto de solubilidad. Las siguientes ecuaciones ilustran las mencionadas reacciones:

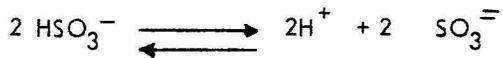
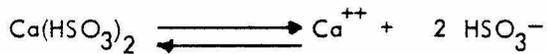




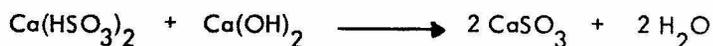
Esta es la primera parte de la neutralización, o sea la formación de sulfito. Combinando las reacciones tendremos:



La segunda parte de la neutralización comprendiendo la precipitación del CaSO_3 , puede representarse por:



La combinación de las reacciones de esta segunda parte nos da:



Finalmente, una combinación de la primera con la segunda parte de la neutralización conduce a:



Este mismo resultado total se consigue cuando se neutraliza el agua de cal con ácido sulfuroso.

Aunque el propósito es precipitar el CaSO_3 tan completamente como sea posible, siempre queda en solución una cierta concentración de ion Ca^{++} , que corresponde al valor del producto de solubilidad del CaSO_3 para las condiciones dadas.

Se ha investigado la solubilidad del CaSO_3 por muy diferentes caminos y bajo condiciones muy severas. Las dificultades encontradas en esta determinación se han debido principalmente, primero, a que el CaSO_3 permanece fácilmente en un estado de sobresaturación, y segundo, a la oxidación del sulfito a sulfato.

El pH de los jugos sulfatados más favorable, es tan alto como lo permita el grado de destrucción de azúcares reductores. A menudo prevalece la

idea de que el jugo de calor más claro, resultante de la reacción más ácida de los jugos sulfitados, es el que conduce al azúcar más blanco.

Un jugo sulfitado que tenga un pH demasiado bajo da muy poca separación de los azúcares, produce una mayor incrustación en los vasos de los evaporadores, y mayores pérdidas de azúcares en las mieles finales.

2.18. Efectos de la Purificación:

La dureza de los jugos clarificados da indicaciones tales como la manera correcta de trabajar durante la operación de sulfitación. Los valores demasiado altos o demasiado bajos en el pH de los jugos sulfitados originan durezas altas en el jugo clarificado. Los valores altos de dureza pueden ser causados por una mala circulación en el tanque de sulfitación. La que va acompañada por pHaches locales incontrolablemente altos. Si en la operación de sulfitación alcalina se tiene un pH alto durante un tiempo demasiado largo se obtiene un efecto similar, a saber: la destrucción de azúcares reductores, la formación de sales solubles y, en consecuencia, una alta dureza del jugo clarificado. Los altos valores de dureza pueden indicar de un modo sensible la destrucción de los azúcares reductores.

2.19. Hornos de Azufre:

Está compuesto de charolas en forma de gavetas. Sobre la gaveta inferior, por la que entra el aire de combustión se coloca la cal viva. El -

aire pasa enseguida a la charola superior, sobre la cual se distribuye el azufre. Algunos deflectores desvían el aire y lo obligan a pasar tanto por la cal como por el azufre; cuando estos no existen el rendimiento del horno baja a la mitad.

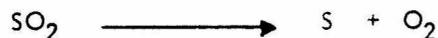
A la salida del compartimiento de azufre, el gas, que contiene ahora entre el 12 y el 16% de SO_2 , sube por la columna del aparato de sulfitación a través de un sublimador y de una chimenea de dobles paredes con circulación de agua.

El agua que enfría la chimenea pasa al horno, al que enfría a su vez.

Estas precauciones tienen como fin:

- a) Proteger el metal de los hornos que se corroe rápidamente si se deja que llegue al rojo.
- b) Condensar la fracción de azufre que se sublima. En el horno, en efecto, la mayor parte del azufre se quema en la forma de SO_2 , pero siempre hay una parte que se sublima y que se va en forma de vapor, sobre todo si no entra la suficiente cantidad de aire.
- c) Enfríar el gas sulfuroso antes que entre en contacto con el jugo.

Temperatura: A 1200°C el anhídrido sulfuroso se descompone en:



y el oxígeno naciente reacciona rápidamente sobre el anhídrido para producir anhídrido sulfúrico:



Esta reacción se hace notar a partir de los 900° , aproximadamente. Es una razón más de importancia, por la cual no debe dejarse que ninguna parte del horno llegue al rojo, o que la combustión sea más fuerte en algunos puntos.

Para deshacerse de las cantidades de ácido sulfúrico que pudieran haberse formado, se lava el gas haciéndolo barbotear.

La temperatura en el horno es de 320 a 350° . A la salida de 250 a 300° . Si en este lugar se pasa de 300° se produce la sublimación. Después de enfriarse, el gas debe descender a una temperatura entre 100 y 200° .

Capacidad:

Para un funcionamiento óptimo, la superficie de las charolas del horno debe corresponder a 25 kg. de azúfre por m^2 de charola y por hora.

Si se utiliza un compresor de aire deben calcularse 6 000 l., de aire -
(supuesto a 0° y a 760 mm de Hg de presión) por kg. de azúfre. Esta cantidad corresponde a un gas con apróximadamente el 12% de SO₂.

Consumo de Cal:

En la práctica se calculan 300 g de CaO por cada m³ de aire que entra al horno. Esta cantidad corresponde a 1750 g de CaO por kg. de azufre. El consumo de cal es entonces, aproximadamente, el doble del de azufre.

Consumo de Azufre:

La cantidad de azufre que se consume depende del procedimiento de purificación que se adopte, de la acidez final que se busque y de la cantidad de cal que se agregue a la defecación. En general, cuando se sulfita el jugo, se consumen de 0,25 a 0,50 partes de azufre por 1000 de caña, es decir: - 250 a 500 g/TCH. Si el jugo y la meladura se sulfitan, el consumo es de alrededor de un kilo de azufre por tonelada de caña.

2.20. Clasificación de los métodos de sulfitación: ✓

La operación de sulfitación comprende manipulaciones con el jugo mezclado y lechada de cal o sacarato, SO₂ gaseoso, temperatura y tiempo.

Dentro de ciertos límites cada uno de estos factores es variable, por lo tanto, se pueden formar numerosas combinaciones diferentes. Se ha probado un pequeño número de estas posibles combinaciones de la

operación de sulfitación, considerándose óptimos los resultados de unas pocas, mismas que han evolucionado hasta constituir métodos prácticos aplicables.

Una operación de sulfitación puede ser iniciada con una presulfitación, a un pH bajo, del jugo mezclado, seguida con una neutralización con lechada de cal. Esta es una especie de sulfitación ácida. Se clasifica como sulfitación neutra aquella en la que durante todo el proceso se mantiene el pH cerca de la neutralidad. Si temporalmente se admite una reacción fuertemente alcalina, entonces se tiene una sulfitación alcalina.

Si la alcalización y la sulfitación se efectúan en el mismo vaso, podemos llamar a esto una operación simple. En un proceso compuesto el tratamiento se divide en dos o más subtratamientos, que se efectúan en aparatos separados, por ejemplo, un método con prealcalización o una doble sulfitación.

Aparte de esta clasificación, podemos caracterizar la ejecución de la operación en trabajo discontinuo, o sea por cargas y en trabajo continuo. En la operación de sulfitación la moderna tendencia es hacia la aplicación de procesos continuos completamente automáticos, que, comparándolos con el trabajo por cargas, requieren menos asistencia y menos

atención. Por otra parte dan una mejor filtrabilidad de los jugos turbios. Sin embargo, un trabajo continuo necesita que llegue al departamento de sulfitación un flujo razonablemente continuo de jugo mezclado. Por eso las fábricas que no pueden cumplir con este requisito prefieren a veces el procedimiento discontinuo.

Cada método de sulfitación comprende, como partes separadas, la adición y distribución de la cal y del SO_2 gaseoso, y la mezcla, en el jugo, de los reactivos dosificados.

a) Sulfitación por cargas:

La sulfitación por carga comprende tres acciones sucesivas: el llenado del tanque de sulfitación con el jugo mezclado, la sulfitación del jugo, y la descarga del jugo sulfitado. Con objeto de ejecutar en una secuencia regular estas acciones separadas, se necesitan por lo menos tres tanques: el tanque que se está llenando, un segundo tanque donde se efectúa la sulfitación, y un tercero a donde llega la descarga. Generalmente se instalan 4 tanques, y a veces más, de esta manera se tiene un espacio regularizador del abastecimiento irregular del jugo y un tiempo de sulfitación prolongado temporalmente, debido esto, por ejemplo, a la carga intermitente de los quemadores de azufre. Para un tratamiento regular de los jugos se necesita que cada una de las acciones mencionadas anteriormente dure el mismo tiempo. Esta duración puede ser

calculada a partir del volumen del jugo del tanque y del número de litros del jugo mezclado que se alimentan por segundo.

Los accesorios de los tanques de sulfitación son las tuberías y válvulas para el llenado y descarga del jugo Fig. 2.7, el dispositivo de abastecimiento y dosificación de la lechada de cal o del sacarato, y el dispositivo para el abastecimiento de SO_2 y su distribución dentro del jugo. Un muestreador adecuado para efectuar el control de pH es parte importante del tanque de sulfitación, dándose por sentado que las reacciones que dan las muestras son representativas, en promedio de las reacciones del contenido entero del tanque. Mientras mejores sean la circulación y el mezclado, tanto más se acerca a la verdad esta suposición. De preferencia el control del pH se efectúa por medio de un pHmetro provisto de un electrodo de vidrio.

El trabajo por cargas permite que por varios caminos se pueda hacer el ajuste del pH del jugo con respecto al tiempo, de tal manera, a discreción, puede ejecutarse una operación de sulfitación ácida, alcalina o neutra. Cada una de estas modificaciones comienza con la apertura de la válvula del SO_2 gaseoso, que inicia la circulación del jugo, y termina al cerrar dicha válvula en el momento debido. Fig. 2.8.

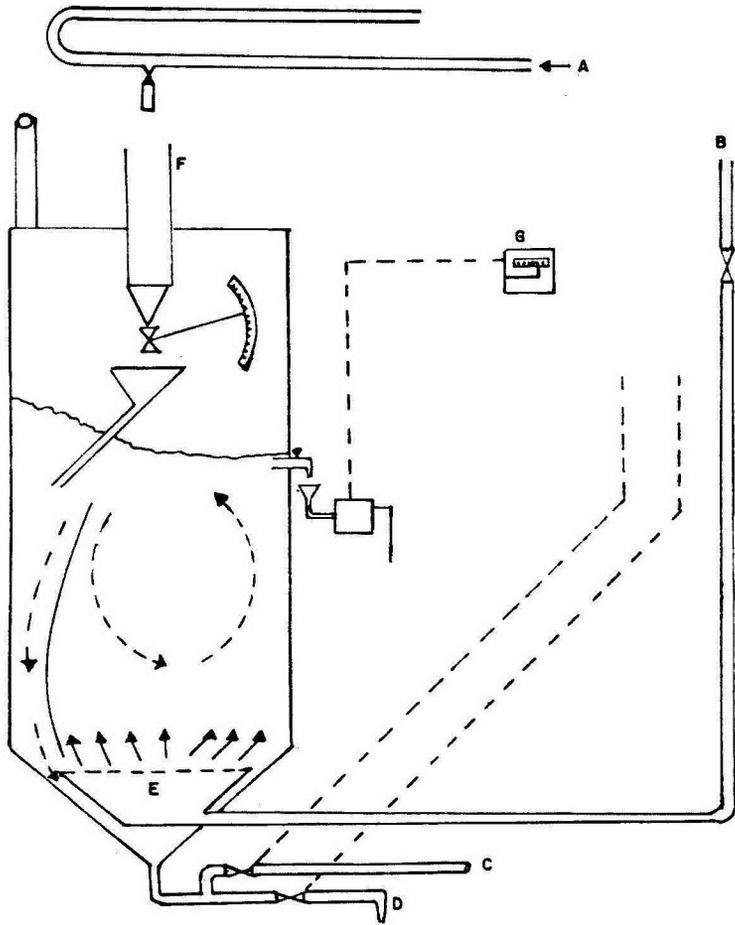


FIG. 2.7 TANQUE CILINDRICO PARA SULFITACION POR CARGAS.
 A- LECHADA DE CAL. B-ALIMENTACION DE SO₂
 C- ALIMENTACION DE JUGO CRUDO. D-DESCARGA DEL JUGO. SULFITADO
 E.-DISTRIBUIDOR DEL SO₂ F.-TANQUE MEDIDOR DE LECHADA DE CAL.
 G.-MEDIDOR DE PH.

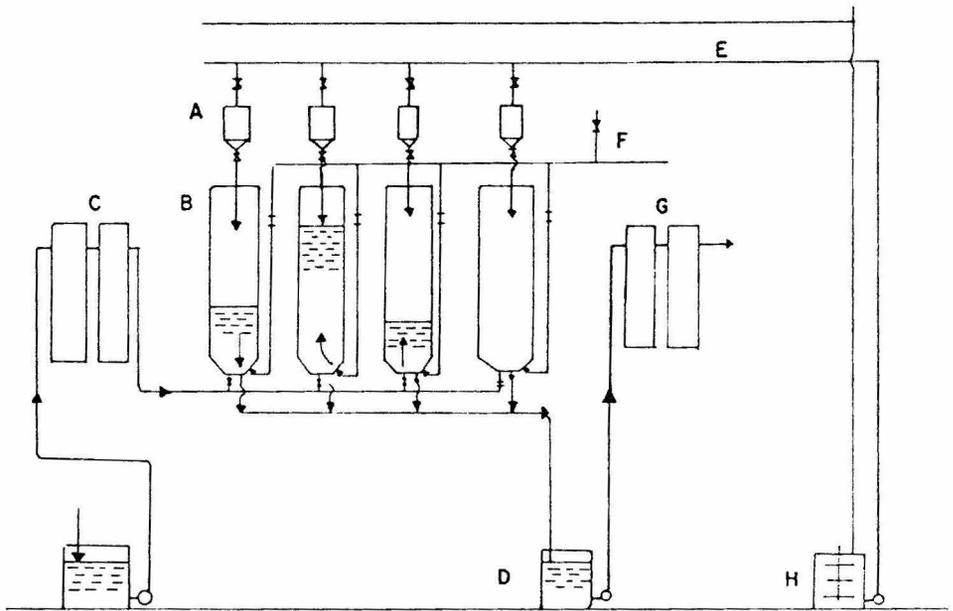


Fig.2.8 DEPARTAMENTO DE SULFITACION DISCONTINUA.

- A - TANQUES MEDIDORES DE LA LECHADA DE CAL.
- B - TANQUES DE SULFITACION.
- C - CALENTADORES DEL PRIMER JUGO 75°C.
- D - JUGO SULFITADO
- E - LECHADA DE CAL.
- F - ABASTECIMIENTO DE SO₂
- G - CALENTADORES DEL SEGUNDO JUGO. 105°C.
- H - TANQUE DE LECHADA.

En la operación de sulfitación **ácida** se presulfita el jugo a un pH de 3.8 aproximadamente, y entonces, se inicia la adición de cal. Trabajando con toda la capacidad de abastecimiento de cal, se llega a un pH máximo de 8.5, aproximadamente. Se prosigue la sulfitación hasta que el jugo llegue a tener el pH final adecuado. Entonces se cierra la válvula del gas, y al mismo tiempo, se admite SO_2 gaseoso en el siguiente tanque que va a ser tratado.

En la sulfitación alcalina se admite una fuerte reacción alcalina por un corto período de tiempo. La adición de cal comienza inmediatamente después de la apertura de la válvula del SO_2 . La adición se regula en tal forma que el pH del jugo se eleva a 10.5-11 en el momento en que el tanque medidor queda vacío. En el instante en que se alcance el pH final correcto se detiene la corriente SO_2 gaseoso.

En la sulfitación neutra, al igual que en la sulfitación alcalina, se empieza a añadir cal tan pronto como el gas ha iniciado la circulación del jugo. Pero, en este caso, el flujo de cal se regula hasta que el jugo de una reacción ligeramente alcalina, con un pH de 8.5 aproximadamente (máximo). Después de haber añadido toda la cal, se continúa la sulfitación hasta llegar al pH final.

b) Sulfitación continua:

El empeño de simplificar la elaboración, en lo que respecta tanto a las operaciones como a las instalaciones, ha hecho que la preferencia se dirija a la construcción de plantas de sulfitación continua.

Una de las más antiguas instalaciones es la sulfitación Quarez, cuyo principio se muestra en la fig. 2.9.

En ciertos casos se usa todavía este aparato para la presulfitación de los jugos fríos mezclados. A esta operación sigue la neutralización, por medio de la lechada de cal, del jugo acidificado.

Otra instalación para la sulfitación continua aplicada en algunos países es la torre de azufre. Por la parte superior de una alta cámara, que está en posición vertical, entra el jugo mezclado. Aquí el flujo se divide produciéndose un rocío que, en su camino hacia el fondo del tanque, es intermitentemente interceptado por obstáculos. De esta manera se ofrece una gran superficie para la absorción de los gases del bióxido de azufre, los que viajan en contracorriente desde el fondo de la torre y salen de este aparato en un flujo continuo. La alcalización del jugo acidificado se efectúa en la siguiente estación.

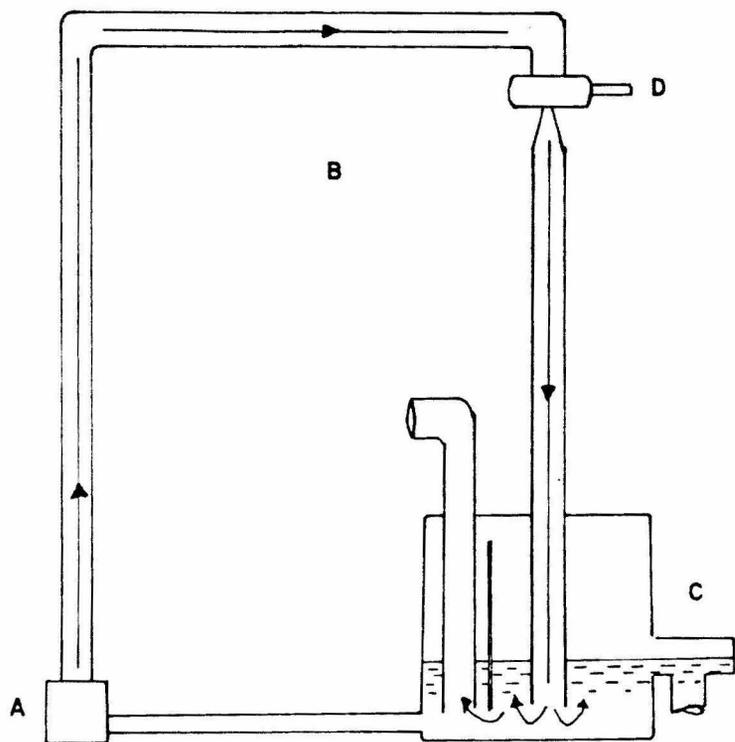


Fig 2,9 PRINCIPIO DE LA SULFITACION CONTINUA SISTEMA QUAREZ.

A - BOMBA DE CIRCULACION.

B - ENTRADA DE JUGO MEZCLADO

C - CAJA DE MUESTREO Y SALIDA DEL SOBRANTE.

D - EYECTOR ASPIRACION DEL SO_2

En una sulfitación continua, Fig. 2.10, en la que se efectúe una buena operación de mezclado y que tenga un alto serpentín de circulación, una reacción alcalina solo puede existir durante un corto período de tiempo. Sin embargo, la acción de un alto pH sobre el jugo, por un período de tiempo largo, puede considerarse favorable para la precipitación de los no azúcares y para la filtrabilidad de los jugos turbios. Esta es la razón por la cual en la sulfitación continua se hace uso de un recipiente de precalización, en el que pueda mantenerse un alto pH durante medio a un minuto, aproximadamente. Debido al corto intervalo de tiempo, es pequeño el contenido de jugo del precalizador.

Fig. 2.10. Sulfitación continua con bomba de circulación. ^v

- A.- Ramificaciones de la tubería principal de SO_2 .
- B.- Salida del jugo sulfitado.
- C.- Tubo de muestreo del jugo precalizado.
- D.- Muestreo del jugo sulfitado.
- E.- Derrame.
- F.- Salida de vapores.
- G.- Jugo mezclado.
- H.- Dispositivo para alcalización automática.
- I.- Bomba de circulación.
- J.- Tubo de muestreo del jugo precalizado.

K. - Recipiente de precalización.

L. - Lechada de cal.

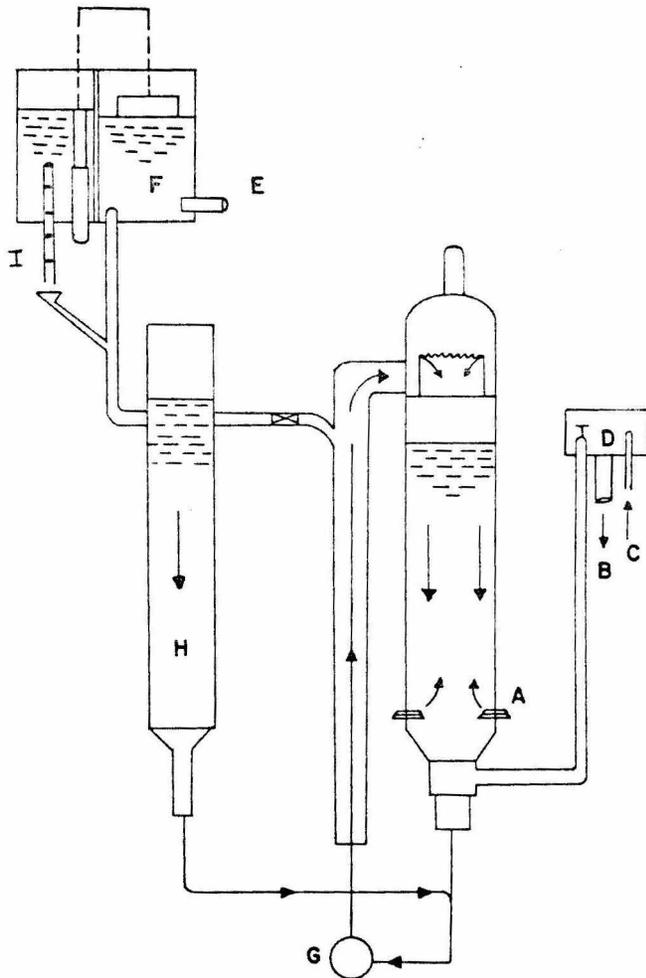


Fig. 210. SULFITACION CONTINUA CON BOMBA DE CIRCULACION.

- A - RAMIFICACIONES DE LA TUBERIA PRINCIPAL DE SO_2
- B - SALIDA DEL JUGO SULFITADO. C - MUESTREO DEL JUGO PREALCALIZADO.
- MUESTREO DEL JUGO SULFITADO D - JUGO MEZCLADO.
- F - DISPOSITIVO PARA ALCALIZACION AUTOMATICA.
- G - BOMBA DE CIRCULACION
- H - RECIPIENTE DE PREALCALIZACION
- I - LECHADA DE CAL.

c) Doble sulfitación:

El método de doble sulfitación es el siguiente:

"El proceso comienza con un tratamiento del jugo mezclado por una sulfitación simple. Entonces, el jugo sulfitado se alcaliza gradualmente hasta un pH de 10,5, efectuándose esta operación en un lapso de 10 minutos. La separación del sedimento formado y del jugo claro se lleva a cabo entonces por filtración del total del jugo alcalino, a 65°C aproximadamente. Sigue ahora, primero la sulfitación del filtrado alcalino hasta una reacción neutra, y después una segunda filtración. El segundo filtrado viene a ser lo que se denomina jugo clarificado".

Haciendo una comparación con la sulfitación simple, con el método doble se elimina mayor cantidad de no azúcares; quedan afectados el SiO_2 , el MgO y las sustancias coloreadas. Estos materiales son casi insolubles en el medio altamente alcalino de la primera filtración; pero la mayor parte se disuelve, debido a la subsecuente neutralización, en el proceso de sulfitación alcalina simple.

2.21. Procedimiento de Carbonatación:

Puede operarse de diversas maneras; las más importantes son:

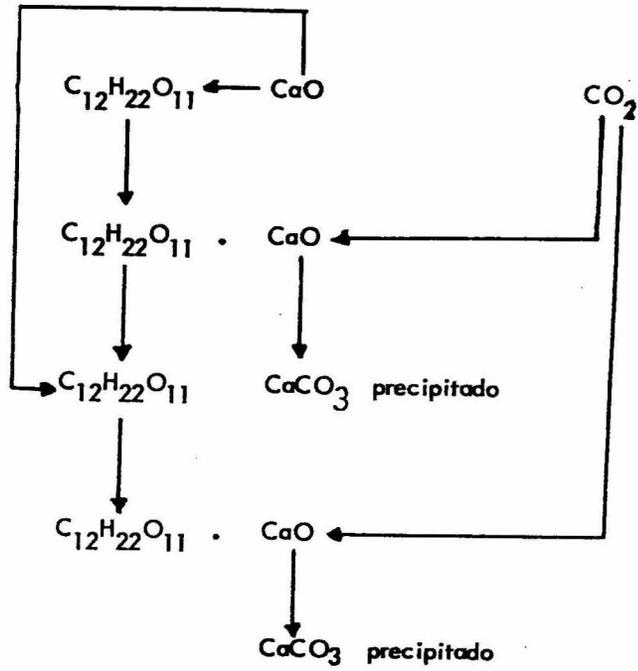
a) La simple carbonatación.

b) La doble carbonatación.

c) La carbonatación Haan.

En la industria del azúcar de caña se han aplicado tanto el simple como el doble procedimiento de carbonatación. La característica del primero es que toda la lechada de cal es añadida al jugo, en un tanque de carbonatación, carbonatándolo hasta la alcalinidad final deseada, precipitando toda la cal removible y filtrando de una sola vez. La doble carbonatación, consiste de una primera carbonatación, que causa la precipitación de la mayor parte de la cal, seguida de una filtración; como el jugo filtrado de la primera carbonatación aún contiene cierta cantidad de cal removible, se sujeta a una segunda carbonatación bajo las condiciones bien controladas, en particular en lo que respecta a la titulación de la alcalinidad o la medición del pH; sigue a esto una segunda filtración con objeto de que quede un contenido mínimo de cal en el jugo resultante de la segunda carbonatación.

En su más simple forma, el proceso de carbonatación puede presentarse como se ve enseguida:



a) Carbonatación Simple: ✓

Originalmente la técnica de la carbonatación simple fue la siguiente: Un tanque de carbonatación, o carbonatador, se llenaba con una cantidad medida de jugo mixto frío; desde un tanque medidor se añadía la lechada de cal, de aproximadamente 20°Bé, consiguiéndose en el jugo una alcalinidad extremadamente alta. Después de la adición de la cal el jugo se carbonataba con gases provenientes del horno de cal que contenían de 30 a 38% de CO₂. Se continuaba la carbonatación hasta que el jugo de los carbonatadores indicaba una reacción neutra a la fenolftaleína.

Los tanques de carbonatación debían tener dimensiones tales que su volumen total fuera, al menos, el doble del volumen neto del jugo más la lechada de cal. Esto era especialmente necesario con esta antigua técnica de carbonatación, pues había una fuerte producción de espuma al principio del proceso, de ahí que al primer período se le haya llamado período de espumación. Provenía esta del incremento en la viscosidad debido a compuestos complejos de sacarato de calcio, influyendo además la composición de los no azúcares. Esta técnica sufrió un cambio fundamental cuando se vió que se obtenían resultados mucho mejores carbonatando a altas temperaturas. Entonces se encontró que la formación de espuma en el procedimiento de carbonatación ocurría a alcalinidades

altas. El incremento de la viscosidad a esta alcalinidad puede explicarse por la formación de compuestos hidratados de sacarosa-cal-carbonato de calcio. En la etapa secundaria del procedimiento de carbonatación este complejo estaría disociado en sacarosa y CaCO_3 , lo que podría demostrarse por la formación de un flóculo fácilmente separable y por la disminución en la viscosidad. Esta disociación del complejo de sacarosa-cal-carbonato se efectúa a una alcalinidad baja. El punto final del proceso de carbonatación es neutro o ligeramente alcalino a la fenolftaleína.

En la Fig. 2.11 se muestra un tanque para la carbonatación simple discontinua; y en la Fig. 2.12 se muestra una instalación para una carbonatación simple continua.

b) Doble Carbonatación:

El mejor método de carbonatación como proceso discontinuo es el siguiente:

El tanque de carbonatación se llena con jugo que ha sido calentado a 55°C en los calentadores de jugo. Si el tanque de carbonatación no tiene agitadores mecánicos se inyecta una pequeña cantidad de ácido carbónico proveniente del horno de cal, añadiendo además tal cantidad de cal que se consiga una alcalinidad correspondiente a un pH de 10-11. Esta alta alcalinidad debe mantenerse

durante un período de 3 a 4 min., con objeto de obtener la formación de un flóculo de fósforo de calcio y una transformación de las pectinas a pectinatos de calcio. Después de este período puede abrirse toda la válvula que da entrada al gas carbónico, añadiéndose lechada de cal con objeto de mantener un pH de 10 a 10.5. La válvula se cierra después de la adición de la cantidad requerida de lechada de cal, pudiéndose filtrar el jugo inmediatamente. La mejor filtración se obtiene manteniendo el jugo a una alcalinidad suficientemente alta durante la operación de filtración. Por este medio es posible que con el tipo común de tanque de carbonatación se tenga una excelente adsorción del CO_2 añadido.

Desde un punto de vista tecnológico, especialmente en una carbonatación discontinua, es conveniente aplicar el procedimiento de doble carbonatación. El punto exacto de la carbonatación en un procedimiento simple es a veces algo difícil de determinar, y por esta razón es preferible efectuar la segunda carbonatación en forma de una operación separada. Se ha encontrado que utilizando válvulas especiales para el gas y un tanque de carbonatación - - bien diseñado, y empleando pH-metros registradores que permiten una precisa determinación del punto final de la segunda carbonatación a un nivel de pH entre 8.2 y 8.7, se puede obtener un jugo clarificado con un contenido extremadamente bajo de CaO .

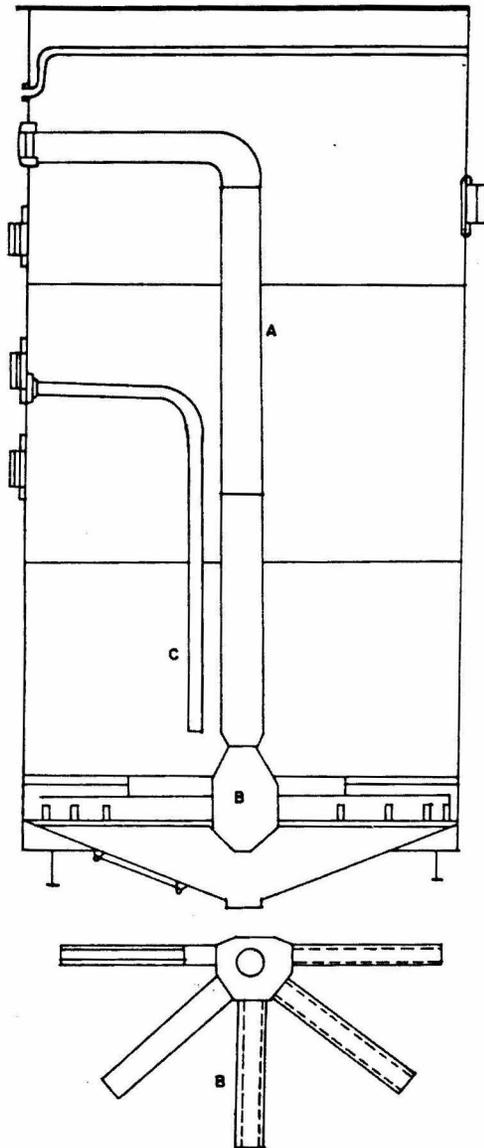


Fig. 2.11 TANQUE PARA UNA PRIMERA CARBONATACION DISCONTINUA.

A.-TUBO CENTRAL PARA LA ENTRADA DEL GAS CO_2 .

B.-DISTRIBUIDOR DEL GAS CO_2 CON 8 RAMAS DE DISTRIBUCION PERFORADAS.

C.-TUBO INTERIOR PARA LA LECHADA DE CAL.

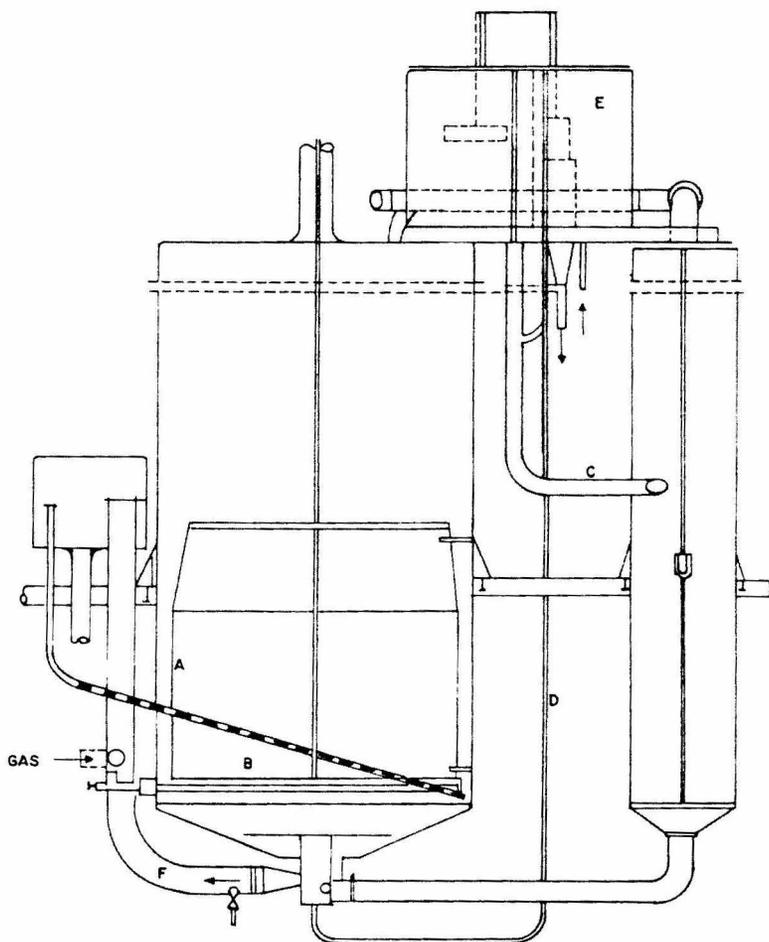


Fig. 212 PRIMERA CARBONATACION CONTINUA.

- A.- CILINDRO CONCENTRICO PARA REGULAR LA CIRCULACION DE LOS JUGOS.
- B.- TUBOS PERFORADOS PARA LA ENTRADA Y DISTRIBUCION DEL GAS CARBONICO.
- C.- ENTRADA DEL JUGO MEZCLADO, PREALCALIZADO Y CALENTADO A 55° C.
- D.- TUBO DE ENTRADA DE LA LECHADA DE CAL.
- E.- EQUIPO PROPORCIONADOR DEL JUGO MEZCLADO Y DE LA LECHADA DE CAL.
- F.- TUBO DE DESCARGA PARA EL JUGO CARBONATADO CON SISTEMA DE DERRAME.

Efecto de la Segunda Carbonatación:

El principal objetivo de la segunda carbonatación es precisar el exceso de cal por medio del CO_2 , y obtener un contenido mínimo de CaC en el jugo filtrado obtenido en esta carbonatación. Es esencial que en el transcurso de la segunda carbonatación no ocurra una redisolución de los no azúcares precipitados. Esta redisolución puede resultar de cambios en el pH del jugo muestreado en el segundo tanque de carbonatación y en el jugo claro obtenido después de haber separado en los filtros los no azúcares precipitados. Estos cambios en el pH pueden originarse por acción microbiana o por efectos posteriores del CO_2 que está disuelto en el jugo caliente.

El principal factor para prevenir el desarrollo de los microorganismos que causan acidificación es la regulación de la temperatura del jugo. Por esta razón es recomendable instalar un termómetro registrador en el segundo paso de la carbonatación. Este termómetro debe colocarse en la salida principal de los filtros a presión, pues en este lugar se registran más bajas temperaturas del jugo.

Una dificultad práctica que se presenta en la segunda carbonatación es que a veces es difícil obtener filtrados completamente

claros en los filtros a presión. El precipitado formado en la segunda carbonatación está en un estado de división completamente fina, y así, al iniciarse el ciclo de filtración, cuando todavía no se ha formado ninguna torta, una parte del precipitado logra pasar a través de la tela. Fig. 2.13.

c) Carbonatación de Haan:

La más grande contribución de la tecnología del procedimiento de carbonatación aplicada al jugo de caña fue de J.S. De Haan - - (1914-1920), quién especificó las condiciones de operación aplicables a la primera y segunda carbonataciones (particularmente a la primera), al limitar el nivel de la alcalinidad durante el proceso de saturación y al especificar la temperatura óptima para una máxima separación de no azúcares, una alta filtrabilidad y una mínima destrucción de azúcares reductores. Las especificaciones de De Haan son mantener a 55°C la temperatura del jugo mezclado - que se someterá a alcalinización y saturación; y la alcalinidad - determinada por titulación, con fenolftaleína como indicador.

La formación de compuestos complejos de alta viscosidad ocurre a más altas alcalinidades. Si durante todo el proceso de carbonatación se mantiene la alcalinidad a un nivel bajo se encuentra una diferencia entre la estructura del precipitado así obtenido y los -

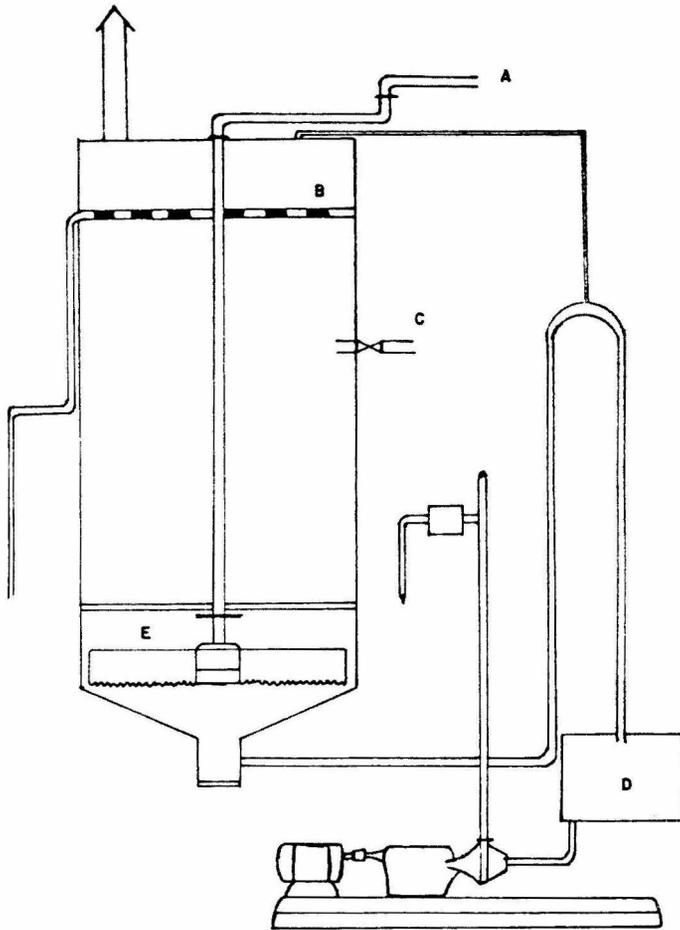


Fig 213 DISPOSICION DE SEGUNDA CARBONATACION CONTINUA.

A - LINEA DE CO₂.

B - TUBO DE VAPOR PERFORADO PARA PREVENIR LA FORMACION DE ESPUMA.

C - ENTRADA DEL JUGO DE LA PRIMERA CARBONATACION.

D - TANQUE PARA JUGO CARBONATADO

E - DISTRIBUIDOR DE GAS.

precipitados formados a altas alcalinidades. Un precipitado de carbonatación formado a un nivel bajo de alcalinidad es de color oscuro y no tiene la estructura del flóculo de fácil asentamiento formado a altas alcalinidades. Se ha tratado de llevar a efecto una carbonatación siguiendo las especificaciones tecnológicas y operaciones de De Haan y con la ayuda de circuladores mecánicos y dispositivos proporcionadores de cal, que hacen posible un ajuste preciso de la cantidad de cal que se añade por unidad de tiempo un predeterminado nivel de alcalinidad. Sin embargo no han tenido éxito estos intentos para establecer un procedimiento continuo de carbonatación.

Un estudio más atento ha mostrado que en la carbonatación del jugo es necesario dos procesos claramente diferentes. El primero es precalizar hasta obtener una alcalinidad de aproximadamente 10.5 de pH. En esta operación se obtiene un flóculo amorfo, formado por los no azúcares presentes en el jugo mezclado, que está constituido por fosfatos de calcio, sesquióxidos y ácido silícico, formándose además pectinatos de calcio. El tiempo de formación del flóculo es más bien corto; aproximadamente de 2 a 4 min., a 55°C.

En el segundo proceso, que es realmente el verdadero proceso de

carbonatación, la cal añadida se transforma en precipitado cristalino de CaCO_3 que rodea y se adhiere al flóculo formado en la prealcalización. La formación del flóculo amorfo y el recubrimiento de este flóculo por los cristales de carbonato de calcio son los factores que determinan la filtrabilidad.

Al tratar de combinar estas dos etapas en un solo paso, se encontró que la formación del flóculo es perturbada por el proceso de carbonatación, y el resultado es una baja velocidad de filtración en los primeros filtros a presión.

2.22. Carbonatación del Jugo Medio:

La carbonatación de un jugo parcialmente concentrado, a un brix intermedio entre el brix del jugo crudo y el de la meladura, se ha denominado carbonatación del jugo medio.

Tratamiento anterior a la carbonatación:

Antes de alcalizarlo, el jugo crudo se calienta a $100-102^\circ\text{C}$. En algunas fábricas se asegura que la alcalización a 70°C produciría un color menos subido y una mejor claridad en el jugo, pero el envío a los evaporadores de un jugo parcialmente calentado requeriría más superficie de calefacción y mayor consumo de vapor, de ahí que en las fábricas donde no se cuenta con una amplia capacidad de evaporación se tienen dificultades

tades para llegar a la concentración necesaria del jugo medio. El jugo se alcaliza hasta un pH de 7.0-7.2, ya sea en un procedimiento discontinuo o continuo, utilizando aparatos automáticos para controlar el pH. Durante unos minutos se deja reposar el jugo alcalizado antes de enviarlo a los evaporadores. Con una buena calidad de jugo, el jugo medio deberá tener 40°brix (caliente) cuando sale del evaporador, con objeto de que se obtenga la máxima eficiencia en la purificación.

Primera Carbonatación para el Jugo Medio:

La operación de la primera carbonatación es parte muy importante del procedimiento entero de carbonatación, ya que es la llave para una eficiente purificación y una buena filtración. Es aún más vital para el procedimiento del jugo medio; en realidad es tan importante que el éxito del proceso depende casi enteramente de ella. Una pobre purificación y una baja filtrabilidad en un jugo que tiene casi tres veces la concentración del jugo de la carbonatación ordinaria, no sólo implica mayores pérdidas en la torta de los filtros, más agua de lavado, más altas pérdidas indeterminadas, mayores necesidades de área filtrante, de tela para los filtros y de trabajo, sino que puede ahogar tanto el departamento de filtración haciendo que sea impracticable el procedimiento mencionado a pesar de todas las ventajas enumeradas.

Para obtener un buen jugo filtrado de la primera carbonatación debemos

tener:

- (1) Precipitación de granos de tamaño grande y
- (2) Incompresibilidad o bajo grado de hidratación del grano.

Las condiciones necesarias para la producción de granos grandes son:

- (1) Un grado muy bajo de sobresaturación del calcio y de las sustancias precipitadas por la cal durante la alcalización y la carbonatación, y
- (2) Utilización de semilla constituida por partículas preformadas.

Las condiciones que permiten la obtención de precipitados no pegajosos y secos son:

- (1) Un incremento muy lento de la alcalinidad del jugo lo que permita un intercambio de potasio, sodio, y aún de hidrógeno, con el ion Ca^{++} en las micelas pécticas y proteínicas;
- (2) Precipitación en presencia de un esqueleto mineral; y finalmente la coprecipitación, durante la carbonatación, de cal libre o de los sucro-carbonatos.

Un procedimiento en el que están comprendidos tantos factores y tan complicadas reacciones puede que no sea muy difícil de entender en teoría, pero en la práctica no es tan simple lograr un control preciso de las operaciones.

2.23. Hornos de Cal:

El ácido carbónico necesario para la carbonatación se prepara al mismo tiempo que la cal en un horno anexo a la fábrica.

Siendo la cal un material sólido relativamente fácil de conservar, generalmente las fábricas lo adquieren en el mercado. Por el contrario, siendo el ácido carbónico un gas, solo se puede procurar fabricándolo en el lugar, y como para obtenerlo se parte de la piedra de cal o de calizas, que están formadas por carbonato de cal más o menos puro, el ácido se obtiene al mismo tiempo que la cal:



2.24. Combustible:

Para provocar esta disociación son necesarias aproximadamente 700 - kilocalorías por kg. de piedra calcárea. Este calor se obtiene quemando coke en el horno o cualquier otro combustible. Para asegurar la distribución del calor en la masa calcárea, el horno se prepara de la siguiente manera: Una capa de coke, una capa de piedra de cal, una capa de coke, una capa de piedra de cal, y así sucesivamente.

Piedra de Cal:

La piedra de cal se obtiene en vetas calcáreas o en bancos de caliza.

Las piedras calcáreas contienen del 85 al 98% de CaCO_3 .

2.25. Carbonatadores:

La carbonatación se hace generalmente, de manera discontinua, en una batería de tanques de carbonatación. Estos tanques son verticales de sección rectangular o circular. Contienen jugo hasta 2 ó 3 m. de su altura, siendo el total de esta de 4 a 7 m. La diferencia representa el espacio necesario para contener la espuma, que es abundante en la primera carbonatación.

Los tanques de segunda carbonatación son idénticos, pero la parte vacía es menos alta porque las espumas no son tan abundantes.

Los carbonatadores rectangulares ocupan menos espacio que los cilíndricos pero deben estar provistos de tirantes que eviten el abombamiento de las paredes por la presión del jugo. Además, el jugo que se encuentra en los ángulos se carbonata menos.

Los tanques están provistos algunas veces de una tapadera a la que atraviesa una chimenea que sirve para evacuar el gas después de su recorrido a través del jugo del tanque. Frecuentemente se dejan abiertas por la parte superior. Tienen un serpentín calentado con vapor, un tubo para la admisión de CO_2 que termina en un distribuidor en estrella con los bordes aserrados, una entrada para jugo, un tubo de derrame y generalmente un dispositivo para romper la espuma, hecho de un tubo

perforado que proyecta pequeños chorros de vapor en un plano horizontal sobre la superficie del jugo.

2.26. Capacidad de los Carbonatadores:

En el proyecto de la instalación de un sistema de carbonatación es necesario tomar en cuenta que el número de tanques debe ser de 3 a 6 y de preferencia 4 para cada una de las dos carbonataciones. Se supone que en una de ellas los tanques están vaciándose y en la otra llenándose; - cada una de estas dos operaciones toma 5 min.; la capacidad del tanque debe calcularse de acuerdo con la altura del jugo que se elija (2 a 3 m), y tomando en cuenta que debe dejarse en reposo por lo menos 20 min. en cada tanque, para su saturación por el ácido carbónico. Quiere decir que la primera carbonatación toma en total media hora y la segunda, - 15 min. en total.

2.27. Carbonatación Contínua:

Existen también tanques para carbonatación contínua que disminuyen la mano de obra y simplifican la operación. Son análogos a los carbonatadores discontinuos pero se diseñan de manera que faciliten y prolonguen lo más posible el contacto entre el CO_2 y el jugo.

El control de una buena saturación es en este caso más delicado y se trabaja ajustando el gasto del jugo.

La carbonatación continua se utiliza frecuentemente en la segunda carbonatación y raramente en la primera.

2.28. Efectos prácticos de la Clarificación:

a) Separación de los sedimentos:

Revisando de nuevo las razones prácticas de la clarificación, después de incrementar el pH del jugo para evitar la inversión, el siguiente propósito principal es el de separar la materia en suspensión con objeto de obtener una sedimentación rápida y completa, con un sedimento compacto, dejando así los jugos, ya libres - - cuanto sea posible de este sedimento, listos para la evaporación. Si no se elimina la materia en suspensión, esta causa incrustaciones en evaporadores y tachos e interfiere con el purgado de las centrifugas, dando por resultado, finalmente, un alto contenido de cenizas y un azúcar de baja calidad. El grado relativo de éxito que se tenga en la separación de los insolubles depende, principalmente, de la naturaleza del jugo.

Debe formarse en el jugo una cantidad adecuada de precipitaciones con objeto de que se obtengan buenas floculaciones y sedimentaciones. La cantidad de precipitado depende en primer lugar, - de la cantidad de fosfato que haya en el jugo. Se ha demostrado, con frecuencia, que para que se obtenga una buena clarificación

el contenido de P_2O_5 en el jugo deberá ser de más o menos 0.03%. 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 flóculos livianos que se asientan muy lentamente.

En muchas ocasiones el volumen de sedimentos llega a ser el factor más importante desde el punto de vista práctico de la clarificación. Si el volumen es grande, entonces se agrega, por esa causa, un peso adicional sobre los filtros. Es más; un incremento en el volumen de los sedimentos disminuye la altura de la sección líquida de la cámara de sedimentación. Por las dos razones anteriores se tiene una reducción de la capacidad efectiva de clarificación. Como ya se señaló, el volumen de los sedimentos se incrementa al aumentar el porcentaje de P_2O_5 . El volumen varía directamente con el pH de la alcalización, de ahí que al alcalizar jugos altos en P_2O_5 el pH de alcalización se hace bajar, a menudo, con objeto de reducir el volumen de los sedimentos.

El efecto de las partículas del suelo sobre la sedimentación constituye un factor importante en aquellos ingenios en donde la caña

se cosecha en forma mecánica, ya que relativamente grandes cantidades de tierra son acarreadas a los molinos por la caña. Esas partículas de tierra incrementan la cantidad de sedimentos y también causan otros efectos, dependiendo esto de la naturaleza del suelo. Si el jugo contiene cantidades relativamente grandes de protectores de coloides, tales como los que se encuentran en el jugo de cañas deterioradas, las partículas de tierra se sedimentarán con dificultad.

b) Claridad:

La claridad del jugo clarificado se considera como una buena indicación de la efectividad de la clarificación, pero esto no es necesariamente cierto. De modo cuantitativo, es pequeña la cantidad de material que permanece en suspensión en un jugo turbio, y como la turbiedad representa sólo un material dentro de un orden limitado de partículas. La cantidad que permanece de tal material depende de las características del jugo para un grupo dado de condiciones.

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 de coloides. Los jugos deteriorados nunca dan

un jugo claro, de ahí que la claridad de un jugo sea también in-
dicación 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 si producen jugos oscuros. La hojarasca y ciertas materias extrañas causan turbiedad; y los suelos pueden causarla o no, dependiendo ello de su naturaleza y de los protectores de coloides que existan en el jugo.

c) 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 el total de sólidos solubles.

La precipitación de los fosfatos es el factor principal en el cambio de la pureza. Se halló además que es pequeño el efecto de otros constituyentes inorgánicos, aunque la precipitación de sílice, aluminio, magnesio, hierro y manganeso, causa cierto incremento en la pureza. Entre las sustancias orgánicas la eliminación de las impurezas como son las proteínas es el factor principal; además otros no azúcares, tales como la pectina, contribuyen en un menor grado.

Como el incremento en la pureza se determina, principalmente, por la precipitación de los constituyentes anteriores, la extensión en que se incrementa la pureza será una función del grado de precipitación y en consecuencia, del pH. En general, se encuentra un incremento máximo de la pureza al alcalizar a un pH de 8.5, más o menos. Arriba de este punto se tiene muy poco incremento, y a menudo, puede ocurrir un decremento.

Por lo tanto, desde un punto de vista práctico, la elevación de la pureza es de poco valor en la apreciación del proceso de la clarificación y no da indicación de la forma en que se vayan a comportar los jugos en la evaporación. Las cifras pueden tener cierto valor en cuanto a que indican las pérdidas debidas a la inversión en el caso de que se obtengan valores consistentemente bajos o negativos.

d) Color :

El color normalmente aumenta 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. Se 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 lacasa (que es una enzima oxidante) y las sales de hierro. Las sales ferrosas 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.

También se encuentra presentes las clorofilas verdes insolubles y la sacaretina amarilla. En pequeñas cantidades se hallan los pigmentos antocianínicos solubles. 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 está presente es, normalmente, menor del 0.01%, pero esto es suficiente para impartir un color oscuro a los jugos.

Se ha demostrado que en el proceso simple de clarificación los polifenoles son los responsables de la absorción del oxígeno, lo que resulta en la formación de sustancias acídicas y, en el jugo clarificado son responsables hasta cierto grado de la disminución del pH y del incremento del contenido de calcio.

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 todo el color producido durante el proceso.

Por lo antes mencionado, 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 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. Esto por supuesto, es la característica obvia de las reacciones que implican tales pequeñas porciones del total de sustancias presentes y que incluye las complejidades de la precipitación, coagulación y adsorción, en el sistema sólido-líquido. Estos sistemas son extremadamente sensibles a ligeras variaciones en la composición, así como a cambios físicos tales como la temperatura y los resultantes del tratamiento mecánico. 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 cañas frescas y los de cañas deterioradas. Probablemente, la proliferación de microorganismos, con su producción de sustancias coloidales, tienen un mayor efecto sobre la clarificación

que cualquier otro factor.

En la operación de una fábrica las condiciones prácticas son las que generalmente dictan el procedimiento operacional tipo que deba seguirse. Afortunadamente, en un jugo fresco la sola adición de cal, a un pH del orden de 7.5-8.5, y el simple calentamiento, producirán de manera normal una clarificación satisfactoria.

En casos en que se tenga una clarificación pobre, es probable que esta se deba a cambios menores en la composición del jugo, originados por ciertas condiciones de crecimiento o de deterioración, o por las características de las diferentes variedades.

Los efectos de una mala clarificación sobre la operación de evaporadores y tachos no han sido claramente establecidos. Se sabe que algunos jugos pobremente clarificados no se comportan bien en esa sección de la fábrica. No se ha podido comprobar que si estas sustancias clarifican bien, igualmente se comportan bien en la evaporación. Es más probable que las sustancias responsables de una mala clarificación sean también responsables de una mala evaporación y que la defecación con cal no las afecte en forma alguna.

CAPITULO 3

CAPITULO 3

Factores que influyen en el diseño del equipo:

El precipitado formado en la clarificación, es separado del jugo en el proceso de fabricación del azúcar por sedimentación en recipientes conocidos como sedimentadores o clarificadores, a través de los cuales el jugo fluye a una velocidad baja, para permitir al precipitado asentarse.

Las características deseables en el proceso de la clarificación, son un rápido asentamiento dando un jugo claro y un volumen mínimo de residuos. El hecho para el cual estos requerimientos se realicen depende primeramente de la eficiencia de la floculación en el proceso propio de la clarificación, es decir, son necesarias grandes partículas, de aquí la importancia de la formación del flóculo apropiado y condicionado, pero también están influenciados considerablemente por el diseño del clarificador.

3 .1. Factores que influyen en la rapidez de asentamiento.

La rapidez de asentamiento de las partículas depende de su tamaño, forma y densidad, así como de la densidad y viscosidad del jugo, como es expre-

sado por la ley de Stokes:

$$V = \frac{D^2 g (d_s - d_l)}{18 M} \quad \text{_____ (1)}$$

Donde:

V.- Velocidad de caída, (cm/seg).

D.- Diámetro de las partículas, (cm).

d_s - Densidad del sólido (g/cm^3).

d_l - Densidad del líquido (g/cm^3).

g.- Constante de la gravedad (cm/seg^2).

M.- Coeficiente de viscosidad del líquido. (Poises).

La ecuación anterior es para partículas esféricas, cuando las partículas no son esféricas, la constante ^{para partículas no esféricas de Stokes se aproxima con esto} no es mayor de 1/18 y la ecuación en su forma general queda:

$$V = K \frac{D^2 (d_s - d_l)}{M} \quad \text{_____ (2)}$$

Donde K, incluye la constante de la gravedad, así como la constante para la forma de la partícula.

Los valores exactos para la densidad de partículas son difíciles de obtener.

La materia inorgánica tal como $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ y partículas sólidas, tendrán un rango de densidad de 2.2 a 3.0. La materia orgánica tiene una densidad muy cercana a la del jugo, 1.1, o ligeramente menor que 1.0, en el caso de materiales tales como grasas y ceras. La densidad promedio de las

partículas, en algunos casos es algo mayor que 1.5, la densidad del líquido d_l da un rango generalmente entre 1.05 y 1.10, dependiendo de la cantidad de dilución por agua de imbibición, de aquí la diferencia $d_s - d_l$, será grande para una rapidez razonable de asentamiento, proporcionándola de un tamaño de partícula adecuado.

Sin embargo, se han hecho cálculos de los valores de densidad y como resultado se tiene una rapidez de asentamiento mucho mayor que la que se obtiene en la práctica. Esto seguramente es debido a que la densidad de las partículas es muy cercana a la del líquido en las partículas suspendidas.

En la separación de una pasta diluida por sedimentación gravitacional, separándola en un fluido claro y una pasta de mayor contenido de sólidos, se presentan varias zonas de sedimentación, como se muestra en la Fig. 3.1.

Los factores importantes para un rápido asentamiento son entonces el tamaño y la forma de las partículas, y el que las partículas grandes se aproximen a la forma esférica. Para obtener grandes partículas y partículas debidamente formadas, las condiciones en la clarificación y sedimentación deben favorecer la coalescencia entre grandes flóculos dentro de las pequeñas partículas inicialmente formadas. Obviamente y también de gran importancia es evitar averías en el flóculo formado. Para obtener partículas de máximo tamaño algunos diseños de sedimentadores proveen una "cámara de floculación",

En la cual el jugo es sujetado a un movimiento suave con objeto de llevar a las partículas a un contacto íntimo y favorecedor con ello la formación de grandes flóculos. Esto es una parte del paso de condiciones de floculación y es muy importante para un asentamiento adecuado.

3.2. Factores que influyen en el diseño de clarificadores:

En un equipo de operación continua se presentan las mismas zonas de sedimentación que en un equipo de operación intermitente. Sin embargo, una vez que se ha llegado al estado estable (donde la alimentación de la suspensión por unidad de tiempo, al espesador, es igual a la proporción de suspensión y licor claro removidos), las alturas de cada zona serán constantes, como lo muestra la figura No. 3.1:

Los espesadores continuos son tanques de gran diámetro y poca profundidad, con rastrillos que giran lentamente para remover el sedimento. La suspensión se puede eliminar en el centro del tanque o en la periferia de la parte interior del tanque. Alrededor del borde superior del tanque, se encuentra el derrame del líquido claro. Los rastrillos sirven para raspar el sedimento, llevándolo hacia el centro del fondo del tanque y descargándolo. El movimiento de los rastrillos también "agita" solamente la capa de sedimento. Esta agitación suave ayuda a la eliminación del agua en el sedimento.

El propósito de un espesador continuo, es llevar una pasta con cierta concentración inicial de sólidos, a través de un proceso de sedimentación, hasta

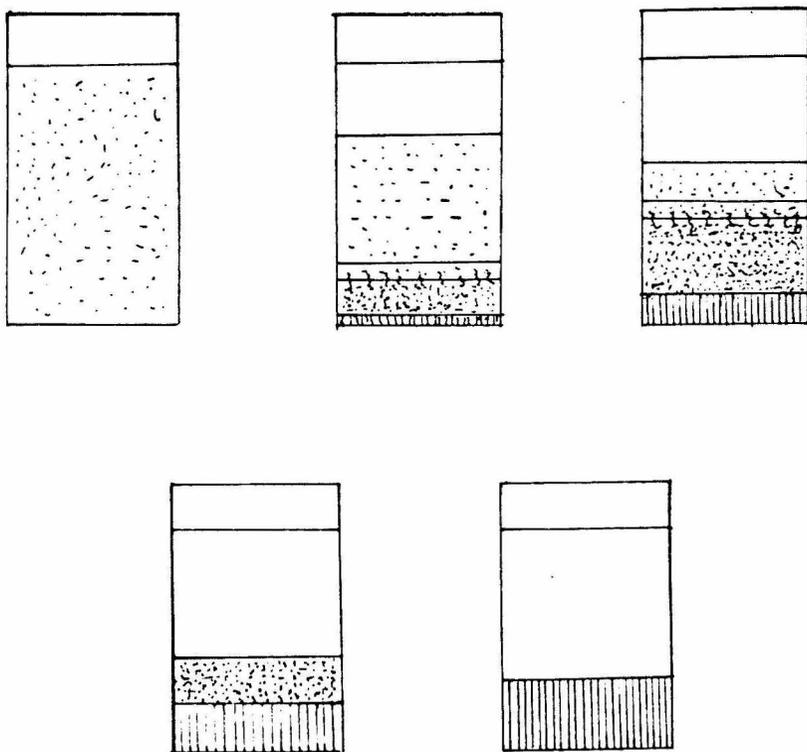


Fig. 3.1 . SEDIMENTACION INTERMITENTE.

una suspensión con una concentración **mayor de sólidos**. Los cálculos necesarios para el diseño de **espesadores continuos**, están gobernados por las características de sedimentación **de los sólidos en la suspensión**. Para diseñar un espesador, se necesita **especificar la superficie de la sección transversal y la profundidad**. Este diseño es **posible a través de la información obtenida en una operación de sedimentación intermitente con un producto específico**.

En la determinación experimental **del comportamiento** de las suspensiones, con el propósito de determinar **el tamaño de los espesadores** las medidas experimentales introducen una **complicación**, consistente en trasladar los datos de corridas intermitentes **a las operaciones continuas**. El método más satisfactorio de medidas de **laboratorio**, es la **observación de la velocidad de sedimentación de la suspensión uniformemente mezclada en una probeta graduada**. Esta velocidad de **sedimentación puede observarse para dispersiones de varias cantidades de sólidos en el líquido**. Se encuentra que las velocidades de sedimentación **disminuyen cuando aumenta la concentración de sólidos en la suspensión**. Sin embargo, **la disminución es menos rápida que el aumento en el contenido de sólidos a algunas concentraciones**. Esto resulta importante en la **conversión de las pruebas de sedimentación intermitente**, al diseño de un espesador **continuo para concentrar una suspensión particular**. En un espesador continuo, **las condiciones en un punto son estables con respecto al tiempo**, mientras que **cada prueba de sedimentación intermitente presenta las condiciones en cierto punto particular en un espesador**

solo a un tiempo particular durante la prueba.

Una condición necesaria para el funcionamiento de un espesador continuo, es que la velocidad de sedimentación de los sólidos a través de cada zona, debe ser cuando menos lo suficientemente rápida para acomodar el sólido que se está depositando hasta ese nivel. En la parte superior del espesador, la suspensión está diluída y la sedimentación es bastante rápida. En el fondo, la densidad y la concentración de los sólidos son extraordinariamente altas; y aún cuando la velocidad de sedimentación de cada partícula sea pequeña, la proporción de capacidad para los sólidos totales por unidad de área, es mayor que en cierto punto intermedio del espesador. La velocidad de las partículas ha venido disminuyendo con el aumento de la concentración de sólidos. La disminución de la velocidad es más rápida que el aumento de concentración de sólidos en los niveles intermedios. Dicho en otra forma, la velocidad de masa disminuye y después aumenta conforme se sedimentan los sólidos. El resultado es que existe un nivel intermedio en el espesador, a través del cual la proporción de paso de masa de sólidos, tiene un valor mínimo. Si la carga del espesador excede la capacidad en este punto, los sólidos se acumularán en dicho punto y la zona límite se desplazará hacia arriba a través del espesador.

El análisis del rendimiento de un espesador, no puede basarse en un modelo de partículas sólidas sedimentándose a través de una capa acuosa, en la cual

la velocidad hacia abajo del líquido tiene la uniformidad precisamente suficiente para proporcionar el contenido de agua de la suspensión espesada. Un modelo simplificado más real, se basa en el reconocimiento de que, cuando una partícula se sedimenta, está acompañada de una cantidad de líquido que constituye su capa fronteriza. Cuando la partícula alcanza la zona de sedimentación retardada y posteriormente la zona de compactación, el constituyente líquido de las capas fronterizas se reduce en cantidad, por interferencia y acumulación de las capas fronterizas de todas las partículas. Conforme el líquido es progresivamente expelido de las capas fronterizas, se ve forzado a fluir hacia arriba, de donde resulta una disminución en la velocidad de sedimentación neta de las partículas. Este flujo ascendente puede considerarse cero en el fondo del espesador y aumentando hasta un máximo, en el nivel donde las capas fronterizas comienzan a interferirse unas a otras.

En el diseño de un espesador para una cantidad específica de suspensión, el área de la sección transversal mínima del espesador, que permitirá el paso de los sólidos, se encuentra en el límite de la concentración intermedia. Es absolutamente necesario que el área de la sección transversal en el nivel límite, sea lo suficientemente grande para que los sólidos pasen a través de ella en una proporción igual o mayor que la proporción de alimentación. Si el área no es lo suficientemente grande, el balance del material en este nivel se satisface solamente por la acumulación de sólidos, resultando en un desplazamiento de la zona límite hacia arriba del espesador.

La determinación del área mínima de un espesador requiere sucesivamente:

- (1) La identificación de la concentración a la cual la proporción de masa de sólidos sedimentados es un mínimo.
- (2) La determinación de la velocidad de sedimentación a esta concentración.
- (3) El cálculo de la cantidad de agua rechazada de la suspensión entre esta concentración y la del producto, o sea la cantidad que fluye hacia arriba en el nivel límite.

El primer paso se lleva a cabo por cálculos matemáticos de las proporciones de sedimentación, y con la interpretación apropiada de las pendientes de una curva de sedimentación intermitente. El segundo se lleva a cabo por la reinterpretación de los mismos datos, en una curva de velocidad de sedimentación contra concentración. El tercer factor se basa en cálculos sucesivos de la velocidad hacia arriba del fluido a varias concentraciones.

Cada una de las etapas se desarrolla en detalle, llegándose a un valor del área mínima del espesador. Cuando conocemos la sección transversal mínima, la variable de diseño que se calcula después es el tiempo de retención en la zona de compresión. Se ha demostrado que la proporción de propagación ascendente de dicha zona límite, es constante si se excede la capacidad de alimentación y que la proporción es una función de la concentración de los sólidos.

3.3. Procedimiento para el cálculo de un clarificador:

Haciendo un balance de material para un área y una concentración constante en la zona límite, obtenemos:

$$\bar{v}_L = c \frac{dv_L}{dc} - v_L \quad (1)$$

Donde:

\bar{v}_L Velocidad ascendente de la capa que limita la capacidad

v_L Velocidad de sedimentación de las partículas en esta capa

c Concentración de sólidos, masa de sólidos por unidad de volúmen de suspensión

Puesto que c es constante para esta capa, y v_L es por consiguiente constante también. La constancia de \bar{v}_L , en la zona que limita la proporción, puede usarse para determinar la concentración de sólidos en la zona frontal superior de la capa, por medio de una prueba sencilla de sedimentación intermitente. Llamemos c_0 y z_0 a la concentración y altura iniciales de los sólidos suspendidos, en una prueba de sedimentación intermitente. La altura total de los sólidos en la suspensión es $c_0 z_0 S$, donde S es el área de la sección transversal del cilindro en el cual se lleva a cabo la prueba.

Si existe una capa límite, deberá formarse en el fondo y moverse hacia arriba de la interfase con el líquido claro. Si la concentración de la capa límite es c_L y el tiempo para alcanzar la interfase es t_L , la cantidad de sólidos que pasan a través de esta capa es:

$$c_L S t_L (\bar{v}_L + v_L)$$

Esta cantidad deberá ser igual al total de sólidos presentes, puesto que la capa que tiene esta concentración límite inicia su concentración en el fondo y se mueve hacia arriba hacia la interfase. Por consiguiente:

$$c_L St_L (v_L + \bar{v}_L) = c_o z_o S \quad (2)$$

Si z_L es la altura de la interfase a un tiempo t_L , siendo constante \bar{v}_L , tendremos:

$$\bar{v}_L = \frac{z_L}{t_L} \quad (3)$$

Sustituyendo el valor de \bar{v}_L en la ecuación (2) y simplificando, tenemos:

$$c_L = \frac{c_o z_o}{z_L + v_L t_L} \quad (4)$$

Los datos de la prueba de laboratorio pueden ser graficados trazando la altura de la interfase como función del tiempo, como se muestra en la Fig. 3.2. En esta gráfica el valor de v_L es la pendiente de la curva en $t_L = t$, como se muestra en la ecuación (5). La tangente a la curva en t_L intersecta la ordenada en z_i . La pendiente de esta línea es:

$$\frac{z_i - z_L}{t_L} = v_L \quad (5)$$

o bién:

$$z_i = z_L + t_L v_L \quad (6)$$

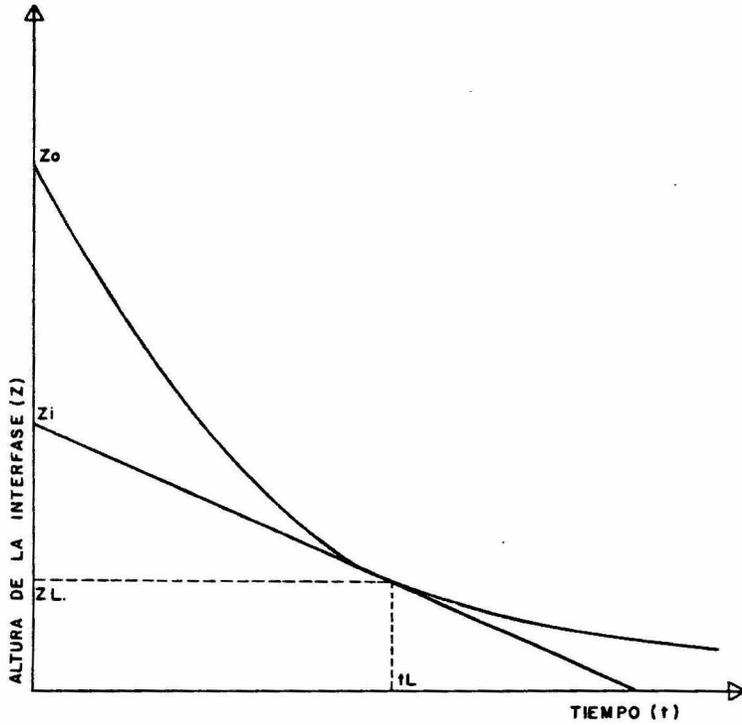


Fig. 3.2 RESULTADOS OBTENIDOS EN UNA SEDIMENTACION INTERMITENTE.

Combinando las ecuaciones (4) y (6), obtenemos:

$$c_L z_i = c_o z_o \quad \text{-----} \quad (7)$$

De aquí concluimos por tanto, que z_i es la altura que ocuparía la suspensión, si todos los sólidos presentes estuvieran a una concentración c_L . En términos del modelo utilizado, c_L es la concentración mínima a la cual se interfieren las capas fronterizas.

La velocidad de sedimentación como función de la concentración, también puede determinarse por medio de una prueba de sedimentación sencilla. El procedimiento es el siguiente: para varios valores arbitrarios de t , la pendiente de la tangente y su intersección en $t = 0$, se determinan a partir de una gráfica de z como función de t . El valor de la intersección se usa en la ecuación (7), para obtener la concentración correspondiente. A partir de esta se obtiene v_L como función de c .

Determinación del área de un espesador:

El área necesaria de un espesador, se fija de acuerdo con la concentración de la capa que requiere el área máxima, para el paso de una cantidad unitaria de sólidos. Para el espesador mostrado en la Fig. 3.3., el balance de materiales para sólidos es:

$$L_o c_o = L_u c_u \quad \text{-----} \quad (8)$$

$$L_U = \frac{L_o c_o}{c_U} \quad \text{-----} \quad (9)$$

Donde:

L_o Volumen por unidad de tiempo en el flujo de entrada

c_o Concentración en la entrada. (Masa por unidad de volumen)

L_U Volumen por unidad de tiempo en el flujo interior

c_U Concentración en el flujo interior. (Masa por unidad de volumen)

Por medio de un balance total de líquidos, obtenemos:

$$L_o (d_o - c_o) = V d_w + L_U (d_U - c_U) \quad \text{-----} \quad (10)$$

Donde:

V Flujo de derrame. (Volumen por unidad de tiempo)

d_w Densidad del flujo de derrame

Eliminando L_U en la ecuación (10), por sustitución de la ecuación (9), resulta:

$$L_o (d_o - c_o) = V d_w + \frac{L_o c_o}{c_U} (d_U - c_U) \quad \text{-----} \quad (11)$$

Rearreglando términos se convierte en:

$$V = L_o c_o \left[\frac{d_o}{c_o} - \frac{d_U}{c_U} \right] \frac{1}{d_w} \quad \text{-----} \quad (12)$$

Dividiendo ambos lados de la ecuación (12) por el área de la sección transversal del espesor (S) y usando d_{av} para la suspensión, tenemos:

$$\frac{V}{S} = \frac{L_o c_o}{S} \left[\frac{1}{c_o} - \frac{1}{c_U} \right] \frac{d_{av}}{d_w} \quad \text{-----} \quad (13)$$

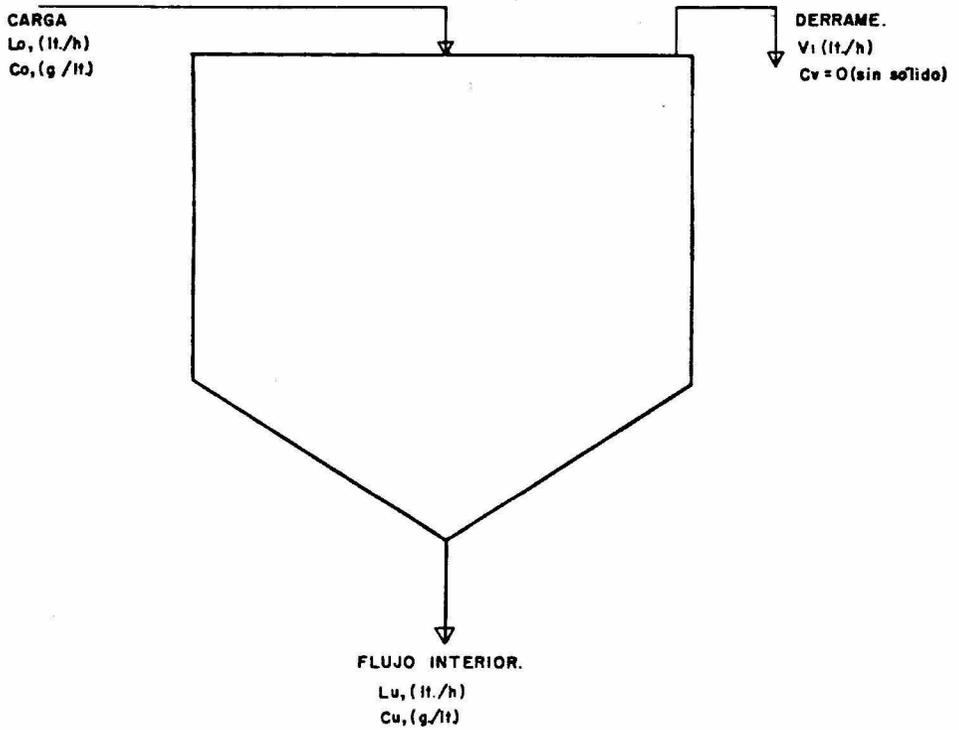


Fig. 3.3 DIAGRAMA ESQUEMATICO DE UN ESPESADOR.

El término V/S es la velocidad lineal ascendente del líquido clarificado. Con objeto de impedir que se derramen los sólidos, la velocidad ascendente del licor deberá ser igual o menor que la velocidad de sedimentación de los sólidos; por consiguiente, V/S puede ser reemplazado por " v ". Podemos escribir la ecuación (13) en términos de la capa que limita la capacidad, aún cuando no se haya establecido que un valor particular de c_L y el correspondiente flujo descendente (L_L) representan el límite verdadero, por consiguiente:

$$L_o c_o = L_L c_L \quad (14)$$

y:

$$\frac{L_L c_L}{S} = \frac{v}{\left[\frac{1}{c_L} - \frac{1}{c_U} \right] \frac{d_v}{d_w}} \quad (15)$$

La ecuación (15) se usa con una relación $v = f(c)$. Para varios valores correspondientes de v y de c , la ecuación (15) se usa para calcular $L_L c_L / S$. El valor más bajo de $L_L c_L / S$, determina el área mínima necesaria del espesador.

Profundidad del espesador:

La profundidad de la zona de espesamiento para suspensiones incompresibles, es menos importante que el tiempo de retención de las partículas dentro del espesador. Esto es: el área del espesador puede ser predicha con dependencia del límite de sedimentación, y el volumen de la zona de

compresión puede determinarse para obtener el tiempo de retención necesario. El tiempo de retención puede ser determinado de datos de laboratorio en una prueba intermitente.

La forma de la curva de compresión (Fig. 3.2.) sugiere que la proporción de sedimentación como una función del tiempo pueda estar dada por:

$$\frac{dz}{dt} = k (z - z_{\infty}) \quad (16)$$

Donde:

- z Altura de la zona de compresión a un tiempo "t"
- z_∞ Altura de la zona de compresión en un tiempo infinito
- k Una constante para un sistema en particular

Los datos de laboratorio de las pruebas intermitentes, proporcionan las relaciones altura-tiempo. La integración de la ecuación (16) nos da:

$$\ln \frac{z - z_{\infty}}{z_c - z_{\infty}} = -kt \quad (17)$$

donde z_c es la altura de la zona de compresión en la concentración crítica, a la cual el tiempo t, se toma como cero. La concentración crítica es la concentración a la cual la suspensión en la zona de espesamiento empieza a comprimirse. La forma gráfica de la ecuación (17), se indica en la Fig. 3.4.

La graficación de la ecuación (17) tiene que llevarse a cabo por medio de -

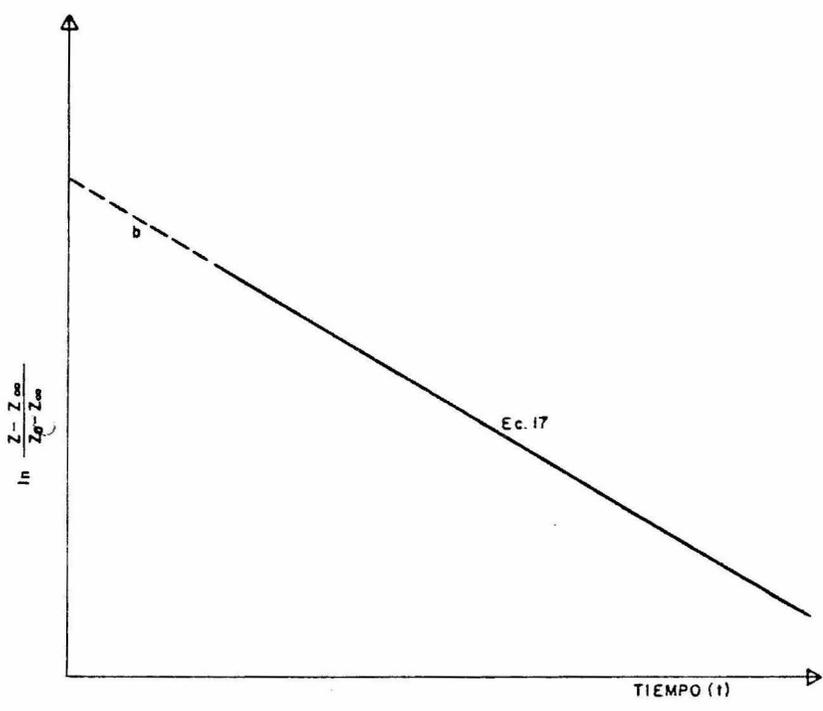


Fig. 34 VARIACION DE LA ZONA DE COMPRESION CON EL TIEMPO.

tanteos puesto que z_{00} es desconocida. Esto se efectúa seleccionando un valor para z_{00} y con este valor supuesto graficando la ecuación (17). Si la línea resultante no es recta se supone otro valor para z_{00} y se vuelve a tratar hasta que se obtiene un resultado lineal. La pendiente de la línea final es igual a k .

La concentración crítica no está claramente definida. La Fig. 3.5., muestra la curva completa de características de sedimentación, la sedimentación inicial empieza a un tiempo cero cuando las partículas se encuentran en período de caída libre por cierto tiempo. Posteriormente se llega a un tiempo en que la sedimentación se ve interferida y la velocidad de sedimentación disminuye. Cierta tiempo después, se alcanza la concentración crítica. Puesto que aquellos sólidos que llegan al fondo primero se encuentran quizá bajo compresión mientras que los que se hallan en un nivel superior se encuentran aún en sedimentación libre, resulta evidente que una prueba intermitente de sedimentación no puede darnos un tiempo verdadero en la zona de compresión.

La curva de compresión (b) en la Fig. 3.5. se extiende hasta el tiempo cero de acuerdo con la ecuación (17), como se muestra en la Fig. 3.5., y el tiempo crítico se obtiene promediando aritméticamente z_0 y z_0' . El tiempo crítico es el tiempo en el cual los sólidos se encuentran bajo compresión. En realidad, parte de los sólidos han entrado bajo compresión

antes, y parte de ellos no se ven comprimidos ni aún después. Por consiguiente, el tiempo de retención de los sólidos en la zona de compresión, es la diferencia entre el tiempo necesario para llegar a la concentración del derrame deseado y el tiempo crítico.

Si consideramos la zona de compresión como una entidad, podríamos considerar que está desplazándose en el espesador con una velocidad promedio $\bar{v} = V/St_r$, donde V es el volumen de la zona de compresión, t_r es el tiempo de retención y S es el área de la sección transversal. Esta velocidad está compuesta por dos componentes: La primera es una velocidad de sedimentación promedio, y la otra, la velocidad a la cual el lodo concentrado está siendo removido del espesador.

El volumen requerido para la zona de compresión, es igual a la suma del volumen ocupado por los sólidos y el volumen ocupado por los líquidos asociados.

La expresión que nos representa lo anterior, es la siguiente:

$$V = \frac{L_o c_o}{d_s} (t - t_c) + \frac{L_o c_o}{d} \int_{t_c}^t \frac{W_l}{W_s} dt \quad (18)$$

Donde:

V Volumen de la zona de compresión

$L_o c_o$ Masa de sólidos alimentados por unidad de tiempo al sedimentador

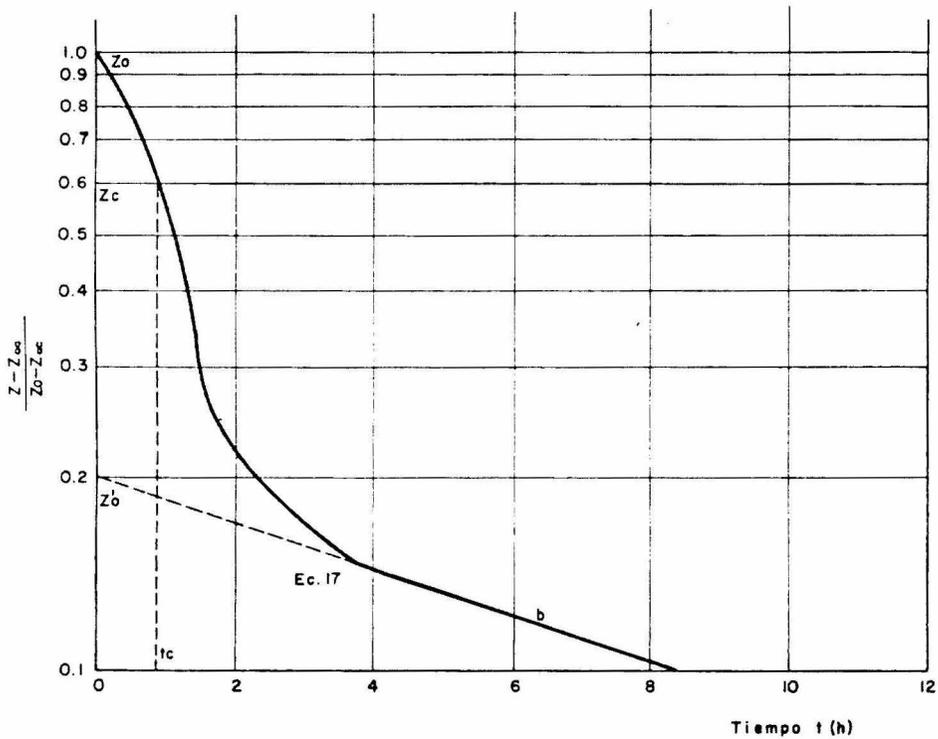


Fig. 35 CARACTERISTICAS DE SEDIMENTACION DE UNA SUSPENSION.

- W_l Masa del líquido en la zona de compresión
 W_s Masa de sólidos en la zona de compresión
 $(t - t_c)$ Tiempo de retención en la zona de compresión
 d_s Densidad en la fase sólida
 d Densidad en la fase líquida

La ecuación (18) está de acuerdo, sobre el hecho que el tiempo de retención dentro de la zona de compresión, es más importante que la profundidad de la zona. El término W_l / W_s es un término referente a la concentración del líquido. Puede ser calculado como función del tiempo y el término integral puede calcularse gráficamente.

Después de haber calculado el volumen de la zona de compresión, la profundidad puede calcularse dividiendo el volumen por el área del sedimentador calculada por la ecuación (15). La profundidad total del sedimentador puede estimarse sumando a la profundidad de la zona de compresión las siguientes profundidades:

- Por inclinación del fondo
- Por capacidad del tanque
- Por sumersión de la alimentación

3.4. Calentadores de Jugo:

Los calentadores de jugo son generalmente una armadura simple y un diseño de tubos. La armadura puede ser de acero o de hierro colado, con tubos con revestimiento de latón, dentro de las placas de acero para tubos en los extremos. Generalmente, ninguna medida para la expansión diferencial de los tubos y de la armadura puede ser considerada.

El jugo es bombeado a través de los tubos, el número de tubos por paso varía de 2 a 8, dependiendo del tamaño del calentador, cuando regresa o pasa en cada extremo el jugo ha pasado por un paso dentro de los tubos. Los cabezales separados pueden usarse cada uno para cubrir 4 ó más tubos, o también puede usarse una puerta o cubierta para la placa total de tubos con baffles disponibles que pueden servir para el mismo propósito. Los calentadores horizontales y verticales se pueden usar dependiendo del espacio requerido o la altura vertical, la cual debe considerarse, pero en su mayoría se determina por preferencia local. Es obvio que los calentadores horizontales se prefieren, porque son fáciles de limpiar.

Los tubos de diámetros pequeños pueden ser permitidos para superficies de calentamiento muy grandes. Pero los diámetros considerados como diámetros pequeños causan dificultades en la eliminación de las incrustaciones.

Las velocidades de jugo generalmente empleadas deben ser las que nos den

un coeficiente de transferencia de calor sin caídas de presión excesivas. -
Con dos calentadores en serie y una cabeza de gravedad considerable, se -
puede bombear el jugo del nivel del piso al tanque flash, esto requiere una -
presión de aproximadamente 7 kg/cm^2 (100 psi) en las bombas del jugo. -
El vapor entra naturalmente en la parte superior, y el condensado es descar -
gado en el fondo del calentador. Con los calentadores horizontales, los -
baffles son colocados en el lado del vapor, con un cierto orden para dar una -
buena velocidad del vapor y una buena transferencia de calor y también pa -
ra recoger el condensado de un banco de varios tubos a una cierta altura en
lugar de permitir que el jugo corra sobre todos los tubos, esto minimiza la
capa de condensado sobre los tubos dándonos algunas ventajas en la trans -
ferencia de calor. Los venteos para los gases no condensables deberán es -
tar provistos de una descarga a la atmósfera en el caso de calentadores de
vapor, pero cuando el vapor de los efectos es usado, puede ser ligeramen -
te menor que la presión atmosférica, y el tubo de venteo tiene que ser co -
nectado a un recipiente conveniente de los efectos el cual estará al vacío,

Se puede utilizar una unidad de calentamiento hecho de tubos estandares,
en la cual la armadura consista de una pieza de tubo de diámetro adecua -
do con bridas y en cada extremo placas de tubos con codos de retorno co -
locados de cada unidad a la siguiente. Esta unidad tiene una pequeña -
ventaja visible sobre el tipo ordinario de armadura y tubos, excepto que -
nos da un flujo a contracorriente de vapor y jugo en lugar del flujo - - -

transversal del tipo ordinario.

3.5. Coeficiente de Transferencia de calor:

El coeficiente de transferencia de calor es considerablemente influenciado por la velocidad del jugo debido a que el coeficiente de película del líquido es el que tiene un efecto más marcado sobre el coeficiente total. Una expresión previamente usada es la siguiente:

$$U = 250 \sqrt{\frac{V}{6}} \quad \text{ó} \quad U = 100 \sqrt{V} \quad \text{_____} \quad (19)$$

Una expresión más recientemente usada, es la siguiente:

$$\frac{1}{U} = 0.002 + \frac{1}{256 \sqrt{0.8}} \quad \text{_____} \quad (20)$$

Una fórmula perfeccionada, diseñada para tomar en cuenta la influencia de la temperatura del vapor es la siguiente:

$$U = \frac{T - 32}{0.9 + \frac{2.2}{V}} \quad \text{_____} \quad (21)$$

En las expresiones anteriores:

U Coeficiente total de transferencia de calor
(BTU/ft². h. °F)

T Temperatura del vapor caliente (°F).

V Velocidad del jugo en los tubos (ft/seg).

En las expresiones anteriores se recomienda utilizar unidades inglesas, ya que son ecuaciones empíricas. Si se desea utilizar unidades del sistema métrico -

decimal, el resultado de la ecuación (21), se multiplica por el factor 8.05×10^{-3} , obteniéndose el coeficiente de transferencia de calor en las siguientes unidades:

$$U = \frac{\text{Cal.}}{\text{cm}^2 \times ^\circ\text{C} \times \text{h}}$$

En la ecuación (21) el primer término en el denominador (0.9) corresponde a la resistencia para la transferencia de calor debida a la película de condensado, metal e incrustación. El valor real de este término evidentemente variará durante la temporada y la semana dependiendo de la formación de las incrustaciones, y el valor dado es entonces un promedio de operación. Se recomienda que para tales variaciones el coeficiente deberá determinarse para calentadores instalados en una fábrica y utilizados cuando son requeridos como una base para cualquier instalación nueva. En vista de tales variaciones es suficientemente seguro expresar el efecto de la velocidad en forma proporcional a V en lugar de hacerlo a $V^{0.8}$.

3.6. Formación de Incrustaciones:

Las incrustaciones formadas en los tubos del calentador, debido al depósito de materiales insolubles del jugo se van formando cuando éste es asentado. La magnitud de la incrustación depositada varía considerablemente, dependiendo de la naturaleza de los no azúcares en el jugo.

Las incrustaciones generalmente muestran una proporción relativamente alta de materia orgánica la cual es precipitada durante el calentamiento junto con constituyentes inorgánicos. La reducción en la transferencia de calor es debida a la presencia de incrustaciones y por lo tanto, es necesario limpiar los calentadores a intervalos razonables, los cuales pueden variar de algunos días a una semana o más, dependiendo de la naturaleza de la caña y las impurezas en el jugo. La formación de las incrustaciones incrementan las dificultades en la clarificación, es decir; el jugo que nos dá dificultad en la clarificación, también nos dá una alta formación de incrustaciones y los calentadores necesitan limpiarse en unos días. En tales casos, es necesario disponer de un calentador sobrante; por ejemplo: cuando dos calentadores llevan los requerimientos normales, se requiere un tercer calentador en el cual las válvulas y conexiones estén arregladas de tal forma, que cuando uno de los calentadores se deteriore, el calentador sobrante sea puesto en uso y el dañado pueda ser aislado y abierto para limpiarse.

La eliminación de las incrustaciones generalmente no es difícil y puede ser efectuada por circulación de vapor dentro del calentador vacío, cuando las incrustaciones se rompen debido al secado y la expansión térmica, pueden ser sacadas fuera. Si esto es insuficiente, un tratamiento rápido con cepillos de alambre o raspadores generalmente es suficiente.

C A P I T U L O 4

CAPITULO 4

DIFERENTES TIPOS DE CLARIFICADORES:

La sedimentación se efectúa ya sea usando equipo intermitente o bien, por un procedimiento continuo en el que un gran tanque es constantemente alimentado con jugo tratado caliente y del que continuamente se extraen jugos clarificados y lodos. Los clarificadores intermitentes han sido rápidamente eliminados, aún en las fábricas muy pequeñas. La razón es que ocupan mucho espacio, comparativamente necesitan mucho trabajo, y en ellas se pierde gran cantidad de calor que debe ser repuesto antes de la evaporación, además, la densidad de los sedimentos es baja, por lo que se hace necesario un nuevo asentamiento, más aún, estos sedimentos vueltos a asentar no son tan densos como el lodo derivado de un clarificador continuo bien diseñado, y por otra parte, se necesita una gran capacidad de filtración y todo el cúmulo de factores que acompañan a esta operación.

4.1. Clarificadores Intermitentes:

Hay una gran variedad de tamaños, forma y proporciones de los tanques que se utilizan como clarificadores intermitentes, básicamente un tanque de poca profundidad significa que el flóculo tiene que recorrer en su

caída, menos distancia que en un tanque profundo, pero cuando la salida del jugo claro está más cerca del colchón de lodos, más jugo clarificado quedará con los lodos en un tanque de poca profundidad que en uno profundo. Además, los primeros ocupan más espacio de piso por unidad de capacidad.

Inicialmente la preferencia parece haberse dirigido a los tanques de forma rectangular, con declive hacia el centro y hacia adelante con objeto de tener un drenado adecuado de los lodos. Los dispositivos para la salida consistían de un tubo giratorio sostenido por medio de un flotador o de una serie de grifos colocados a intervalos en los lados del tanque, cada grifo se continuaba dentro del tanque por medio de un codo con la boca dirigida hacia abajo, con objeto de regresar los desechos, el dispositivo del flotador era bastante práctico, ya que el jugo podía siempre ser enviado hacia abajo, al colchón de lodos, cualquiera que fuese la altura de este.

4.2. Clarificadores Contínuos:

Prácticamente todas las modernas unidades contínuas son del tipo de múltiples charolas de poca profundidad, dispuestas en tal forma, que el jugo tratado caliente fluye sobre la superficie de la charola haciendo que el material suspendido se asiente en ella, dirigiéndosele entonces al cuerpo principal de lodos para su extracción. Las charolas están dispuestas una

sobre la otra. Hay una entrada común para la alimentación, ya sea hacia el centro o alrededor de la periferia si el tanque es circular, o en un extremo si el tanque es rectangular. En el compartimiento situado en la parte inferior, se tiene algún dispositivo para espesar los lodos, los que son extraídos para su filtración en este punto. En cada compartimiento o charola se decanta, separadamente, el jugo clarificado. Los tubos de decantación se unen en una caja común. La velocidad de flujo de cada compartimiento se regula por medio de un tubo corredizo ajustado por medio, ya sea de una aguja roscada manejada por una rueda o por una válvula de mariposa, siendo preferible el primer método. Se incluye algún tipo de mecanismo de agitación siendo la principal función de este mantener las superficies de asentamiento limpias de las adherentes partículas de lodo. Los raspadores pueden ser simples cadenas sostenidas por brazos o bien rastrillos o escobillas más elaboradamente diseñados. Los brazos del agitador pueden también estar provistos de algún mecanismo acondicionador del flóculo si se cuenta con una cámara de floculación y/o algún mecanismo espesador del lodo en el compartimiento inferior. Cuando se utiliza una cámara de floculación se dispone usualmente de algún tipo de dispositivo eliminador de espumas. Todos los clarificadores continuos están provistos de compartimientos estancos con objeto de reducir, en lo posible, la turbulencia del jugo que entra. Un segundo punto que debemos tener en cuenta, es que con objeto de que los calentadores de jugo sean capaces de calentar este arriba del punto de ebullición a la presión atmosférica, el compartimiento

estanco alimentará al clarificador con jugo en el punto de ebullición, igualando cualquier fluctuación que se presente en la temperatura de alimentación. Esto reduce dentro de los compartimientos de asentamiento la posibilidad de turbulencias debidas a la creación de corrientes de convección. Si ocurre este tipo de turbulencia, debida a corrientes de convección dentro de una cámara de acondicionamiento o en el espacio anular de alimentación, es concebible que se tendrá un beneficio, puesto que justamente es esta clase de movimiento lento y suave el que induce la formación de partículas de flóculo. Fig. 4.1.

4.3. Alimentación Central. Flujo en Contracorriente:

Los tipos de este diseño más conocidos son los de Dorr y de Petree o CSR (Colonial Sugar Refining Company).

Debido a que la característica de este tipo es la alimentación introducida en el centro de alguna clase de tanque circular, se deduce que el punto de entrada es el punto de máxima velocidad. Si esta velocidad de entrada es mayor que la velocidad crítica, entonces no ocurre ninguna sedimentación hasta que sea reducida debajo de este valor, de ahí que parte del área y de la capacidad de los compartimientos, se tenga que utilizar en conseguir las condiciones físicas convenientes para la separación del flóculo. En tanto que el líquido cargado del flóculo se dirige hacia la descarga periférica, la velocidad disminuye cada vez más, siendo el punto de descarga el punto de menor velocidad. Esta es el área donde el jugo deberá estar libre de -

material en suspensión. El lodo separado se mueve cruzando las charolas que tienen pendientes hacia dentro y hacia afuera. En los primeros tipos de clarificador Dorr, se dejaba entremezclar con la alimentación todavía en los compartimientos inferiores. Esto ya se ha modificado y se han proporcionado los medios para separar la alimentación que entra a un compartimiento de los lodos que salen en los compartimientos situados arriba de aquel.

4.4. Sedimentador Cónico o CSR:

Este tipo introducido por la Colonial Sugar Refining Company en Australia en 1890, consiste en un cono invertido con un ángulo apical de aproximadamente 90 grados. El jugo entra en la parte central y es sacado por un canal de derrame en la periferia, generalmente es guiado en una trayectoria especial por baffles, tal como lo muestra la fig. 4.2. Varios arreglos de baffles y vertederos de derrame tienen que ser usados para dar un jugo que entre prácticamente horizontal y así minimizar cualquier corriente vertical, la cual tenderá a oponerse al asentamiento. El engrane rotatorio de agitación a muy baja velocidad (algunos minutos por revolución), permiten el asentamiento de adherencias pegadas a las paredes del sedimentador. Hay inicialmente más raspadores que agitadores, y en algunos casos una cadena suelta, la cual golpea sobre la pared del sedimentador. La cachaza asentada es eliminada en el fondo, la rapidez es controlada hasta que haya un jugo claro en el derrame. La regulación de la cachaza puede

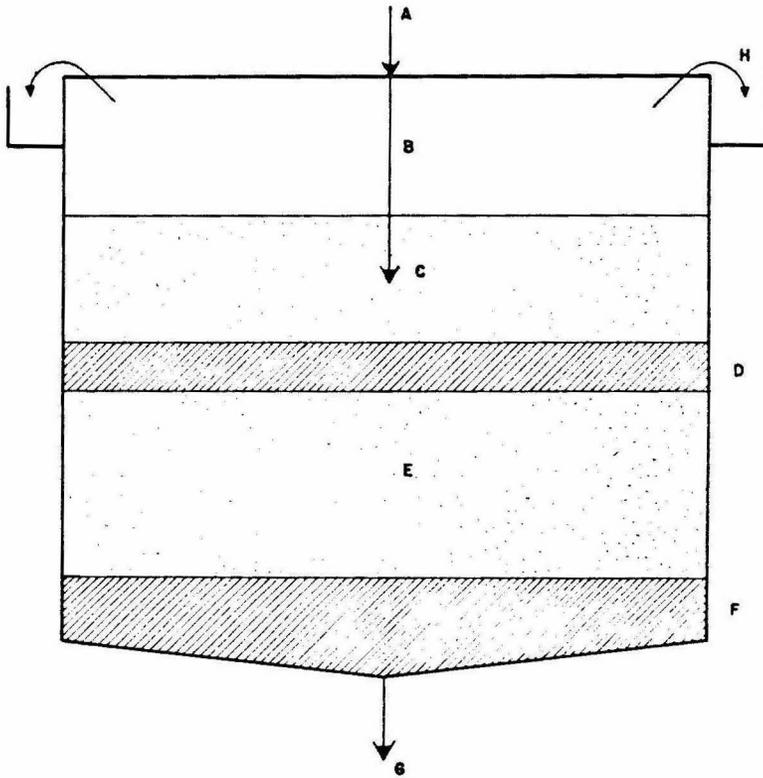


Fig.4.1 ZONA DE SEDIMENTACION EN ESPESADORES CONTINUOS

A - CARGA

B - LIQUIDO CLARO

C - ZONA DE CONCENTRACION UNIFORME

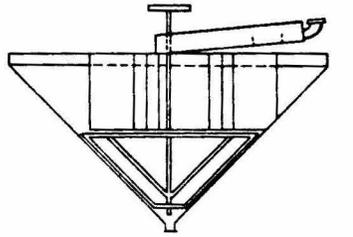
D - ZONA DE TRANSICION

E - ZONA DE CONCENTRACION VARIABLE

F - ZONA ESPESADA

G - SALIDA DE LODO ESPESADO

H - DERRAME DE LIQUIDO CLARO



Escala. 0 2 4 6 8 10 m.

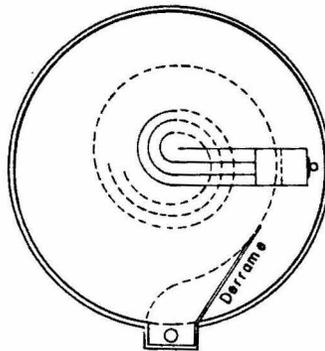


Fig. 4.2 SEDIMENTADOR CONICO.

hacerse por un grifo ordinario en la línea, cuando una capa muy gruesa de cachaza es obtenida, una válvula stop es abierta a intervalos por medio de una leva o por un eje que rota lentamente, el cual se prefiere como un medio para untar el bloqueo en el flujo continuo a través del grifo parcialmente cerrado. Para una operación satisfactoria, el juego deberá moverse sobre la superficie lo más uniformemente posible. Estos sedimentadores dan resultados satisfactorios, pero con el incremento de rapidez de trituración en los recientes años, han tenido que ser reemplazados enteramente por tipos pasos múltiples, los cuales dan mayor capacidad para el mismo espacio de terreno.

4.5. Clarificador Dorr:

Este es el tipo de sedimentador más reciente de pasos múltiples y fué introducido en Cuba en 1918. Es del tipo de alimentación central, con un movimiento a contracorriente del jugo y de la cachaza, esto es, el jugo es alimentado centralmente y se mueve radialmente hacia afuera, mientras que la cachaza se mueve radialmente hacia el centro por medio de raspadores adecuados o brazos que giran lentamente. Una cámara de alimentación está colocada en la parte superior en la cual la espuma es aislada para colectarla en la superficie, siendo la misma eliminada por un canal de espumas por raspadores rotatorios. En el clarificador original Dorr, la cachaza que queda en cada paso es descargada centralmente, y el jugo que lleva pasa al siguiente paso a través de una caída de cachaza. Esto envuelve un posible

riesgo de que la cachaza sea arrastrada por el jugo que entra al siguiente paso. Para evitar esto fué introducida una modificación en 1938, la cual consiste en una multialimentación. El multialimentador Dorr es ilustrado brevemente en la fig. 4.3., está provisto de un tubo central vertical, el cual gira y lleva los raspadores. Dicho tubo es dividido internamente en ductos separados para el jugo y la cachaza. Esto es, el jugo entra en cada compartimiento sin hacer ningún contacto con las cachazas, la cual entra en un canal de cachaza separado, en dirección lateral al fondo del compartimiento. El tanque de alimentación es calculado para el diámetro máximo de la unidad con objeto de proveerla de una cámara de floculación, En esta cámara el jugo es sujetado a una agitación muy lenta con objeto de acercar los flóculos a la coalescencia y construirlos. La capacidad de la cámara de floculación es diseñada para dar un tiempo apreciable antes de que el jugo pase al interior del compartimiento del sedimentador. Este tipo también está provisto del eliminador de espuma como en el caso anterior.

4.6. Sedimentador Rapidorr:

Fué introducido en 1955 y presenta una modificación posterior. Las consideraciones de las velocidades permisibles y las velocidades de asentamiento llevaron a la conclusión de que un espesamiento de cachaza para cada dos pasos de jugo es deseable. De aquí que el sedimentador Rapidorr es diseñado esencialmente como dos unidades separadas cada una de dos pasos, colocados uno arriba del otro y con un tanque de alimentación común, es decir,

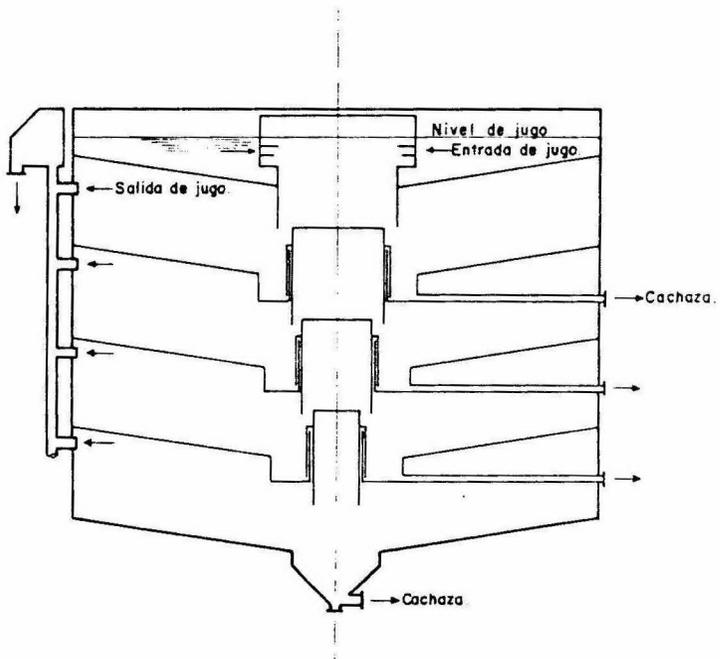


Fig. 4.3 "ATV" CLARIFICADOR DORR.

la cachaza del segundo paso es llevada afuera separadamente y no entra en el compartimiento inferior. El tanque de alimentación es ahora pequeño, - similar al Dorr original, así como la guía central es diseñada para proveer la capacidad de floculación adecuada.

4.7. Clarificador Dorr-Oliver:

Los últimos desarrollos en la Dorr-Oliver continúan en aumento para mejorar las técnicas en el clarificador de jugo de caña Rapidorr. El resultado de varios años de investigación y prueba, están en una nueva unidad. Básicamente el clarificador Rapidorr es una unidad de alta velocidad que permite un proceso de calentamiento más rápido, un jugo más claro con la - consecuente reducción de pérdidas. En las nuevas instalaciones se pueden manejar tonelajes equivalente y obtener resultados comparables con menos volúmen. En las instalaciones existentes, la capacidad de trabajo puede ser doblada con solamente un pequeño incremento de volúmen convirtiendo las a este nuevo diseño. Estos beneficios han sido completamente demostrados en numerosas instalaciones.

El clarificador de jugo de caña es una máquina de cuatro compartimientos con una cámara de alimentación de pequeño diámetro en la parte superior, teniendo el usual aparato de eliminación de espumas. Un orificio donde - está dando vueltas un tubo central, sujeto por soportes empotrados al tanque, distribuyendo la alimentación a varios compartimientos. Los brazos

con raspadores interiores, en forma de aletas de bronce están fijos también al tubo central. Como lo ilustra la fig. 4.4., este tubo está dividido verticalmente de tal manera que a la mitad el jugo crudo es introducido hacia los dos compartimientos de arriba y el remanente hacia los dos de abajo. - En cada punto de introducción hay un derrame de alimentación de gran diámetro para una alimentación uniforme y proveer espacio para la floculación.

La capacidad de cachaza manejada en el clarificador Rapidorr, es el doble porque el espesamiento tiene lugar en ambos compartimientos, en el segundo y el cuarto. Dos bombas separadoras son usadas para la salida de la cachaza. El jugo claro es sacado de los cuatro compartimientos y una caja de derrame especial asegura cuidadosamente la distribución del flujo por medio de medidores de flujo en los vertederos de jugo claro para cada compartimiento.

En el clarificador Rapidorr la relación de la altura del compartimiento al diámetro es ajustada para tener un balance entre las funciones esenciales y tener una buena clarificación. Entonces, con solamente un pequeño incremento en la altura total es posible incrementar la rapidéz de flujo de la alimentación y obtener la misma claridad en el derrame y la misma densidad en la cachaza. El resultado neto es un volúmen más pequeño para un tonelaje dado y correspondientemente un flujo de salida más rápido.

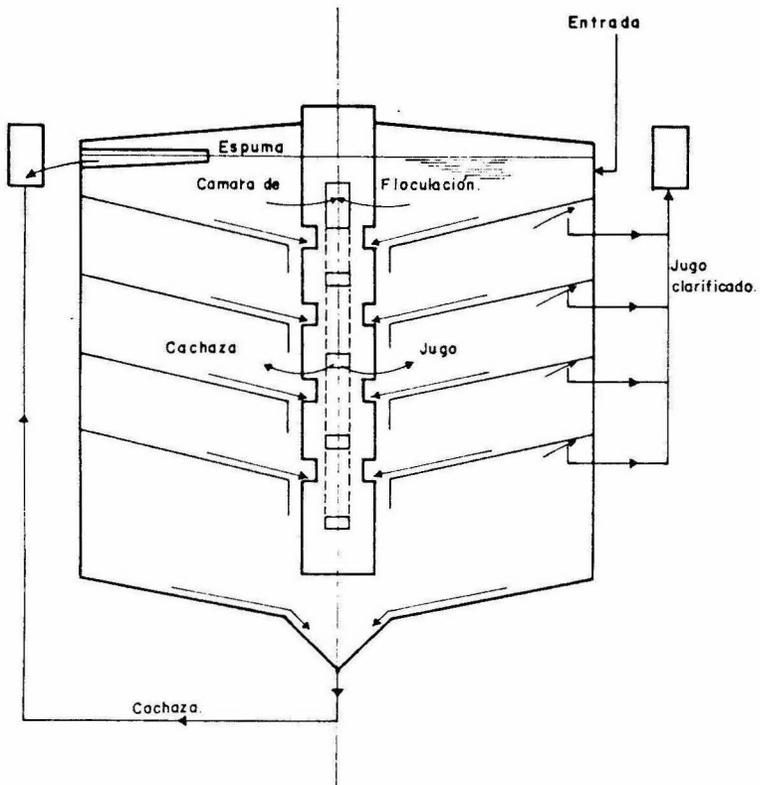


Fig. 4.4 CLARIFICADOR "MULTIPASOS" DORR.

El patrón de flujo del jugo y de la cachaza en el clarificador Rapidorr, es el mismo que el de los clarificadores de jugo de caña Dorr. El jugo es introducido en el centro y fluye hacia afuera con una velocidad decreciente y un incremento en la quietud. Las cachazas asentadas son movidas desde todos los puntos en el interior de los compartimientos y alrededor del centro para una mejor concentración.

Ventajas:

El clarificador Rapidorr es una unidad de alta velocidad que permite un proceso de calentamiento más rápido, un jugo claro con la consecuente reduc-ción de pérdidas.

El clarificador Rapidorr puede manejar tonelajes equivalentes y llevar a ca-bo resultados comparables con menos volumen. Por lo que el costo de insta-lación de una unidad es considerablemente reducido para algunas aplicaciones dadas.

El clarificador Rapidorr produce una cachaza de máxima densidad y el volú-men del filtrado de retorno es mínimo.

El clarificador Rapidorr ha sido completamente probado en grandes escalas de operación.

4.8. Rapido rr 444:

Descripción:

El nuevo rapidor 444 es usado para la clarificación del jugo crudo mezclado, en fábricas de azúcar crudo, sin embargo, como lo ilustra la fig. 4.5., está equipado con provisiones separadas en cada compartimiento para alimentación, derrame de salida y salida de cachaza, las cuales permiten que la nueva unidad opere como cuatro clarificadores totalmente independientes, encerrados en una cubierta común.

El nuevo Rapido rr 444 está mejorado en precio y en la eficiencia del proceso total previo a los modelos Rapido rr.

Los mejoramientos en el diseño; son los siguientes:

Una operación simple y eficiente. Solamente una caja de derrame extragrande para control. La tubería con diámetro grande incrementa la capacidad.

Tuberías de salida interna para cada compartimiento.

Provee una salida más uniforme del jugo y elimina las bolsas de estancamiento potenciales.

Separador en la salida de cachazas para cada compartimiento.

Sellos de cachazas aisladas en cada compartimiento, los cuales eliminan la introducción de cachazas al jugo claro en el siguiente compartimiento.

Tubería de venteo grande. Continuamente se ventean los gases atrapados, eliminando algún estancamiento del jugo en la tubería de venteo.

RAPIDORR 444

CLARIFICADOR DE JUGO DE CAÑA

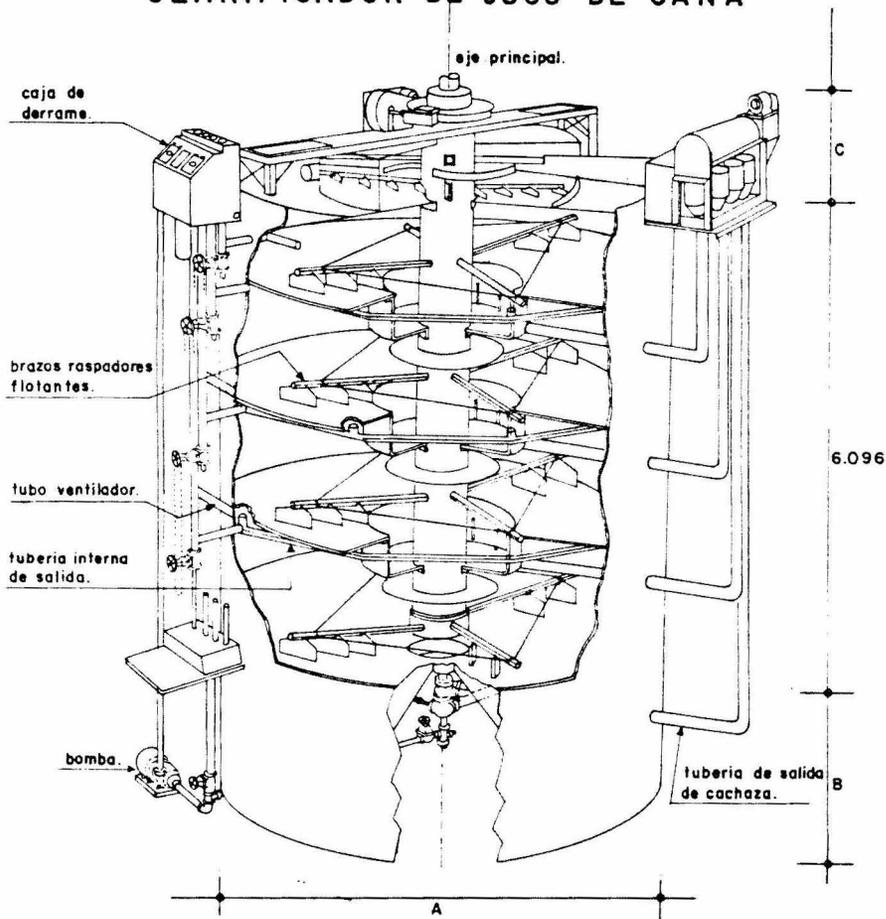


Fig. 4.5

CUADRO DE ESPECIFICACIONES :

| A mts. | B mts. | C mts. | Cap. litros | Fondo M ² | area de acem- tamiento de cachaza. | total de area por paso. |
|--------|--------|--------|-------------|----------------------|--|----------------------------|
| 3.048 | 2.159 | 1.524 | 45360 | 7.24 | 14.58 M ² | 29.17 M ² |
| 3.352 | 2.159 | 1.524 | 55188 | 8.82 | 17.65 " | 35.30 " |
| 3.656 | 2.184 | 1.524 | 65394 | 9.56 | 20.99 " | 41.99 " |

Aletas rastrillo flotantes:

Con articulaciones de bisagra. Permite variaciones en el contorno en el fondo del compartimiento.

Arreglos de alimentación individual para cada compartimiento. Alimentación a través del tubo central. Provee una distribución uniforme de alimentación.

Flujo del jugo y cachaza:

El patrón de flujo del jugo y la cachaza en el Rapidorr 444, es el mismo que en los modelos pequeños Rapidorr. El jugo es introducido en el centro de la parte superior de cada compartimiento a través de un hueco donde está dando vueltas un tubo central. Este tubo está fijo con una serie de soportes y tubos que sirven como puntos de introducción de alimentación. Localizados directamente entre cada soporte y fijos al tubo central, están los baffles de deflección de alimentación, los cuales aseguran una alimentación uniforme e impiden la tendencia natural de mezclarse el jugo entrante con las cachazas asentadas. También fijos al tubo central están varios brazos con aletas raspadoras.

Como la alimentación entra a cada compartimiento, primero se nivela el baffle de deflección, entonces fluye de afuera con un decremento en la velocidad creando un mínimo de turbulencia. Los brazos con raspadores que están dando vueltas, mueven la cachaza asentada a la descarga de cachaza -

localizada en el centro de cada compartimiento. La cachaza es entonces sacada de cada compartimiento separadamente. La tubería de derrame - elimina el jugo clarificado de cada compartimiento independientemente, a través de una caja de derrame simple donde la distribución del flujo es fácilmente mantenida y controlada en un punto.

La operación total es simple, eficiente y económica.

4.9. Alimentación Periférica. Flujo en Contracorriente:

Los más conocidos clarificadores de este tipo son los de Grover y Bach.

Se deduce que en un clarificador en que entra la alimentación a las charolas por la periferia, el jugo fuertemente cargado de flóculo entra al - - área de reposo en el punto de más baja velocidad. Mientras el jugo atraviesa la charola, la velocidad irá en aumento gradual hasta el punto de salida, pero la sedimentación seguirá efectuándose en tanto la velocidad esté debajo del punto crítico. El flóculo separado se mueve hacia afuera sobre las charolas (con pendiente descendiente hacia la periferia), en contracorriente al flujo que entra. Por lo tanto, hay una corriente continua de partículas que caen desde la orilla de las charolas y que debe ser atravesada por el alimento que entra.

4.10. Sedimentador Bach:

Este sedimentador es del tipo de flujo a contracorriente periférica como es

mostrado en la fig. 4.6. El jugo entra a través del espacio anular entre las charolas y la armadura del sedimentador y sale por un tubo cercano al centro en cada caso. El espacio superior entre la primera charola y el tope del clarificador es también usado para clarificación. No contiene cámara de floculación, y la remoción de espumas se efectúa en la cámara de sedimentación rápida. Esta está provista de una conexión ajustada de modo que haya un pequeño y constante sobreflujo que sirva para eliminar las espumas. La remoción externa de éstas, también es necesaria debido a que el compartimiento superior es de asentamiento. Esto se consigue por medio de la introducción de un sello formado por una capa de acrílico que flota en la superficie del jugo. Su propósito es aislar la superficie del jugo y eliminar las corrientes de convección. Así tiene lugar un asentamiento sin disturbios sobre la charola superior. El mecanismo de agitación hace actuar una válvula automática que inyecta vapor en el fondo del compartimiento de lodos, una vez por cada revolución. Se afirma que con esto se da salida a los gases que se pudieran acumular y se comprime el lodo en una masa más compacta. El lodo espeso es conducido hacia el fondo cónico a 45 grados, que tiene por único mecanismo unos raspadores de cadena. Tiene lugar un espesamiento cuando las partículas viajan en el cono hacia abajo, comprimiéndose a un volumen cada vez más pequeño. Debido a que el compartimiento superior se utiliza como cámara de asentamiento, no hay forma de introducir la alimentación de una manera tranquila por las orillas de la charola, según es la práctica acostumbrada. Esto se soluciona instalando cuatro cajas alimenta-

doras a 90 grados unas de las otras, dispuestas de tal modo que se obtenga desde los lados de las cajas una distribución lo más tranquila posible.

Algunos métodos diferentes de entrada y distribución del jugo han sido adoptados con el sedimentador Bach. Las últimas modificaciones australianas, usan el espacio de arriba de la charola de la parte superior como una cámara de floculación, sin salidas de jugo. Cualquiera cachaza pesada asentada en esta charola es llevada directamente al fondo del sedimentador por arterias de cachazas separadas alrededor de la periferia, mientras que las arterias de jugo entre las arterias de cachaza toman el jugo de la parte inferior y lo distribuyen entre las diversas charolas. Este es el arreglo mostrado en la Fig. 4.6., y parece ofrecer algunas ventajas sobre los diseños previos.

4.11. Clarificador Povel tipo Bach:

En el clarificador Povel Bach, se aprovechan las fuerzas y leyes naturales para dejar a la cachaza que fluya paulatina y espontáneamente por la periferia del aparato. La alimentación también se hace por la periferia hacia las charolas inclinadas, con el vértice hacia arriba, por lo que, tanto alimentación como separación de cachazas, se hace en la zona de más baja velocidad sin rebotamientos, en corto tiempo y definitivamente en tiempos de 20 a 40 minutos, por lo que, a los 60 minutos que se dan como margen de seguridad, la decantación es total, siendo las pérdidas por inversión mucho menores, no hay arrastre de sólidos ni formación de color, por lo que el —

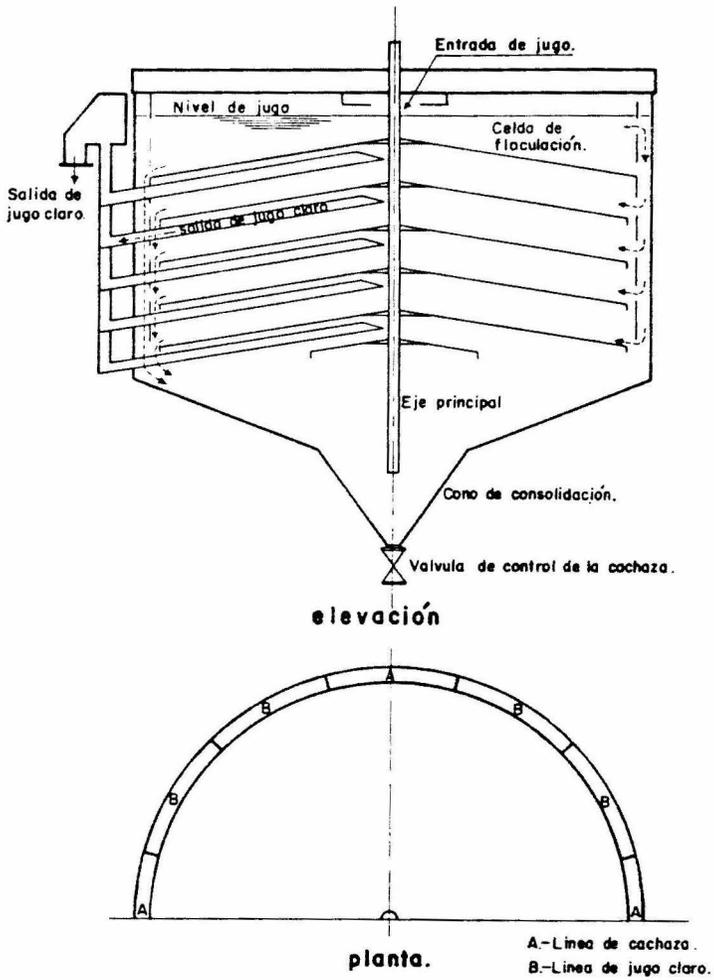


Fig. 4.6 SEDIMENTADOR BACH.

color y las cenizas en el producto final son bajos. En la periferia la cachaza va cayendo lenta y normalmente en forma de una cortina filtrante. Como la periferia da por su desarrollo geométrico una gran área, la alimentación resulta muy lenta sin ocasionar rebotamientos.

Como ya se mencionó anteriormente, la cachaza fluye por la periferia y por tanto, no se requiere de ningún retén ni sello que se desgaste o funcione mal con el tiempo. En el clarificador Povel Bach actúa libremente la acción de la gravedad y en vez de oponerse a ella se aprovecha para formar la cortina filtrante con la propia cachaza, es decir; grumos más o menos grandes de la cachaza primeramente formada más pesada, se encargan de englobar grumos pequeños de los lodos más finos. Todo esto a la más baja velocidad. En este caso no hay la más mínima retención ni peligro de que las cachazas de un compartimento contaminen el jugo de otro, ya que las cachazas por la ley de la gravedad, no van a subir por las charolas inclinadas hacia arriba, si no que bajarán.

El clarificador Povel Bach, tiene un compartimento de preclarificación por medio del cual se obtiene un jugo preclarificado que pasa por las celdas perimetrales de las charolas, en las que se procesa dicho preclarificado, obteniéndose así un jugo de alta calidad, pues la cachaza fluye libremente por las celdas periféricas hacia el fondo del clarificador en forma de un cono doble especial donde esta cachaza va llegando por capas y la cachaza nueva

queda arriba en cambio la vieja está a punto de salir por el cono, por la succión de las bombas. Así que el riesgo de fermentación queda reducido y la cachaza sale bien compacta por la acción de la presión hidrostática.

En los otros tipos de clarificadores se observa una caída del p^H , lo que favorece las inversiones de sacarosa, y entre más avance la acidificación, más desprendimientos de gases y rebotamiento. Si a este jugo se le calentase fuertemente y se le inyectara vapor para producir el desprendimiento del CO_2 de las fermentaciones, se reduciría la acidez y se estabilizaría el p^H , reduciendo el peligro de las inversiones, tal cosa no es posible llevarla a cabo en clarificadores que están diseñados contra las leyes naturales. Al clarificador Povel Bach, sí se le puede inyectar vapor en la zona del fondo del cono, con lo que se desprende CO_2 y se eleva la temperatura, restringiendo la fermentación que pudiera iniciarse. Los gases ascienden por el centro sin formar bolsas, pues en el centro va la flecha del movimiento sin sellos ni retenes. En el centro de cada charola se dispone de una doble campana para retener los pocos sólidos y orientar los gases a su libre salida.

La toma de jugos está al centro donde no hay estancamiento y la temperatura es alta y uniforme pues el jugo claro está rodeado de jugo caliente, evitándose así, que cuando hay acumulación de gases, exista rebotamiento.

Por el diseño, los jugos al entrar en las charolas se cruzan a contracorriente con la cachaza, originando que el bagazo liviano se arrastre hacia abajo - con la caída propia de la cachaza. Esta función permite obtener jugos más claros. Este aparato está dotado de un tanque regulador que alimenta al clarificador. Este tanque desempeña varias funciones:

- a) Funciona como tanque flash, al permitir que el guarapo caliente, a presión y temperatura más allá del punto de ebullición, se equilibre con la presión atmosférica, por lo que desprende vapores que se liberan en este tanque.
- b) El tanque tiene una mampara para resbalar el jugo y no golpearlo, con lo que retiene la máxima cantidad de gas SO_2 , que de otra manera, cuando se golpea se desprende. La retención del gas SO_2 cuando se sulfitan los jugos, es benéfica, con la alcalización y la temperatura adecuada se formarán buenos grumos de cachaza dentro del clarificador y los claros saldrán más bajos de color.
- c) El tanque mencionado tiene un tubo telescópico para regular la salida de espumas que no deben pasar al clarificador.
- d) La alimentación del tanque al clarificador se hace por sifón, tomando jugos libres de espumas.

4.12. Sedimentador Graver:

El compartimiento superior del Graver está diseñado como una cámara de floculación o de reposo. El jugo tratado y caliente se introduce por el centro y fluye hacia la periferia, de donde baja a las cámaras de asentamiento por el espacio anular situado entre las charolas y el casco del tanque.

El clarificador Graver es generalmente similar al Bach como puede observarse, pero con la ventaja adicional de que cada charola está provista de un bordo instalado en tal forma, que limita la entrada a cada compartimiento. Una característica peculiar es el dispositivo para filtración de los lodos. El propósito de estos bordes es para retener la capa de cachaza a través de la cual el jugo que entra tiene que atravesarla. Como la velocidad de este jugo es muy lenta, este es obligado a que no arrastre partículas de cachaza, las cuales no son eliminadas, si no por el contrario, la capa de cachaza atrapa las partículas finas de materia en el jugo que entra. El principio es seguido con la idea de inducir una filtración hacia arriba a través del colchón de lodos. Este procedimiento se conoce como "filtración a través de lodos", y nos da una claridad superior en el jugo clarificado como resultado.

4.13. Alimentación Central. Flujo en Corriente Paralela:

Uno de los pocos ejemplos de este tipo es el diseño de Suárez Carréns , -

mencionado por González Maíz. No se dan otros detalles, excepto que el jugo tratado entra por el centro de los compartimientos de asentamiento, y que el jugo claro y los lodos son sacados por la periferia.

4.14 Alimentación Periférica. Flujo en Corrientes Paralelas:

La diferencia entre este tipo y el tipo de alimentación periférica de flujo en contracorrientes, es que mientras el flóculo se sedimenta a partir del jugo tratado que entra, tanto el lodo como el jugo clarificado se mueven juntos hacia la salida; o sea, que el material en suspensión, una vez que se separa por sedimentación, no se pone en contacto con la contracorriente de alimentación que entra al aparato. Si las velocidades de los materiales que fluyen por encima de las charolas se mantienen a niveles que estén por debajo de su valor crítico, entonces hay muy poca oportunidad de que los flóculos separados sean arrastrados por el jugo clarificado que va saliendo del clarificador. Pero debido a que la dirección del flujo es de la periferia al centro, las velocidades se incrementan constantemente hacia la salida y el lodo tiene que pasar a través de zonas de velocidad cada vez mayor.

El clarificador de Ibañez, que aparece más tarde, parece ser de este tipo. Los compartimientos se alimentan desde la periferia, ya sea de cajas de alimentación externas o internas, del mismo modo que en el clarificador de Bach. El lodo se extrae del centro de cada compartimiento por medio de canales individuales. En algunos de los aparatos de mayor

tamaño han sido instaladas dos salidas de jugo, una en el centro y otra en la periferia.

4.15. Flujo Directo Ininterrumpido:

Los clarificadores de este diseño, generalmente tienen una forma rectangular, la alimentación entra por un extremo y la salida está situada en el otro lado. Para la industria del azúcar crudo fue patentado en 1936 el prestigiado clarificador de Fortier, que combina la flotación parcial con la sedimentación.

En los clarificadores de flujo directo ininterrumpido, la velocidad de flujo es la misma de un extremo al otro cuando el tanque es de forma rectangular. No hay zonas de alta o baja velocidad. Habiéndose tenido en cuenta en el diseño que no se produjeran velocidades fuera de la velocidad crítica, no hay oportunidad de que el flóculo vuelva a quedar en suspensión una vez que se ha separado.

4.16. Clarificador de Fortier:

El clarificador de Fortier es solamente una unidad arreglada para un flujo transversal de jugo y cachaza con un tanque de sección rectangular. Contiene una serie de charolas superpuestas con un declive muy pronunciado. Es difícil diseñar rasquetas mecánicas para estas charolas, de ahí que el declive se disponga lo suficientemente pronunciado, para que el material separado rueda hacia los lados, siendo enviado así al compartimiento de lodos

situado en el fondo. Un aditamento peculiar es la caja de alimentación, controlada termostáticamente, donde el jugo que entra se mantiene en el punto de ebullición o cercanamente debajo de él. Un mecanismo helicoidal separa los flóculos que tienden a flotar en la superficie de la caja de alimentación calentada. Es quizá el único clarificador en el que se provee un método tan positivo para inducir la flotación y para separar las espumas. El compartimiento de lodos situado en el fondo, según su sección transversal, es semicircular y está provisto de un mecanismo espesador especialmente diseñado.

CAPITULO 5

CAPITULO 5

D A T O S :

De los ingenios visitados se obtuvieron los siguientes datos:

5.1. Ingenio Bellavista:

Localizado en Acatlán de Juárez Jalisco, perteneciente a O.N.I.S.A.

Capacidad de molienda: 2200 toneladas de caña en 24 hrs.

Variedades de caña utilizadas: Variedades en propagación; - - -
NCO-310 en un 15%, MEX 54-81
en un 7%, L60-14 en un 3%.

Variedades Comerciales anteriores; -
MEX-53-142 en un 60%, CO-290
en un 15%.

Departamento de clarificación:

El guarapo sulfitado pasa a tres alcalizadores, uno con agitación mecánica y dos con agitación por aire, cada uno con capacidad de 8091 litros. El control de alcalización es manual. Tres calentadores para guarapo de 120.77 m². (1300 pies².) de superficie de calefacción cada uno. La clarificación del guarapo se hace en tres clarificadores continuos cuyas

especificaciones son las siguientes:

- No. 1.- TIPO DORR
- | | |
|----------------------------|------------------------------|
| Diámetro: | 3.66 m. (12 pies) |
| Altura: | 3.81 m. (12 pies 6 pulgadas) |
| Capacidad: | 48 000 L. |
| Número de Compartimientos: | 5 |
- No. 2.- TIPO RAPI-DORR
- | | |
|----------------------------|--------------------|
| Diámetro: | 6.096 m. (20 pies) |
| Altura: | 6.096 m. (20 pies) |
| Capacidad: | 215 000 L. |
| Número de Compartimientos: | 5 |
- No. 3.- TIPO POVEL BACH
- | | |
|----------------------------|---------------------|
| Diámetro: | 6.7056 m. (22 pies) |
| Capacidad: | 150 000 L. |
| Número de Compartimientos: | 7 |

Para la filtración de la cachaza hay un filtro marca "Eimco " de 2.44 x 4.88 metros (8 x 16 pies).

La eficiencia del departamento de clarificación, tomando en cuenta la pureza del jugo mezclado que entra a dicho departamento, y la pureza

del jugo clarificado es:

$$\text{Eficiencia:} = \frac{80.54}{81.24} = 98.60\%$$

con respecto a 486.047 toneladas de azúcar estandar producido.

5.2. Ingenio El Carmen:

Localizado en Ixtaczoquitlán Veracruz, perteneciente a la iniciativa privada:

Capacidad de molienda: 3,500 toneladas de caña en 24 hrs.

Variedades de caña utilizadas: CO 421, en 82.85%, MEX 57-683 en 7.95%, H 37-1933 en 4.36% POJ28,78 en 0.99%.

Departamento de Clarificación:

Un sulfitador de chorro con capacidad de 53 L. por seg. (850 G.P.M.), básculas automáticas, alcalización continua y automática. Tres calentadores para guarapo de 164.25 m². (1,768 pies cuadrados) de superficie de calefacción cada uno. Un calentador con 122 m². (1,311 pies cuadrados), de superficie de calefacción. Un clarificador tipo flujo paralelo construido en el ingenio de 8 m. (26 pies) de diámetro, y 7.31 m. (24 pies) de altura con capacidad de 389,500 L. Un clarificador de 6.096 m., (20 pies) de diámetro, 4.572 m., (15 pies) de altura, con una capacidad de 132,890 L., con cuatro charolas de decantación, construido en el ingenio. Dos filtros para cachaza marca "Eimco" de - -

2.44 x 4.876 m., (8 x 16 pies) y dos cachaceras con barbotadores de vapor, con capacidad de 20,000 litros cada una.

La eficiencia del departamento de clarificación, tomando en cuenta la pureza del jugo mezclado que entra a dicho departamento y la pureza del jugo clarificado es:

$$\text{Eficiencia:} = \frac{84.30}{86.80} = 97.10\%$$

Con respecto a 2,052,019 toneladas de azúcar refinada producidas.

5.3. Ingenio Emiliano Zapata:

Localizado en Zacatepec Morelos, perteneciente a O.N.I.S.A.

Capacidad de molienda: 6,000 toneladas de caña en 24 hrs.

Variedades de caña utilizadas: Se cultivan general y preferentemente; La C.P. 29-203 en 31.22%, la C.o. - 290 en 30.53%, la Z-MEX-55-32 en 27.09%, la C.o. - 449 en 4.71%, la Z-MEX-52-17 en 5.41%, y diversas variedades en la zona cañera en un 0.87%, así como diferentes variedades en el Campo Experimental "La Victoria", 0.13%.

INGENIO Bellavista
Acahuah de Jucuar, Jal.

INFORME OFICIAL DEL CUERPO

SECRETARIA DE INGENIERIA Y CONSTRUCCION
ESTADO DE GUERRERO
CALLE DE LA INDEPENDENCIA No. 100
C. P. 91000, Acapulco, Guerrero, Gto.
15 de Mayo de 1972

SECRETARIA DE INGENIERIA Y CONSTRUCCION
ESTADO DE GUERRERO
CALLE DE LA INDEPENDENCIA No. 100
C. P. 91000, Acapulco, Guerrero, Gto.
15 de Mayo de 1972

| DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
|----------------|--------|----------|----------------|-------------|----------------|-------------|----------------|-------------|
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| TOTAL | | | | ... | ... | ... | ... | ... |
| RESUMEN | | | | ... | ... | ... | ... | ... |
| ANEXOS | | | | ... | ... | ... | ... | ... |

Elaborado en el Ing. Bellavista
Acahuah de Jucuar, Jalisco
15 de Mayo de 1972

Ing. Bellavista
Acahuah de Jucuar, Jalisco

Departamento de Clarificación:

Dos básculas para pesar guarapo, marca Fairbaks-Morse, con capacidad de 12 000 toneladas cada una. Dos tanques para alcalización con agitadores marca Turbo-Mixer. Doce calentadores para guarapo, de los cuales 7 tienen una capacidad de 60.385 m^2 (650 pies cuadrados) de superficie de calefacción cada uno y dos de 130.06 m^2 (1 400 pies cuadrados) de superficie de calefacción cada uno. Los dos últimos calentadores se usan para precalentar el jugo clarificado antes de entrar a los evaporadores. Cuentan con cuatro clarificadores:

| | | |
|---------------|--------------------------------------|---------------------|
| Nos. 1 y 2 | TIPO RAPI-DORR | |
| | Diámetro: | 6.70 m. (22 pies) |
| No. 3.- | TIPO GRAVER DE ALIMENTACION MULTIPLE | |
| | Diámetro | 7.315 m. (24 pies) |
| | Altura | 5.4864 m. (18 pies) |
| | Número de Compartimientos | 4 |
| No. 4.- | MARCA "DIAZCO " | |
| | Diámetro | 9.144 m. (30 pies) |

Para la filtración de la cachaza se tienen dos filtros marca "Eimco", y dos marca "Oliver", de los dos primeros uno es de $2.438 \times 3.6576 \text{ m.}$ (8 x 12 pies), y el otro de $2.438 \times 3.048 \text{ m.}$ (8 x 10 pies), los dos

últimos son de 2.438 x 2.743 m. (8 x 9 pies), cada uno.

La eficiencia del departamento de clarificación, tomando en cuenta la pureza del jugo mezclado que entra a dicho departamento y la pureza del jugo clarificado es:

$$\text{Eficiencia} = \frac{79.86}{82.99} = 95.9\%$$

con respecto a 4,241.549 toneladas de azúcar refinado producidas.

5.4. Ingenio El Potrero:

Localizado en Atoyac Veracruz, perteneciente a la iniciativa privada.

Capacidad de molienda: 12 500 toneladas de caña en 24 hrs.

Variedades de caña utilizadas: Las variedades comerciales en cultivo, consideradas en orden de importancia son: H-37-1933, en 44.05%; B-43-62, en 24.16%, POJ-28-78; en 16.06%; CP-44-101, en 9.67%; CO-290, en 4.04%; otras: 2.02%. Dentro de las variedades en propagación se tienen las siguientes: MEX-55-250; MEX-58-440; MEX-58-442, MEX-61-446, MEX-60-471 y MEX-59-428. Hay la tendencia de incre

mentar el cultivo de las variedades H-37-1933 y B-43-62, en substitución de las variedades CO-290 y CP-44-101. Así mismo se tiene una serie de variedades en experimentación y observación.

Departamento de Clarificación:

El guarapo se mide por medio de dos fluidómetros gravimétricos, marca Fisher and Porter de 327 toneladas por hora cada uno. Se alcaliza en dos tanques con sistemas de agitación Lightning accionados por motores Allis-Chalmers de 15 HP y 1750 R.P.M., por medio de un controlador y registrador automático de pH, marca Beckman. Tres calentadores de guarapo primario con superficie calórica de 334.44 m^2 . (3 600 pies cuadrados) cada uno. Un calentador primario con superficie calórica de 371.6 m^2 . (4 000 pies cuadrados). Tres calentadores de guarapo secundario con superficie calórica de 111.48 m^2 . (1 200 pies cuadrados) cada uno. Un calentador de guarapo secundario con superficie calórica de 120.77 m^2 . (1 300 pies cuadrados). La clarificación se efectúa en seis clarificadores continuos de las siguientes características.

- No. 1.- TIPO D- DOOR
- Diámetro: 5.4864 m. (18 pies)
- Altura: 4.8768 m. (16 pies)
- Capacidad: 122 200 L.
- Número de Compartimientos: 5
- Area de espesamiento de cachaza: 118.08 m². (1 271 pies cuadrados)
-
- No. 2.- TIPO DOOR
- Diámetro: 5.4864 m. (18 pies)
- Altura: 5.1816 m. (17 pies)
- Capacidad: 133 136 L.
- Número de Compartimientos: 5
- Area de espesamiento de cachaza: 118.08 m². (1 271 pies cuadrados)
-
- No. 3.- TIPO DOOR
- Diámetro: 5.4864 m. (18 pies)
- Altura: 5.6388 m. (18.5 pies)
- Capacidad: 139 242 L.
- Número de Compartimientos: 5
- Area de espesamiento de cachaza: 141.02 m². (1 518 pies cuadrados)

- No. 4.- TIPO RAPI-DOOR
- Diámetro: 6.7056 m. (22 pies)
- Altura: 6.096 m. (20 pies)
- Capacidad: 220 665 L.
- Número de Compartimientos: 4
- Area de espesamiento de cachaza: 141.02 m². (1 518 pies cuadrados)
-
- No. 5.- TIPO RAPI-DOOR
- Diámetro: 10.97 m. (36 pies)
- Altura: 6.096 m. (20 pies)
- Capacidad: 589 680 L.
- Número de Compartimientos: 4
- Area de espesamiento de cachaza: 188.95 m². (2 034 pies cuadrados)
-
- No. 6.- TIPO RAPI-DOOR - OLIVER 444
- Diámetro: 10.973 m. (36 pies)
- Altura: 5.4864 m. (18 pies)
- Capacidad: 543 404 L.
- Número de Compartimientos: 4

El jugo que sale de los clarificadores pasa a cuatro coladores rotativos marca Carter, con capacidad de 10,000 toneladas de caña en 24 horas. Seis filtros rotatorios, para cachaza, cinco marca Oliver-Campbell, con superficie de filtración de 27.87 m². (300 pies cuadrados) dos de ellos, uno con 13.935 m². (150 pies cuadrados), y dos de 46.45 m². (500 pies cuadrados) cada uno; y un filtro marca Eimco con filtración del tipo Oliver, con superficie de 37.16 m². (400 pies cuadrados).

La eficiencia del departamento de clarificación, tomando en cuenta la pureza del jugo mezclado que entra a dicho departamento, y la pureza del jugo clarificado es:

$$\text{Eficiencia} = \frac{81.69}{83.10} = 97.80\%$$

Con respecto a 8 078.250 toneladas de azúcar refinado y 228.000 toneladas de azúcar moscabado.

SECRETARIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO
SECRETARIA DE HACIENDA Y CREDITO PUBLICO
M. JUNTA TECNICA CALIFICADORA DE ALCOHOLES

Domingo 30 de Abril de 1972 - Domingo 14 de Mayo de 1972 inclusive

| DATOS DE MOLIENDA | TANDEM "A" | | TANDEM "B" | | TOTAL | | Datos Analiticos | PH | SACAROSA | | PUREZA per Gravedad | CENIZAS | AZUC. Redts. % | AZUC. Reduc. % de Sac. | CMS. Claridad KOPKE | |
|--|------------|------------|------------|-------------|------------|---------------|---------------------|-----|----------|---------|---------------------|---------|----------------|------------------------|---------------------|------------|
| | Corrida | A la fecha | Corrida | A la fecha | Corrida | A la fecha | | | Aparente | Clerget | | | | | | |
| Numero de dias de zafra | 9 | 122 | 12 | 128 | 12 | 128 | LUGO DESMENZADORA | | 18.33 | 16.18 | 87.70 | | | | | |
| Numero de horas y minutos de molienda | 92:35 | 1,922:15 | 140:00 | 2,372:23 | 231:35 | 4,284:40 | LUGO ABSOLUTO | | 18.25 | 15.44 | 82.25 | | | | | |
| Numero de horas y minutos perdidos | 68:25 | 1,007:45 | 140:00 | 687:35 | 208:25 | 1,695:00 | LUGO MEZCLADO | 5.3 | 18.75 | 15.42 | 82.24 | | 1.445 | 10.69 | | |
| Numero de horas y minutos de zafra | 260:00 | 2,920:00 | 280:00 | 3,050:00 | 440:00 | 5,980:00 | LUGO RESIDUAL | 5.3 | 16.25 | 13.41 | 82.68 | | 1.234 | 8.46 | | |
| Tempo perdido % del tiempo total | 42.76 | 34.51 | 50.00 | 22.47 | 47.37 | 28.33 | LUGO ALCALIZADO | | 4.40 | 3.36 | 73.00 | | | | | |
| Toneladas de caña molido | 14,915.476 | 10,448.524 | 41,314.254 | 599,446.519 | 56,221.738 | 1,250,293.043 | LUGO CLARIFICADO | 6.8 | 16.27 | 13.32 | 83.10 | | 1.290 | 9.54 | 2.08 | |
| Toneladas de caña molido por dia de zafra | 2,130.783 | 2,710.234 | 3,443.021 | 5,465.988 | 4,685.978 | 8,089.188 | MELADURA | 6.9 | 16.50 | 13.22 | 84.55 | | 1.010 | 7.24 | 2.04 | |
| Toneladas de caña quemada molido | 162.862 | 172.911 | 295.114 | 284.908 | 350.444 | 377.013 | MASA COCIDA FINAL | 6.6 | 61.95 | 52.16 | 84.20 | | 4.604 | 8.83 | | |
| Cafe quemado molido % del total molido | | | | | 69,321.898 | 22,285.474 | MIEL FINAL | | 97.20 | 61.87 | 43.43 | | 4.043 | 7.52 | | |
| Eficiencia % de la molienda optima | | | | | 87,394 | 20,400 | AZUCAR FUNDIDO | 6.0 | 66.75 | 54.27 | 56.44 | 11.84 | 25.88 | 84.69 | 36.34 | AZ RED TOT |
| Toneladas de jugo mezclado | 24,999.000 | 28,354.000 | 34,941.000 | 650,076.000 | 46,860 | 80.51 | LICOR JACOBS | 7.2 | 64.4 | 61.01 | 0.101 | | 0.121 | 25 | 52.9 | |
| Toneladas de sacarosa en jugo mezclado | 1,891.197 | 41,982.292 | 5,129.110 | 88,943.802 | 7,020.307 | 130,928.097 | LICOR SWEETLAND | 7.1 | 61.63 | 61.09 | 0.099 | | 0.108 | 8 | 107 | |
| Imbibicion % de caña | 31.98 | 27.20 | 21.07 | 20.29 | 23.94 | 23.94 | LICOR REFINADO | 7.3 | 68.37 | 64.28 | 0.082 | | 0.093 | | 34 | |
| Dilucion % de caña | 21.22 | 17.24 | 9.97 | 10.48 | 12.95 | 12.78 | ULTIMA DESCARGA REF | 7.5 | 64.88 | 64.88 | 0.082 | | 0.102 | | 70 | |
| Extraccion del molino coeficiente | 42.89 | 44.49 | 44.87 | 41.51 | 44.83 | 41.18 | LARAF DE A CRUDO | | 94.81 | 94.81 | 94.77 | | 94.77 | | 46 | |
| Extraccion del molino jugo mezclado % | 100.56 | 98.70 | 89.42 | 92.91 | 92.36 | 94.77 | | | | | | | | | | |
| Extraccion del molino jugo absoluto % | 79.34 | 81.46 | 79.44 | 82.24 | 79.41 | 82.99 | | | | | | | | | | |
| Extraccion del molino Sac. % de Sac en caña | 95.44 | 94.60 | 95.47 | 94.72 | 95.52 | 94.58 | | | | | | | | | | |
| Extraccion del molino a 12.5% de Fib en caña | 94.78 | 95.00 | 94.52 | 94.83 | 94.79 | 94.88 | | | | | | | | | | |
| Jugo sin diluir en bagazo % de fibra | 38.29 | 38.29 | 41.13 | 38.97 | 40.58 | 38.97 | | | | | | | | | | |
| Jugo absoluto en bagazo % de fibra | 39.33 | 38.44 | 41.36 | 39.60 | 40.75 | 39.84 | | | | | | | | | | |
| Velocidad tangencial de molinos nts. min | 15.43 | 15.54 | 21.09 | 19.31 | 19.84 | 19.84 | | | | | | | | | | |
| Velocidad de la turbina No. 1 R.P.M | 3,000 | 3,274 | 3,447 | 3,389 | 3,460 | 3,460 | | | | | | | | | | |
| Bagazo % Caña | 51.42 | 28.49 | 31.46 | 27.37 | 27.73 | 27.73 | | | | | | | | | | |
| Bagazo fibra % | 47.20 | 46.91 | 45.95 | 46.48 | 46.48 | 46.48 | | | | | | | | | | |
| Humedad % | 49.13 | 49.47 | 49.48 | 50.08 | 50.09 | 49.75 | | | | | | | | | | |
| Solidos % | 3.45 | 3.48 | 3.43 | 3.44 | 3.43 | 3.43 | | | | | | | | | | |
| Sacarosa % | 2.74 | 2.55 | 2.75 | 2.59 | 2.74 | 2.57 | | | | | | | | | | |
| Sacarosa % de fibra | 5.82 | 5.44 | 5.95 | 5.57 | 5.95 | 5.52 | | | | | | | | | | |
| Fibra fibra % | 14.43 | 13.57 | 14.38 | 12.78 | 14.82 | 12.25 | | | | | | | | | | |
| Sacarina % | 13.54 | 13.42 | 13.88 | 13.42 | 13.25 | 13.42 | | | | | | | | | | |

| Datos de Producción | Corrida | A la fecha | CONSUMOS | Corrida | A la fecha |
|---|-----------|-------------|---|-----------|------------|
| Sacarosa Retenida % Sacarosa Jugo Mezclado | 86.299 | 90.511 | Lit. Petroleo | 154,000 | 454,000 |
| Winter y Carp | 91.034 | 91.681 | Lit. Ferrolito Destilera | 211,310 | 1,714,416 |
| Eficiencia de la Casa de Cocimientos | 94.947 | 98.788 | Lit. Petroleo Fabrica Azucar | 218,899 | 7,777,793 |
| Azucar producida y estimada % de Caña | 21.028 | 11.568 | Lit. Petroleo Total Consumo | 1,714,389 | 9,302,809 |
| Tons de Caña por Ton de Azucar Prod y Est | 9.078 | 8.494 | Lit. Petroleo Fib de Azuc por Ton de Caña | 22.78 | 7.34 |
| Sacarosa Total Perdida % de Caña | 2.988 | 1.980 | Lit. Petroleo Fib de Azuc por Ton de Azuc | 86.900 | 46.269 |
| Tons de Azucar Producido REFINADO | 8,078,350 | 117,043,600 | Miliones B.T.Us por Ton de Azucar Prod. | 23.88 | 24.98 |
| Tons de Azucar Producido Mascabado | 288,000 | 212,000 | Lit. Diesel en Horno de Carbon | 28,708 | 286,418 |
| Tons de Azucar Producido por Dia de Zafra | 689,399 | 926,321 | Lit. Diesel por Ton de Azuc Ref | 3.473 | 2.442 |
| Tons de Miel Final a 85 Bx Fabrica | 3,195,008 | 39,171,000 | Kgs Carbon | 1,988 | 21,811 |
| Tons de Miel Final a 85 Bx Producidas (S) | 3,082,460 | 47,964,939 | Kgs Carbon por Ton de Azucar Ref | 0.784 | 0.784 |
| Tons de Miel Final a 85 Bx Vendidas | 2,346,570 | 21,526,980 | Kgs Acido Fosforico al 75.0 | 3.153 | 39,477 |
| Tons de Miel Final a 85 Bx Industrializadas | 1,039,930 | 1,844,178 | Kgs Acido Fosforico por Ton de Azuc Ref | 0.398 | 0.336 |
| Tons de Miel Final a 85 Bx En Existencia (A) | 147,344 | 9,691,886 | Kgs Tierra Imbrucada | 6,200 | 28,084 |
| Kgs de Miel Fin Prod y Est a 85 Bx por Ton de Caña | 90.773 | 42.143 | Kgs Tierra Fin por Ton de Azuc Ref | 0.749 | 0.778 |
| Kgs de Miel Fin Prod y Est a 85 Bx por Ton Azucar | 486,269 | 364,777 | Kgs Cal | 60,229 | 67,028 |
| Kgs de Miel Fin Prod y Est a 8x Fab por Ton de Caña | 45,988 | 38,421 | Kgs Cal por Ton de Caña | 1.071 | 0.846 |
| Kgs de Miel Fin Prod y Est a 8x Fab por Ton Azucar | 417,979 | 346,024 | Kgs Sosa Caustica en Fab Azucar | 27,800 | 27,800 |
| Lit de Alcohol Produccion de 96 GL 15 C | 206,440 | 419,530 | Kgs Acido Muratico | 5,147 | 65,027 |
| Lit de Alcohol Produccion por Ton de M. Fin a 85 Bx | 259.89 | 287.85 | Kgs Ceniza de Sosa | 2,230 | 28,150 |
| Tons. Azucar de Miel Final 70/71 | 37,000 | 37,000 | Kgs Clarificante | 45 | 45 |
| Tons. de Azucar Refinado Producido Total (S) | 8,271,350 | 117,278,300 | Trat. Agua Kgs Sosa Caustica | 1,200 | 6,400 |
| Tons. Mascabado a 85 Bx. Destilados (S) | 1,788,947 | 1,788,947 | Kgs Acido Muratico | 300 | 300 |
| Lit. Aguardiente a 55 G.L./150L. Producidos | 1,261,778 | 1,261,778 | Kgs Organico | 140 | 140 |
| Tons. Miel Final a 85 Bx. Destilados | 385,858 | 385,858 | Kgs Zolitas | | |
| Tons. Miel Final a 85 Bx. Destilados | 1,008,788 | 1,428,070 | Residuos de Cañon | 4,657 | 14,589 |

| BALANCE DE SACAROSA | | TONELADAS | | | | % Sac en Jugo Mezclado | | | | % SACAROSA EN CARA | | | | % DE CAÑA | | | |
|----------------------------|---------------|-----------|-------------|---------|------------|------------------------|------------|---------|------------|--------------------|------------|---------|------------|-----------|------------|--|--|
| En Proceso | En Existencia | Corrida | A LA FECHA | Corrida | A LA FECHA | Corrida | A LA FECHA | Corrida | A LA FECHA | Corrida | A LA FECHA | Corrida | A LA FECHA | Corrida | A LA FECHA | | |
| En Proceso | 83,443 | 498,779 | 7,257,843 | 21,257 | 9,004 | 10,527 | 8,523 | 1,405 | 1,144 | 0.028 | 0.022 | 0.000 | 0.000 | 2,112 | 1,920 | | |
| Purasa Promedio en Proceso | 69.27 | 15,974 | 309,417 | 0.228 | 0.251 | 0.213 | 0.238 | 0.028 | 0.022 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 11,502 | 12,502 | | |
| Azucar a Granal Mascabado | | 18,252 | 306,352 | 0.260 | 0.254 | 0.243 | 0.221 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.750 | 13,422 | | |
| Granza | 5,808 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Total en Existencia | | 7,207,075 | 196,285,256 | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 | | | | | | | | | | |

| MATERIALES EN EXISTENCIA | | OBSERVACIONES: | |
|----------------------------|------------------|----------------|---------------|
| TONELADAS DE | SOLIDOS SACAROSA | En Proceso | En Existencia |
| En Proceso | 83,443 | 57,944 | |
| Purasa Promedio en Proceso | 69.27 | | |
| Azucar a Granal Mascabado | | | |
| Granza | 5,808 | 5,808 | |
| Total en Existencia | | | |

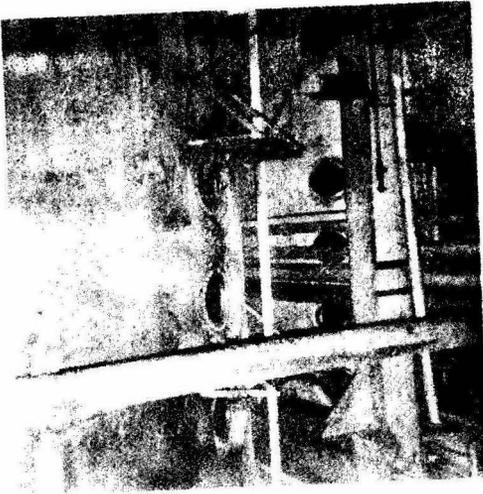
Superintendente de Elaboracion

Nombre: _____ Titulo: _____

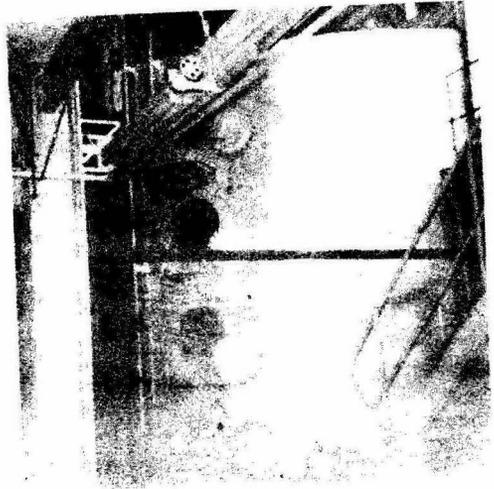
Nombre: _____ Titulo: _____

A continuación se presentan algunas fotografías que fueron tomadas durante las visitas realizadas a los diferentes Ingenios y las cuales muestran algunas de las partes principales de los clarificadores que utilizan dichas plantas.

INGENIO " EL POTRERO "

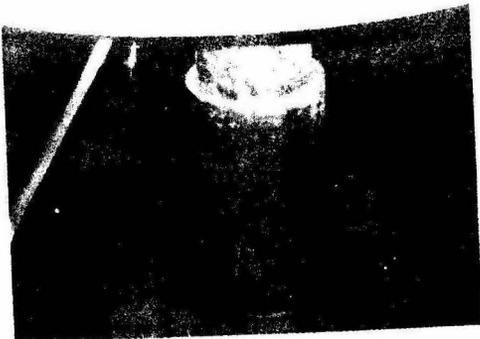


1) CLARIFICADOR RAPIDORR
Vista Exterior: Registros Hombre en cada compartimiento.



2) CLARIFICADOR RAPIDORR 444
Vista exterior. Registros Hombre en cada compartimiento.

3) CLARIFICADOR RAPIDORR
Vista Interior.
Derrame de cachaza de un compartimiento y tubo por el cual es desalojada.



4) CLARIFICADOR RAPIDORR

Vista Interior

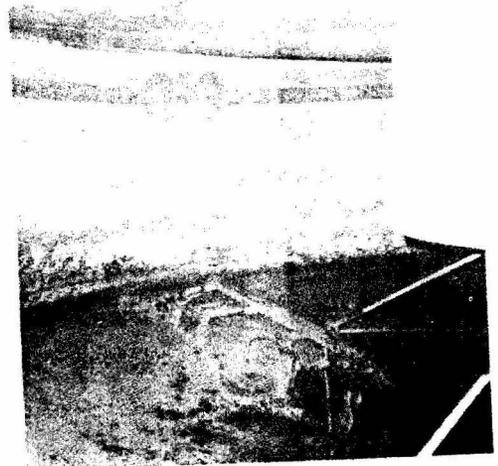
Se observa la inclinación de las charolas hacia el centro del clarificador y el tubo de salida de la cachaza del compartimiento inmediato superior.



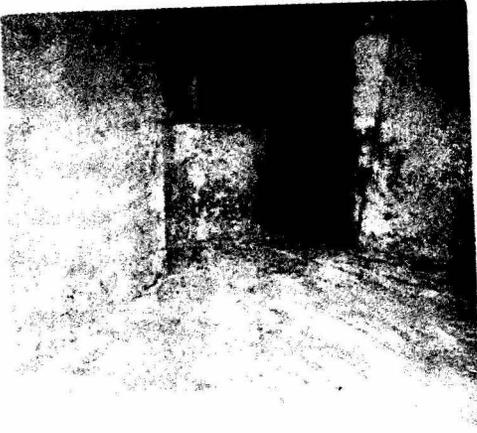
5) CLARIFICADOR RAPIDORR

Vista Interior

Raspadores de cadena y tubo de salida del jugo.



INGENIO " EL CARMEN "

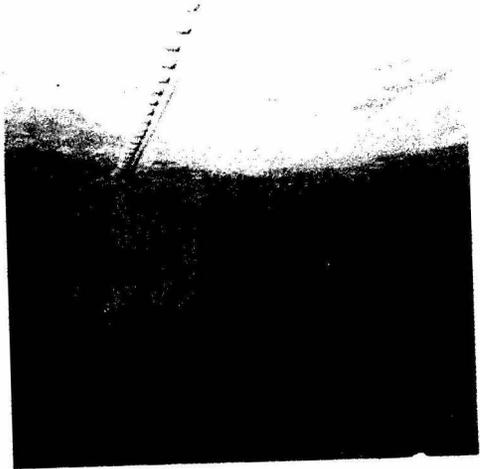


1) CLARIFICADOR DORR Vista Interior

Modificado para la recolección de la cachaza. Se observan unas cajas, las cuales fueron adaptadas con este fin al compartimiento superior.

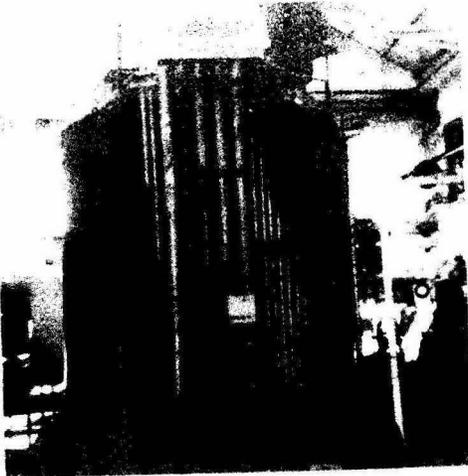
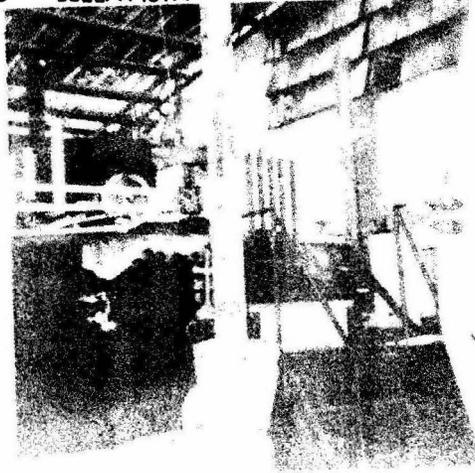
2) CLARIFICADOR DORR Vista Interior

Se observa la unión del derrame normal de cachaza con la caja de recolección de la misma.



INGENIO " BELLAVISTA "

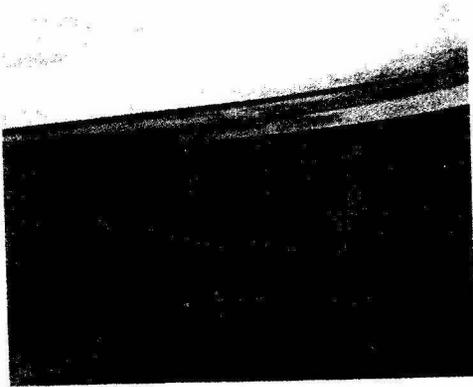
- 1) CLARIFICADOR POVEL BACH
Vista Exterior
Parte superior del clarificador.



- 2) CLARIFICADOR RAPIDORR
Vista Exterior

Se observan los tubos por los cuales se desaloja el jugo clarificado de cada uno de los compartimientos, así como los tubos por donde es extraída la cachaza y llevada a la parte superior del clarificador por bombeo.

3) CLARIFICADOR RAPIDORR
Vista Interior
Raspadores de goma para la cachaza.



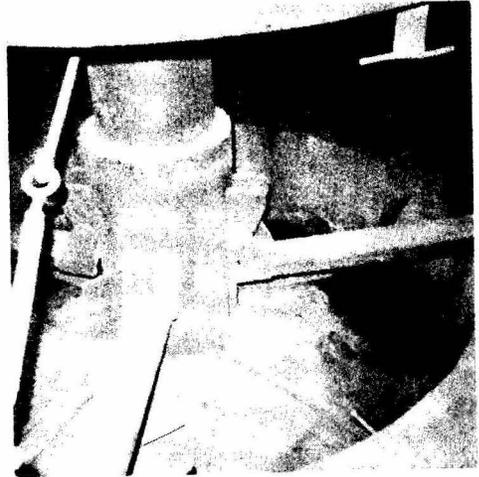
4) CLARIFICADOR RAPIDORR
Vista Interior
Derrame de cachaza y tubo de salida
de cachaza del compartimiento superior.



INGENIO " EMILIANO ZAPATA "

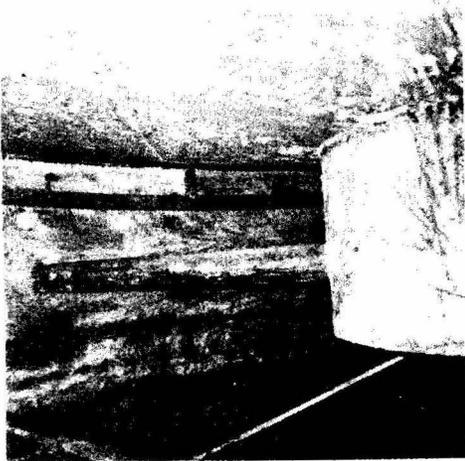
1) CLARIFICADOR RAPIDORR Vista Interior.

Derrame de cachaza de un compartimiento y tubo por el cual se desaloja.



2) CLARIFICADOR RAPIDORR Vista Interior.

Se observa el tubo de salida del jugo clarificado del compartimiento y el tubo de descarga de la cachaza del compartimiento superior.



3) CLARIFICADOR RAPIDORR Vista Interior.

Raspadores de goma y derrame de cachaza



C A P I T U L O 6

CAPITULO 6

CONCLUSIONES :

6.1. Resultado del análisis de los métodos de clarificación

En el desarrollo del presente estudio se ha tratado de realizar un análisis el cual permita elegir el método de clarificación más idóneo conforme a las necesidades que se presentan en un país en vía de desarrollo como lo es México.

Dado que en cualesquier ingenio azucarero el objetivo primordial no es el de fabricar azúcar, ya que la sacarosa es sintetizada por un proceso natural en la planta de la caña, y el así llamado proceso de fabricación es esencialmente un proceso de separación de sacarosa eventualmente en una forma pura, de varios materiales con los cuales está asociada a la planta de la caña, se puede considerar que uno de los pasos más importantes en dicho proceso es la clarificación. Como se ha descrito durante el desarrollo del presente Estudio, la clarificación elimina y suspende el máximo de impurezas tales como coloides y materiales solubles del jugo

de la caña, por lo tanto el grado de clarificación que se logra tiene un efecto fundamental en los siguientes pasos del proceso de fabricación: - afecta la cocción en tachos, el centrifugado o purga, la calidad de los productos y sobre todo el rendimiento en azúcar crudo, que es lo más - importante. También puede ser afectada la velocidad de filtración y - la facilidad de elaboración del azúcar en la refinería (Cap. 1). Por - lo anterior se hacen las siguientes consideraciones.

La existencia de diferentes métodos empleados para purificar el jugo de caña de azúcar, permite elegir el más adecuado bajo el punto de vista de la calidad y costo de los mismos.

Los principales métodos de clarificación utilizados por los industriales - son a saber:

- 1o.- Método de Defecación Simple, tratado en el Cap. 2.
- 2o.- Método de Carbonatación el cual se trató en el Cap. 2. Se debe hacer notar que se efectúa una Defecación antes de aplicar el - método de Carbonatación.
- 3o.- Método de Sulfitación que también ya fue tratado en el Cap. 2. En este caso se lleva a cabo una Defecación posteriormente al haber aplicado el método de Sulfitación.

Para el primer método se presentan dos variantes que a saber son:

- a) El utilizar defecantes auxiliares durante la aplicación del método de Defecación.
- b) Realizar un proceso de refinamiento con el azúcar obtenido al haber aplicado el método de Defecación.

VENTAJAS:

1o.- DEFECACION:

- a) Su costo es el más bajo.
- b) El área necesaria para montar el equipo es menor.
- c) Existe menor incrustación que en el I ó en el II.

DESVENTAJAS:

- a) Baja pureza en el azúcar obtenido.
- b) Color del azúcar obtenido más oscuro.
- c) Menor separación de los no azúcares.

2o.- CARBONATACION:

- a) Da el máximo de separación de no-azúcares, por llevar mayor tratamiento.

- a) Procedimiento muy costoso - (hornos de cal, de tres a seis tanques de carbonatación, etc.).

- | | |
|--|--|
| <p>b) Menor cantidad de impu- rezas.</p> <p>c) Mayor cantidad de azúcar blanco, puesto que hay me- nos pérdidas.</p> | <p>b) Las cantidades suplementa- rias de materias primas que exige (Cap. 2).</p> <p>c) Sólo se puede usar en donde el azúcar blanco se produzca - sistemática y continuamente.</p> <p>d) Que el ingenio tenga forma de obtener la caliza económi- camente.</p> |
|--|--|

30.- SULFITACION:

- | | |
|--|--|
| <p>a) Es más económico (en com- paración al de carbonata- ción).</p> <p>b) Se puede utilizar el mismo equipo usado para elaborar azúcar crudo por defecación.</p> <p>c) El jugo decanta con mayor - rapidez, aumentando de esta manera la capacidad de los decantadores.</p> | <p>a) Los calentadores se incrustan más rápidamente puesto que el pH de los jugos sulfitados originan durezas altas en el jugo clarificado (Cap. 2).</p> <p>b) Es más caro que el método de Defecación (por llevar más - equipo).</p> <p>c) Mayor cantidad de reactivos con respecto al de Defecación.</p> |
|--|--|

- d) Las masas se cuecen más rápidamente.
- e) Las masas cocidas son menos viscosas.

Contra todo lo que pudiera pensarse según la tabla de ventajas y el diagrama anterior, el método que a juicio de este estudio es el más adecuado, es el utilizar la combinación del método de Defecación con el posterior proceso de refinación, que como lo indica el diagrama da resultados de alta calidad y para las necesidades de la industria no sería costoso si se efectuara la misma combinación con el I y el II.

No obstante, algunos ingenios llegan a utilizar el método de Sulfitación junto con el proceso posterior de refinación, que comparablemente con lo antes expuesto, resulta de un costo mayor.

Ahora bien, en el azúcar blanco que va dirigido al consumidor en general, se ha de recomendar el método de Defecación en el cual se hace uso de defecantes auxiliares, siendo éste método el más empleado en nuestro país.

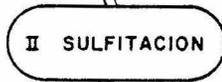
6.2. Resultado del análisis del equipo:

En vista de que el clarificador es realmente el meollo dentro de los pasos -

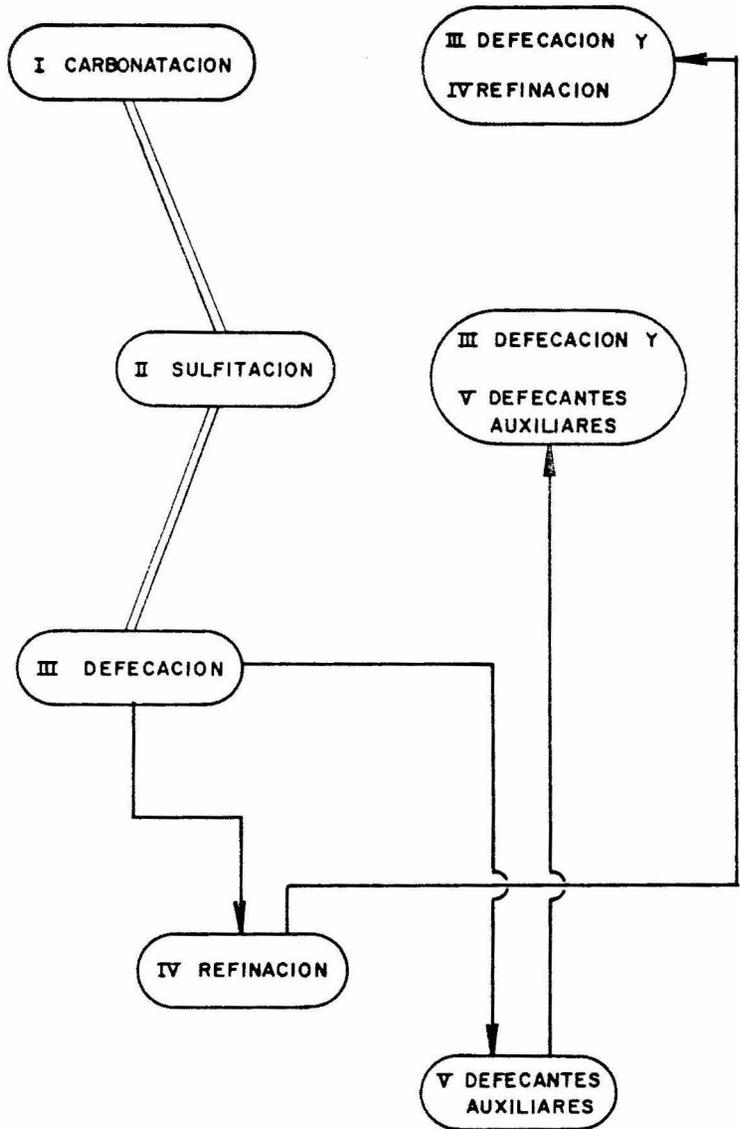
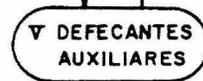
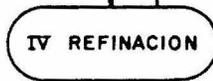
ALTA
CALIDAD



CALIDAD
MEDIA



BAJA
CALIDAD



para la elaboración del azúcar, es indispensable y necesario que los dueños o responsables de los ingenios actualmente existentes realicen un análisis - lo suficientemente elaborado como para poder escoger un equipo que real - mente sea el adecuado para obtener una mejor calidad sin realizar un dis - pendio que no justificara el cambio.

Al efectuar visitas a algunos de los ingenios existentes en el país nos perca - tamos del poco interés por hacer cambios al equipo que tienen algunos inge - nios que realmente es obsoleto así como la marcada tendencia por utilizar una determinada marca de clarificadores. En ciertos ingenios prefieren - realizar algunos ajustes o cambios a su equipo original, sin lograr por esto, alguna mejora contundente.

De lo anteriormente expuesto, nos atrevemos a hacer la siguiente argumen - tación.

Es realmente necesario el realizar un estudio profundo sobre los diversos clarificadores tales como son el Rapi-Dorr, el Rapi-Dorr 444 así como el Povel-Bach, los cuales en los modelos más recientes traen innovaciones - muy efectivas que aunque la compra del nuevo equipo involucra gastos, - estos se ven compensados tanto en la calidad como en la situación compe - titiva a la que se enfrentan con otros ingenios.

Se puede decir con seguridad que los clarificadores actuales de marcas que han logrado amplia aceptación son muy superiores a los modelos antiguos. La experiencia y los estudios de los fabricantes han logrado la confección de diseños mejorados, sobre todo desde el punto de vista de la capacidad que se obtiene de un aparato de tamaño determinado. Entre las otras mejoras con las que se ha logrado superar los modelos anteriores se encuentra la más eficiente extracción de la cachaza y la disminución de las pérdidas por inversión debidas a la acumulación de cachazas.

B I B L I O G R A F I A

- 1.- **MANUAL DEL AZUCAR DE CAÑA** Spencer - Meade
9a. Edición
Montaner y Simón, S.A.

- 2.- **PRINCIPIOS DE LA TECNOLOGIA** Pieter Honig
AZUCARERA 1a. Edición, 1969
Ed. CECSA

- 3.- **MANUAL PARA INGENIEROS** Emile Hugot
AZUCAREROS 2a. Edición, 1966
Ed. CECSA

- 4.- **INTRODUCCION A LA TECNOLOGIA** G. H. Jenkins
DE LA CAÑA DE AZUCAR Elvesier, 1966

- 5.- **FABRICACION DEL AZUCAR** Antonio Porta Arqued
Salvat Editores, S.A.

- 6.- **MACHINERY AND EQUIPMENT OF THE** L.A. Tromp
CANE SUGAR FACTORY Mc. Graw Hill, 1965

- 7.- **MANUFACTURA Y REFINACION DE LA** Raw Baikow
CAÑA DE AZUCAR Elsevier, 1964

- 8.- **SUGAR JOURNAL** Behne y Jeinkins
Marzo, 1939

- 9.- SYMPOSIUM ON CANE JUICE
CLARIFICATION I.S.S.C.T. 1956
Vol. II
- 10.- SUGAR JOURNAL Octubre, 1959
- 11.- CALCULO DE LA CAPACIDAD DE LOS
CLARIFICADORES JACOBS DEL INGE-
NIO "EL POTRERO" Torres Goytortúa Carlos
Armando
- 12.- ANTEPROYECTO DE UN SISTEMA DE
CLARIFICACION DE JUGO FILTRADO
EN EL INGENIO "SAN CRISTOBAL" Flores Gárate Héctor

CONTENIDO

| | |
|---|----|
| INTRODUCCION | 1 |
| CAPITULO 1 | 3 |
| 1.1. Generalidades | 4 |
| 1.2. Climas y Areas de Caña | 5 |
| 1.3. Variedades de Caña | 6 |
| 1.4. Cultivo de la Caña | 9 |
| 1.5. Temporada de Molienda o Zafra | 10 |
| 1.6. Localización de una Fábrica | 11 |
| 1.7. Proceso de Fabricación | 12 |
| CAPITULO 2 | |
| 2.1. Diferentes Sistemas de Clarificación | 28 |
| 2.2. Composición de la Caña de Azúcar | 29 |
| 2.3. Composición del Jugo de la Caña | 33 |
| 2.4. Reacciones en la Clarificación | 37 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 2.5. | Física y Química de la Clarificación | 52 |
| 2.6. | Efecto del pH | 60 |
| 2.7. | Defecación | 65 |
| 2.8. | Circulación de la Cal | 66 |
| 2.9. | Control de la Adición de Cal | 66 |
| 2.10. | Control del pH | 69 |
| 2.11. | Formación y Acondicionamiento del Flóculo | 72 |
| 2.12. | Diferentes Formas de Defecación con Cal | 77 |
| 2.13. | Defecantes Auxiliares | 83 |
| 2.14. | Sulfitación | 87 |
| 2.15. | Precipitación de los no-azúcares | 88 |
| 2.16. | Propiedades del SO_2 | 93 |
| 2.17. | Precipitación y Solubilidad del CaSO_3 | 94 |
| 2.18. | Efecto de la Purificación | 100 |
| 2.19. | Hornos de Azufre | 100 |
| 2.20. | Clasificación de los Métodos de Sulfitación | 103 |
| 2.21. | Procedimiento de Carbonatación | 111 |
| 2.22. | Carbonatación del jugo Medio | 120 |
| 2.23. | Hornos de Cal | 123 |
| 2.24. | Combustible | 123 |
| 2.25. | Carbonatadores | 124 |
| 2.26. | Capacidad de los Carbonatadores | 125 |
| 2.27. | Carbonatación Continua | 125 |

| | | |
|------------|--|-----|
| 2.28. | Efectos Prácticos de la Clarificación | 126 |
| CAPITULO 3 | | 134 |
| 3.1. | Factores que Influyen en la Rapidez de Asentamiento | 135 |
| 3.2. | Factores que Influyen en el Diseño de Clarificadores | 138 |
| 3.3. | Procedimiento para el Cálculo de un Clarificador | 143 |
| 3.4. | Calentadores de Jugo | 152 |
| 3.5. | Coeficientes de Transferencia de Calor | 154 |
| 3.6. | Formación de Incrustaciones | 155 |
| CAPITULO 4 | | 157 |
| 4.1. | Clarificadores Intermitentes | 158 |
| 4.2. | Clarificadores Contínuos | 159 |
| 4.3. | Alimentación Central. Flujo en Contracorrientes | 161 |
| 4.4. | Sedimentador Cónico o CSR. | 162 |
| 4.5. | Clarificador Dorr | 163 |
| 4.6. | Clarificador Rapi-Dorr | 164 |
| 4.7. | Clarificador Dorr-Oliver | 165 |
| 4.8. | Rapi-Dorr 444 | 168 |
| 4.9. | Alimentación Periférica. Flujo en Contracorriente | 170 |
| 4.10. | Sedimentador Bach | 170 |
| 4.11. | Clarificador Povel Tipo Bach | 172 |

| | | |
|--------------|---|-----|
| 4.12. | Sedimentador Graver | 176 |
| 4.13. | Alimentación Central. Flujo en Corriente Paralela | 176 |
| 4.14. | Alimentación Periférica. Flujo en Corriente Paralela | 177 |
| 4.15. | Flujo Directo Ininterrumpido | 178 |
| 4.16 | Clarificador de Fortier | 179 |
| CAPITULO 5 | | 180 |
| 5.1. | Datos | 181 |
| CAPITULO 6 | | 191 |
| | Conclusiones | 191 |
| 6.1. | Resultado del Análisis de los Métodos de Clarificación | 191 |
| 6.2. | Resultado del Análisis del equipo | 196 |
| BIBLIOGRAFIA | | 199 |