

Vol- 8 - E - 8 - 1934

FACULTAD DE CIENCIAS

INDUSTRIAS QUIMICAS



ESTE LIBRO NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

T E S I S

que para su examen profesional
de Químico, presenta el alumno

Joaquín Dondé Estévez

**MEXICO
1 9 3 4**

2223



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

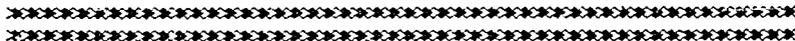
DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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.

**Clarificación
y Encalado**
de los
Jugos de Caña

*A mis queridos padres
con gratitud y afecto.*



PRIMERA PARTE
GENERALIDADES SOBRE CLARIFICACION
CAPITULO I.

El jugo de caña se extrae de ésta, mediante la presión ejercida por molinos especiales llamados "trapiques", los cuales constan de tres cilindros horizontales que giran alrededor de su eje, efectuando la expresión de la caña al pasar ésta por entre dichos cilindros.

El jugo extraído denominado "guarapo" es conducido por medio de canales o bombeado, ya sea a las básculas para ser pesado o a los recipientes de alcalinización, habiendo pasado antes por láminas de cobre perforadas que tienen por objeto separar del jugo todas las materias que como bagacillo, tierra, pequeñas piedras, etc., acompañaban a la caña y fueron arrastradas por el guarapo.

Esta separación es importante debido a la influencia, que como veremos después, tienen estas materias en las demás operaciones del proceso.

COMPOSICION DEL GUARAPO. El guarapo es un líquido turbio, opaco, cuyo color varía según la clase, edad y estado de la caña, variando generalmente de un color verdoso a café obscuro.

El guarapo es una solución de sacarosa, azúcares reductores, ácidos orgánicos libres, sales orgánicas e in-

orgánicas, teniendo además en suspensión tierra que estaba adherida a la caña, fibra, cera, materias colorantes, compuestos nitrogenados, bagacillo y gomas. El guarapo tiene reacción ácida.

Las cantidades en que se encuentran los constituyentes del guarapo varían dentro de límites muy amplios, debido a muchas circunstancias, entre ellas la edad de la caña, su clase, la composición del terreno, la humedad, condiciones de cultivo, etc.

Podemos darnos una idea de la variación en la composición de los guarapos, observando que una misma caña no tiene la misma composición en todas sus partes.

Por estas mismas razones la cantidad de sacarosa es también muy variable. El porcentaje de ésta varía entre 8 y 21, siendo generalmente un 17% el porcentaje medio.

Los azúcares reductores, denominados en la industria con el nombre genérico de glucosa varían de 0.3 a 2%.

Los principales ácidos orgánicos que entran en la composición del guarapo ya sean libres o en forma de sales son los siguientes: oxálico, cítrico, succínico, glicólico.

Las gomas se encuentran generalmente en una cantidad de 0.2 a 1% incluyéndose en este grupo, cuerpos cuya composición no se conoce.

Las sales inorgánicas se encuentran en una cantidad que varía de 0.5 a 1% constituidas en su mayor parte por sales de potasio, fosfatos, magnesio y los ácidos sulfúrico, silícico y clorhídrico, así como sales de Fierro y Aluminio.

Las substancias colorantes que entran en la composición del guarapo son las siguientes: Clorofila, antosiana, sacaretina, taninos y polifenoles. Estos últimos al combinarse con las sales de fierro que se encuentran en el guarapo dan compuestos que comunican un color oscuro a éste. La clorofila es insoluble en el guarapo, estando en este en suspensión y la antosiana que

se encuentra generalmente en los jugos provenientes de cañas oscuras en cantidades apreciables, siendo ínfima su presencia en aquellos que provienen de cañas amarillas o blancas. Es soluble en las soluciones azucaradas.

La sacaretina se encuentra en la fibra, combinándose con las sales de fierro dando coloración negra. Es soluble en soluciones alcalinas, estando adherida a las fibras de caña cuando el guarapo es de solución ácida lo cual sucede siempre.

Aunque en pequeña cantidad se encuentran, como ya dijimos, los taninos y los polifenoles que al contacto del aire producen una coloración oscura siendo más perceptible esta coloración cuando existen en el guarapo cantidades apreciables de sales de fierro.

La composición de los jugos que provienen de diferentes molinos es variable debido sobre todo a la diferente presión a que trabajan, efectuando una mayor extracción de impurezas mientras es mayor dicha presión.

DEFINICION DE LA CLARIFICACION. La clarificación es el proceso por medio del cual se transforma el guarapo turbio y viscoso de los molinos en un jugo claro y brillante, como consecuencia de la eliminación de las impurezas y ponerlo en condiciones de ser transformado en azúcar.

Este proceso se lleva a cabo por medio de agentes especiales llamados "agentes clarificantes".

OBJETO DE LA CLARIFICACION. El jugo turbio y viscoso tal como sale de los molinos no está en condiciones de ser transformado en azúcar sin previa clarificación, siendo así el primer paso, someter el jugo a un tratamiento que elimine del modo más completo posible, los constituyentes viscosos y gomosos así como todas las impurezas disueltas o en suspensión.

Sabemos además que el jugo de caña es un medio

muy apropiado para el desarrollo de microorganismos, los cuales provocan muy fácilmente su acidez, inversión y fermentación. Es pues necesario para evitar el desarrollo de dichos microorganismos hervir el guarapo, lográndose además la coagulación de los albuminoides.

Es pues, como vemos, objeto de la clarificación, el prevenir la formación de no-azúcares en el guarapo y remover lo más rápidamente posible toda la materia perjudicial a la obtención del azúcar sin alteración de la misma. Son condiciones indispensables para la buena clarificación un trabajo rápido y una alta temperatura, necesaria para matar los fermentos.

Otro objeto de la clarificación estriba en transformar el guarapo en un jugo claro y brillante. Dicho objeto no es de la significación del anterior y es más bien consecuencia directa del primero. En las fábricas de azúcar bruto se prefiere una eliminación, máxima de impurezas a una mayor claridad en dicho jugo.

NATURALEZA DE LA CLARIFICACION. Ya que como veremos después al tratar de los agentes clarificantes, la cal es el reactivo universalmente usado por ser el que da, industrialmente, mejores resultados. Han sido estudiadas con sumo cuidado las reacciones de la cal con cada uno de los constituyentes del guarapo. Pero en general, cualquiera que sea el clarificante empleado, tienen un gran valor los números que indican el aumento en el cociente de pureza después de la clarificación.

Cada vez que se ha propuesto un nuevo método para clarificación, se indica como ventajas del método, el aumento en dicho cociente de pureza. Sin embargo, no es fácil saber cuáles de los constituyentes del jugo serán eliminados por el nuevo reactivo empleado, ni la cantidad relativamente pequeña de dicha substancia que tiene posibilidades de precipitar grandes cantidades de no azúcares al ser añadida al jugo.

Por lo tanto, la clarificación no pretende tanto la eliminación de un gran porcentaje de impurezas, como

el cambio radical en algunos de los constituyentes del guarapo.

Una de las primeras cosas que debemos suponer es el cambio en el grado de dispersión de los coloides presentes en el guarapo; los cuales no solo no se sedimentan, sino que además evitan que las substancias insolubles (tierra, bagacillo, etc.,) se depositen o se eliminen.

De esta manera el objeto de la clarificación estribará en producir la coagulación de los coloides y su insolubilidad, logrando que se depositen y arrastren de este modo al precipitarse dichas substancias insolubles, o las dejen subir a la superficie, según su densidad, y dejen de esa manera al guarapo claro y limpio.

Claro está, que para que podamos lograr la floculación de los coloides necesitamos ante todo conocer la naturaleza de éstos.

Se ha dicho mucho que son las gomas, albuminoides, pectinas . . . los que explican la viscosidad y pegajosidad del guarapo y su resistencia a la filtración, pero dichas opiniones no han sido lo suficientemente probadas para que las tomemos como la verdadera causa de dichas propiedades del guarapo.

Es más bien probable que la causa real sea la presencia de un compuesto silicoso coloidal.

Variados son los métodos que han sido empleados para provocar la floculación de los coloides. Vamos a citar aquí solamente los más empleados:

- 1°—Adición de un electrólito.
- 2°—Variación en la reacción del jugo.
- 3°—Elevación de la temperatura.
- 4°—Acción de la electricidad.
- 5°—Adsorción.

Vamos a tratar, someramente, cada uno de estos métodos empleados.

FLOCULACION DE LOS COLOIDES POR ADICION DE UN ELECTROLITO. La adición de un electrólito produce un cambio en el grado de dispersión de

los coloides. Pero el método desde el punto de vista industrial no tiene ninguna ventaja ya que no ha sido encontrado hasta la fecha un electrólito que produjera la floculación completa al ser añadido en corta dosis. Los demás la producen, pero siempre que sean añadidos en una cantidad bastante grande, lo cual hace completamente incosteable el método y además, la gran cantidad de sales introducida en el jugo, inmovilizará demasiada azúcar en las mieles finales ocasionando por lo tanto una pérdida de consideración.

VARIACION EN LA REACCION DEL JUGO.

Un cambio en la reacción de la solución, de ácida a alcalina, produce la coagulación de los coloides. Este método es sin duda el que da los mejores resultados, y es el conocido método de la defecación empleado durante tantos años en la industria azucarera.

Se logra mediante un mezclado adecuado del jugo hasta alcanzar el punto exacto en el cual se produce la floculación.

La determinación de este punto ofrece muchas dificultades, debido a la carencia de métodos rápidos y dignos de confianza, que indiquen además del punto real, la temperatura a la cual debe calentarse el jugo para obtener los mejores resultados.

Generalmente se ha empleado el papel de tornasol o de cúrcuma el cual solamente servía para normar el criterio y en otros casos se titula el jugo filtrado con solución de ácido 1|.28 N. adoptándose una determinada alcalinidad para uso general.

ELEVACION DE LA TEMPERATURA. La sola variación en la reacción de la solución no produce la completa coagulación de los coloides, como lo vimos en el párrafo anterior. Es por eso que en la defecación la variación en la reacción va unida a una elevación en la temperatura.

Añadiendo continuamente pequeñas cantidades de

lechada de cal al guarapo en ebullición y observando el aspecto de la mezcla después de cada adición, se ve formarse poco a poco un precipitado desde la primera adición, aumentando cada vez más hasta alcanzar su máximo; observándose a la vez un cambio gradual en el carácter de dicho precipitado. Primeramente se encuentra en suspensión en el jugo, pero cada vez se va haciendo menos voluminoso, sedimenta con más facilidad y va dejando claro el líquido que sobrenada. A veces sucede que en adiciones subsecuentes de cal, se hincha el precipitado y sedimenta menos rápidamente; pero cualquiera que sea la rapidez en el guarapo, siempre puede observarse un punto en que la cantidad adecuada de cal origina la sedimentación rápida y completa.

Referente a la variación en la reacción del jugo podemos citar la opinión de Gebeling, el cual ha probado que la floculación de los coloides en el guarapo tiene conexión directa con la concentración del jugo en iones. H. Por lo tanto, después de haber determinado de una vez para todas empíricamente a que pH la sedimentación del jugo es mejor y más completa, lo único que queda por hacerse es mezclar el jugo hasta que halla alcanzado el pH conveniente. Gebeling mostró que el punto óptimo corresponde a la temperatura ordinaria, a un pH de 7.2 es decir un punto casi neutro y en el cual no son de temer la inactividad de los cuerpos alcalinos sobre los azúcares reductores.

ACCION DE LA ELECTRICIDAD. Hasta la fecha este método no ha dado resultados lo suficientemente satisfactorios a pesar de que han sido empleados en numerosos experimentos, infinidad de electrodos y corrientes de muy diversa intensidad.

Sin embargo, es de esperarse que en lo futuro este método dé resultados lo suficientemente satisfactorios para generalizarse su empleo.

ADSORCION POR SUPERFICIE DE ATRACION. Este sencillo método de defecación permite una

buena sedimentación del jugo, de tal modo que el líquido claro que sobrenada puede extraerse fácilmente por sifonado. Sin embargo, este modo de clarificar el jugo no es lo suficientemente adecuado para la elaboración del azúcar blanca.

Se emplea en este método la propiedad de los coloides de adherirse a las sustancias porosas o floculentas introducidas especialmente en el jugo para clarificarlo.

Se emplean en gran escala, en la actualidad, las tierras de infusorios y varias clases de carbonos vegetales, los cuales adsorben los coloides y los arrastran al fondo de los tanques de sedimentación.

Los métodos de sulfitación y de carbonatación están basados en el principio de la eliminación de los coloides por atracción superficial.

Se añade a los guarapos más cal de la necesaria para obtener el pH óptimo. El exceso de cal se retira entonces por adición de ácido sulfuroso o carbónico hasta llegar al punto conveniente de concentración de iones H. Se forman entonces sales de calcio insolubles en el líquido, las cuales al sedimentarse incorporan en sus intersticios a los coloides y dejan de este modo el jugo límpido y claro. Puédese también alternar el método, sulfitando primero el jugo hasta tener reacción francamente ácida y encalando después hasta el pH óptimo.

El sulfito de calcio formado ejerce la misma atracción sobre los coloides.

AGENTES CLARIFICANTES. Los principales agentes clarificantes empleados en la industria son: el ácido sulfuroso, el ácido carbónico, el ácido fosfórico y los fosfatos, el carbón vegetal, la tierra de infusorios, ciertas sales insolubles y el más empleado y más importante de todos: la cal.

Vamos a tratar muy ligeramente de las ventajas y desventajas de estos agentes. Siendo la cal el agente clarificante más empleado reservamos para ella un es-

tudio más completo, el cual haremos al final de este trabajo (Cuarta Parte), hablando aquí muy ligeramente de él por las relaciones que tiene con los demás métodos.

CAL. Es el más empleado debido principalmente a que auna a su bastante efectividad, un precio muy bajo comparado con los demás. Debe emplearse una cal de bastante pureza. Su uso se hace en dos formas: lechada de cal o en forma de pasta. La primera forma es la más empleada.

ACIDO SULFUROSO. Haciendo la clarificación mediante la cal se observó que al descomponer esta la glucosa daba productos viscosos de color obscuro. Quiso remediarse el inconveniente añadiéndose menor cantidad de cal, pero entonces se halló un nuevo inconveniente y era el de tenerse una sedimentación muy lenta y una incompleta eliminación de impurezas.

Se evita esto agregando un exceso de cal y eliminando este exceso mediante la adición de un ácido hasta obtener la reacción necesaria.

Se emplea para este objeto el ácido sulfuroso que se obtiene quemando el azufre.

ACIDO CARBONICO. Tiene el mismo objeto del anterior, por el cual fue substituido. Se emplea en la forma de bióxido de carbono obtenido quemando piedra caliza con carbón de cok en hornos especiales para este objeto.

ACIDO FOSFORICO Y FOSFATOS. Se emplea en forma de ácido fosfórico o de fosfatos solubles. Su uso se hace en combinación con la cal, pues se aprovecha la sal cálcica formada para dejar claro el jugo, debido a que dicha sal arrastra consigo los coloides.

Debe emplearse la cal y el ácido fosfórico de tal modo y en las cantidades necesarias para que se forme el fosfato tricálcico que es el que da los mejores resultados.

Se usan como clarificantes ya sea el fosfato mono-cálcico en polvo o el fosfato disódico a más de otros compuestos que contienen ácido fosfórico.

CARBON. Se usa en la purificación de los guarapos el carbón animal junto con el ácido clorhídrico, debido a su contenido en fosfatos. El carbón vegetal, finamente pulverizado, se usa más bien para la decoloración de los jugos.

SALES INSOLUBLES. Los métodos citados, usados en combinación, producen en el seno del jugo sales insolubles que van a servir para la clarificación. Hay otros métodos en que, en lugar de producir la sal insoluble dentro del jugo, esta sal es añadida ya formada al jugo.

La propiedad empleada para la clarificación por medio de estas sales, es aquella que ya vimos anteriormente al tratar de la floculación de los coloides por adsorción.

Este método presenta algunas ventajas, tales como añadir la sal en la cantidad más favorable para producir la adsorción y también el poder elevar bastante la temperatura del jugo sin descomposición de los compuestos de los azúcares reductores, debido a que al añadir las sales, la reacción no será muy alcalina.

EFFECTOS DE LA DEFECACION SOBRE LOS CONSTITUYENTES DEL GUARAPO. La cantidad de impurezas eliminadas por la clarificación no es muy grande. Baste decir que el peso del lodo húmedo, es decir las impurezas sedimentadas, apenas si representan el 1% del peso de la caña.

La siguiente tabla (H. C. Prinsen Geerligts) nos da una idea de la influencia de la defecación sobre los constituyentes del guarapo.:

Tabla I.

EFFECTO DE LA DEFECAACION SOBRE LOS CONSTITUYENTES DE LOS JUGOS DE CADA UNO DE LOS TRES MOLINOS

Constituy.	Primer Molino		Segundo Molino		Tercer Molino		
	Antes	Después	Antes	Después	Después		
					Ant.	Poca cal	Mucha cal
Brix	19.2	19.2	19.3	19.7	19.0	19.4	19.2
Sacarosa	16.40	17.06	16.33	17.06	15.95	16.4	16.5
Az. Reduct. . . .	1.98	2.	1.57	1.58	1.52	1.52	1.41
Gomas y							
Pectinas	0.125	.071	.376	.12	1.25	.84	.38
Cociente de							
Pureza	85.9	87.5	84.4	86.6	84.	84.5	86.
Cociente de							
de Glucosa	12.1	11.7	9.6	9.2	9.5	9.3	8.6

Excepto para la floculación de los coloides y la precipitación de las materias en suspensión, no se ha presentado nada especial; así es que los constituyentes disueltos no se afectan ni por el proceso común de la defecación ni por la aplicación del ácido sulfuroso o fosfórico.

MATERIA GOMOSA Y PECTINAS. La cal en soluciones ligeramente alcalinas no precipita las gomas.

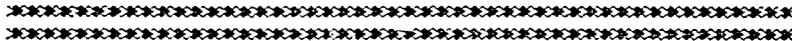
Una solución que contenga un 15% de sacarosa y 0.121 de gomas de caña, antes de la defecación, al terminar ésta contiene 0.120 de goma, es decir la cantidad original. Ni aun después del encalado, calentado, adición de ácidos varía este %, lo cual quiere decir que la defecación no elimina dichas substancias.

En cambio la pectina disuelta si se precipita en parte durante la defecación. Un jugo conteniendo .634% de gomas totales y pectinas antes de la defecación contiene al final de ésta un % de .342.

CUERPOS NITROGENADOS. A Maxwell es debido un estudio hecho de la variación de los cuerpos nitrogenados (amidas y albuminoides) durante las diversas fases de la clarificación.

Un jugo que contenga 2.1 partes por ciento de dichas materias antes de la clarificación, contiene después de ésta .32% de cuerpos nitrogenados.

La influencia ejercida por la sulfitación sobre los constituyentes del jugo, no difiere grandemente de la ejercida por el método común y corriente de la defecación.



SEGUNDA PARTE

CLARIFICACION DE LOS JUGOS POR LA CAL Y ESTUDIO DEL PROBLEMA DEL ENCALADO

CAPÍTULO II

El encalado de los jugos de caña exprimidos por las modernas plantas de molido es un problema abstruso que se complica por las características ampliamente variables de los jugos brutos y de las cantidades de no-azúcares que pueden eliminarse por la defecación. No obstante la vasta variación en los constituyentes, la etapa del encalado debe funcionar sin ningún informe previo, como el comportamiento del jugo encalado durante la sedimentación. Los análisis de algunos tipos de guarapos que se muestran en el cuadro II dan solamente una mera indicación de las variaciones comprendidas en una etapa promedio de encalado.

Es generalmente aceptado que la unidad total de recuperación de azúcar depende de la perfección con que se verifique la clarificación, pero hay una gran escasez de bibliografía general que se refiere a la clarificación eficiente. Algunos autores consideran que la clarificación debe medirse por la limpidez del jugo encalado, calentado y sedimentado. Estos autores consideran únicamente la eliminación de cuerpos en sus-

pensión. Otros la definen como el resultado del aumento máximo en el coeficiente de pureza de la solución.

Por otra parte se ha sostenido que se obtendrá una buena clarificación a una concentración definida de iones H. Entonces hay quienes definen el encalado hasta un punto llamado iso-eléctrico, los cuales creen que existe para todos los jugos este punto; definido como la concentración de iones H para la cual existe una solubilidad mínima de impurezas.

Hay numerosas objeciones a todas estas teorías, dada la enorme complejidad del problema, y a pesar de todas estas teorías la práctica ha demostrado que no es posible establecer un solo método patrón de encalado o clarificación para ser usado en todos los ingenios.

CLARIFICACION DE LOS JUGOS

Cuadro 2.—Análisis de jugos mezclados de alta y baja pureza provenientes de una planta de 18 cilindros.

Muestra	pH del Jugo	Polarización %	Pureza aparente %	Glucosa %	P205 %	SO4 %	ASH %	CaO %	SiO2 %	Al2O3 %	Fe2O3 %	MgO %
1	4.9	14.36	81.18	0.426	0.044	0.146	0.546	0.025	0.036	0.058	0.004	0.083
2	5.1	14.75	84.24	0.376	0.049	0.018	0.312	0.026	0.022	0.058	0.005	0.111
3	5.3	13.61	81.11	0.274	0.038	0.206	0.405	0.027	0.020	0.073	0.006	0.166
4	5.1	12.57	73.76	0.719	0.065	0.017	0.398	0.024	0.023	0.036	0.006	0.150
5	5.8	18.70	86.10	0.581	0.064	0.082	0.505	0.016	0.015	0.023	0.007	0.070
6	5.8	17.84	81.75	0.324	0.050	0.009	0.629	0.015	0.018	0.026	0.005	0.178

DEFECACION SIMPLE CON CAL. En el proceso de defecación simple para la clarificación del jugo de caña, se añade cal en suspensión al jugo, antes o después de calentarlo a temperaturas superiores a 100 grados C. Al jugo tratado, se le deja sedimentar y se decanta el jugo claro. Los sedimentos se llevan a un filtro prensa o se resedimentan.

Por este método solo se le ha dado al guarapo un tratamiento con cal y no es necesario hacer un esfuerzo para corregir la deficiencia o el exceso, en contraste

con la doble defecación (carbonatación, sulfitación), en los que el exceso de cal se elimina. Puesto que la defecación simple se usa en la mayor parte de las fábricas de azúcar bruto es la que se considera muy especialmente en la presente tesis.

En este procedimiento se trata el jugo exprimido por los molinos, por una suspensión de cal sin tener en cuenta la acidez original, las impurezas, y las materias susceptibles de precipitarse. La variación en la acidez es considerable, como puede verse por los datos consignados en el cuadro III, que muestran las acideces medias de más de 1500 jugos analizados durante un período de cuatro meses.

TABLA III
ACIDEZ DE LOS JUGOS DEL DESMENUZADOR
Y DEL MEZCLADO.

	p H	Acidez Titulable.
	Jugo del Desmenuzador.	Gramos de H por lto.
Máximo	5.57	0.01762
Mínimo	5.26	0.01161
Promedio	5.39	0.01508
	Jugo Mezclado.	
Máximo	5.65	0.01928
Mínimo	5.23	0.01249
Promedio	5.40	0.01575

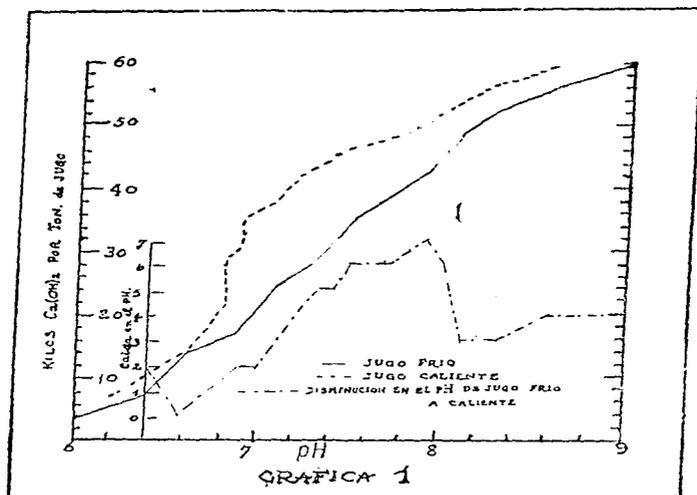
Con estas posibles variaciones, la cantidad de cal que debe adicionarse, es determinada por un operario inexperto hasta que obtenga un tinte previamente fijado de algún indicador, previamente escogido para el caso.

Actualmente ha adelantado la operación del encañado en el sentido de que la reacción del jugo encañado en frío o de otros jugos pueda expresarse en iones de H (gramos de) por litro. Estos se pueden determinar por métodos potenciométricos con electrodo de H o con

la pila de quinhidrona. El jugo así encalado se calienta a temperaturas variables. Muchos obreros prácticos creen que debe calentarse el jugo a más de 100 grados C, de manera que se alcance el flash point (punto de relampagueo) y las espumas se rompan en el tanque y así se evite su acumulación en la parte superior del tanque en la superficie del jugo. Esta creencia no está confirmada por los hechos. En general se usan temperaturas de unos 100 a 105 grados C, se han sugerido 120 grados bajo la suposición de que la sílice del jugo deberá deshidratarse y precipitarse. Al jugo tratado se le permite sedimentar en grandes tanques aislados o defecado en sedimentadores continuos.

Mediante un tratamiento tal, el jugo se mantiene a alta temperatura por un período indefinido y con una reacción más o menos alcalina en presencia de las impurezas coaguladas o sedimentadas. Durante este período de sedimentación se ha registrado un aumento en la concentración de iones H que puede disminuir el pH en un máximo de 1.1 o en un mínimo de 0.3. Este aumento en la concentración de iones H indica la formación de ácidos y sugiere la redisolución de la materia precipitada con la formación de sales solubles de calcio. Paine cree o supone que el aumento en la concentración de iones H se debe a la formación de fosfatos de calcio con liberación de iones H. Los datos obtenidos de los análisis de más de 300 jugos y consignados en la gráfica I, muestran que la concentración de iones H aumenta durante la clarificación. Este aumento es peculiar por el hecho de que la caída del pH es corta para pH bajos de jugos encalados en frío y alcanza un máximo para pH mayores, y luego presenta un descenso para encalados altos. En vista de la evidencia de lo anterior, es de suponerse que este aumento máximo en los iones H es debida a una destrucción máxima de azúcares reductores bajo el tratamiento particular.

Otros datos obtenidos sobre la destrucción de los azúcares reductores comprueba esta conclusión.



JOAQUIN BOMBE JR.

Los valores de la gráfica II se obtuvieron trabajando con jugos de igual contenido de ácido fosfórico que se encalaron de manera que sus alcalinidades fueran distintas. La caída de pH de los jugos sedimentados a partir del pH del jugo encalado en frío es interesante. Se ve que para una caída mayor en el pH es mayor la cantidad de cal presente, en tanto que el contenido de fosfato del jugo clarificado varía solo ligeramente. La relación entre el contenido de fosfato del jugo clarificado y la caída de pH no parece ser una función de la cantidad de ácido fosfórico presente, sino parece relacionarse con la cantidad de cal en el jugo. Los datos adicionales consignados en la tabla IV indican que los jugos de alto contenido en fosfatos presentan una corta caída de pH durante la clarificación.

cuales debe hacerse frente en cada caso particular. Las investigaciones de los autores, citadas en esta tesis o de otras, no pueden aplicarse a otras condiciones de las indicadas sin hacer antes un estudio cuidadoso. El problema de la clarificación se complica por las causas ya apuntadas en la primera parte de este trabajo, que son: fertilidad del suelo, elementos tomados de éste, las diferentes variedades de caña, calidad de la caña molida, el tiempo de zafra, y el tiempo que pasa entre el corte, la molienda y la extracción. Por las razones indicadas anteriormente, un encalado previamente determinado y no constante será el que produzca resultados más ventajosos a la recuperación.

Un pH constante de encalado previamente determinado implica la existencia de un punto iso-eléctrico para la precipitación de todas las impurezas.

Las investigaciones recientes indican que todas las impurezas se eliminan a una cierta concentración de iones H. Las investigaciones de R. H. King le condujeron a pensar que los defensores del alto encalado no equilibraron el efecto de las sales solubles de calcio y la redisolución de materia insoluble para altos pH y particularmente la destrucción de azúcares reductores en soluciones alcalinas. El alto encalado (pH 8) puede permitirse solamente en circunstancias excepcionales. El bajo encalado (pH menor de 7) debe sostenerse solamente cuando el contenido de fosfato del jugo es bajo. En síntesis la cuestión del alto o bajo encalado puede resolverse, equilibrando la posible pérdida por inversión resultante de la ebulición de los jugos ácidos y la pérdida debida a la introducción de los no-azúcares y a la formación de sales solubles de calcio.

DEFINICION DEL PROBLEMA DE LA CLARIFICACION. Los jugos de caña como resultado de una molienda poderosa, de la maceración en frío o en caliente, de la edad de la caña, de la composición del suelo, de las condiciones de humedad, etc., contienen una cantidad

variable, como ya se apuntó en la primera parte de esta tesis, de silicatos solubles, fosfatos, iones férricos, de aluminio, calcio y magnesio; una corta cantidad de sulfatos, cloruros, compuestos de nitrógeno y materia coloidal. Como consecuencia de la adición de hidróxido de calcio, los ácidos presentes en el jugo se neutralizan y se forman sulfatos, fosfatos etc. insolubles, con el ión calcio. Si la solución se hace suficientemente alcalina se precipitan los iones férrico, aluminio y fosfórico. La materia coloide se adsorbe por estos iones precipitados, resultando un jugo claro. El contenido de silicato del jugo varía y la eliminación de esta impureza es muy de desearse porque comprende la mayor cantidad de no-azúcar inorgánica. La exclusión completa de silicatos ha presentado un problema intrincado que no se ha resuelto aun, a pesar de todo lo que se ha dicho el coeficiente de pureza no norma un criterio del método de clarificación. La baja pureza puede deberse a gran cantidad de impurezas inorgánicas, que pueden eliminarse u originarse debido al azúcar invertido. Un jugo de baja pureza que contiene una gran cantidad de glucosa no presentará un gran aumento en aquella después de la clarificación, sino por el contrario disminuirá si hubo un alto encalado. Esta disminución se deberá, como ya se dijo, a la formación de ácidos y la formación de sales solubles de calcio.

La clarificación del jugo de caña se supone que se obtiene en las siguientes etapas, cada una de ellas bien definidas aunque relacionadas entre sí: 1—Floculación de los coloides por cambio en la concentración de iones H. 2—Floculación de coloides por el calor. 3—Formación de sales de calcio insolubles y 4—Formación de sales de calcio solubles. Estas reacciones pueden o no traer como resultado la máxima eliminación de no-azúcares, una pérdida mínima de sacarosa por inversión, una eliminación completa de coloides con una sedimentación rápida de impurezas, o una recuperación máxima de sacarosa.

Los problemas comprendidos son numerosos pero una consideración de la certidumbre aprovechable en la literatura, ayudará a formular un procedimiento, por medio del cual el operador pueda idear un método racional de encalado del jugo.

Los puntos que el encargado del control debe resolverse a si mismo pueden resolverse como sigue:

1—¿Puede una eliminación máxima de no-azúcares verificarse en los tanques de sedimentación, clarificadores, y tanques de resedimentación aprovechables sin considerable perturbación en la capacidad de la fábrica?

2—¿Proveerán los filtros prensas aprovechables el precipitado obtenido como resultado de la máxima eliminación de no-azúcares?

3—¿Proporcionará la negociación un equipo adicional para obtener una clarificación máxima según los datos experimentales obtenidos?

4—¿Cuál debe ser el contenido de óxido de calcio del jugo clarificado debido a una eliminación máxima de no-azúcares, del jugo mezclado?

5—¿Hasta qué punto afectará el aumento del pH, el mayor incremento en la pureza?

6—¿Contrabalancea el alto encalado, con objeto de ministrar un jugo alcalino que retardará la inversión en los procesos posteriores, el aumento en el contenido de calcio del jugo?

7—¿Cuál es el efecto de una elevada alcalinidad en los productos de descomposición de las soluciones de azúcar impuro?

Los productos de descomposición afectan la recuperación?

8—¿De qué manera y cuándo debe aplicarse la cal. Debe calentarse el jugo antes o después del encalado?

9—¿Se produce una mejor azúcar bruta, refinada comercial, cuando se estudia la clarificación con cuidado y se investiga continuamente?

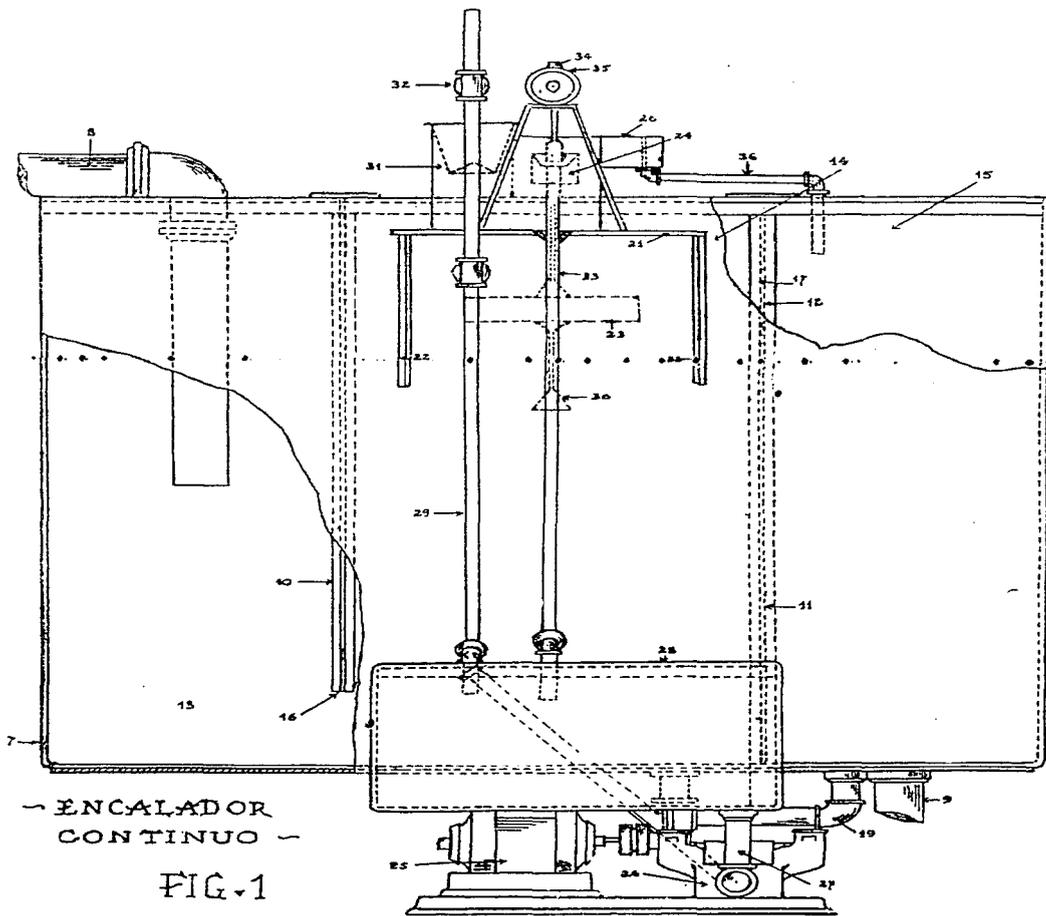
10—¿Cuál es el mejor método de adición de la cal al jugo para obtener una mezcla íntima sin sobre encalado local?

PROCEDIMIENTOS PARA ADICIONAR LA CAL. Encalado continuo automático. Los puntos esenciales de un dispositivo para encalado automático continuo son: 1—Adición automática de una cantidad constante de hidróxido de calcio por unidad de jugo. 2—Adaptabilidad a los cambios de la calidad del jugo y 3—Cambio inmediato en la cantidad de cal adicionada, cuando cambia el volumen del jugo. Los dispositivos Fleener y Petree Dorr no llenan estos requisitos. Como resultado de esta necesidad se ha inventado un dispositivo para encalado automático, continuo y operado con éxito en la Central Pampanga Sugar Development en las Islas Filipinas, durante la zafra 1929-1930.

Con este aparato (fig. 1) se añade una ministración continua de cal de acuerdo con la rapidez del flujo del jugo, y la cantidad de aquella está constantemente comprobada por patrones colorimétricos. La rapidez de sedimentación del jugo encalado se determinó y fueron posibles cambios inmediatos en la cantidad de cal que debía añadirse. Este punto es muy importante para el encalado constante; una vez determinada la cantidad, dentro de los límites prácticos, cualquiera variación en el flujo del jugo produce la correspondiente variación en el flujo de cal.

El Jugo encalado que se regresa para ensayarlo se mezcla con el gran volumen de jugo no encalado, de tal manera que no es posible el sobre encalado.

La parte principal del aparato de encalado es el tanque mezclador (7), el cual está provisto de un fondo de pendiente cónica, lo cual tiene por objeto impedir que el jugo permanezca en alguno de los compartimentos. Este tanque tiene una entrada (8) y una salida (9), y está dividido en tres compartimentos (13, 14, 15), la división (10) arranca desde el fondo del tanque



— ENCALADOR CONTINUO —

FIG. 1

J. Davila Jr.

y la cámara 13 está provista de una chicana inclinada de manera que no haya obstáculo al flujo continuo de jugo a lo largo del paso 16, y no quede jugo en el tanque. La elevación gradual en la cámara (14) eleva el flotador (23) que regula la cantidad de cal que debe añadirse a un volumen dado de jugo. La división (12) obra como una compuerta y tiene un vertedor en forma de V (17), por medio del cual el jugo del compartimento (14) fluye a la cámara (15). Está provisto de drenaje para la limpieza periódica. El jugo y la cal se mezclan en este vertedor, el volumen del jugo que fluye sobre la compuerta en forma de V determina el volumen de la cal añadida, obteniéndose de esta manera una mezcla íntima. Una pequeña cantidad del jugo encalado se regresa por medio de la bomba para ensayar la reacción. El jugo clarificado caliente también, se regresa para los ensayos de sedimentación y se vuelve a enviar mezclado con el jugo encalado.

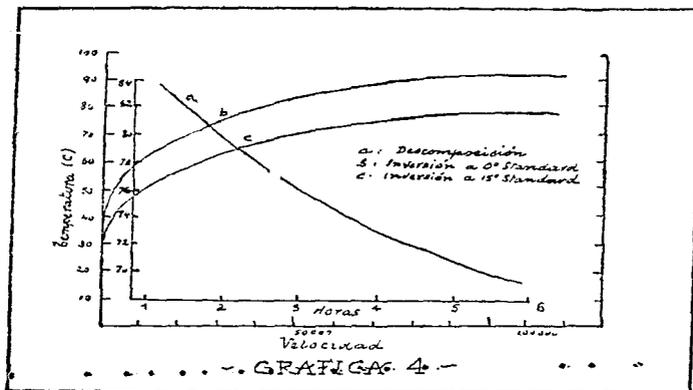
La cantidad de cal que debe añadirse se regula por medio del ajuste de la chaqueta (24), la cual está conectada directamente al flotador. Esta regulación evita un flujo local al tanque receptor después de que el guarapo ha dejado de fluir. Los dispositivos semiautomáticos no permien un control tal, porque dejan fluir la solución de cal al tanque de jugos al menor descuido de los operarios.

PERDIDA DE SACAROSA POR INVERSION Y DESCOMPOSICION. El encalado elimina los no-azúcares hasta un cierto punto, aumenta el calcio en el jugo, y produce una cierta alcalinidad variable como una medida preventiva contra la inversión debida a la acidez del jugo. Sin embargo, el exceso de calcio resulta de una destrucción catalítica de azúcar invertida con un aumento en la acidez, y a mayor alcalinidad mayor rapidez en la formación de ácido. El resultado final es un jugo inferior.

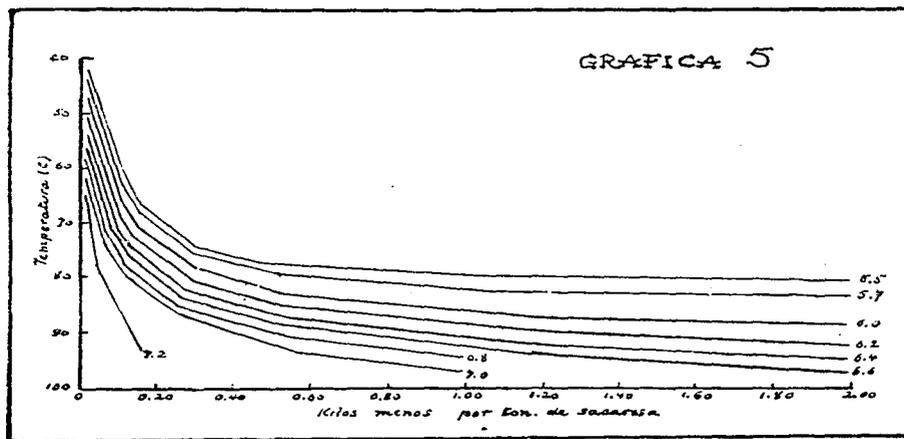
Las soluciones de azúcar, inmediatamente empie-

zan a alterarse como resultado de la acción de las enzimas presentes en el jugo, de la acidez presente desarrollada y del tratamiento térmico. La descomposición debida al calor se muestra en la curva de la gráfica IV. Las curvas b y c muestran la inversión de sacarosa en una solución pura, a diferentes temperaturas comparada con tipos a 0 grados y 15 grados C. Por ejemplo, la rapidez de inversión a 62 grados C. debe ser 30 000 comparada con la rapidez a 15 grados C., mientras que un aumento en la temperatura hasta 76 grados C. originará un aumento en la rapidez de 100000.

La destrucción de sacarosa por inversión y descomposición es influida por el grado de acidez y duración del tratamiento. En las gráficas V y VI hay curvas que muestran, respectivamente, la sacarosa destruida por temperatura e inversión a la vez en una hora a diferentes temperaturas y pH. (Estos datos están basados en los trabajos de Mc. Allep). La gráfica V muestra, por ejemplo, que a 87.78 grados C. y pH de 7.2 se destruye menos de 0.2 Kg. de sacarosa, si el pH disminuye considerablemente y se mantiene el jugo durante una hora a un pH de 6.3 debe esperarse una pérdida de sacarosa de 1.2 Kg. por tonelada de la misma. De acuerdo con la gráfica VI para un pH de 7.0 y los jugos se mantienen abajo de 82.22 grados C., presentan una pérdida menor de 0.2 Kg. de sacarosa por hora, mientras que si la temperatura se aumenta a 98.89 grados C. la pérdida se aproxima mucho a 1 Kg. por tonelada de sacarosa por hora. Para menores pH y mayores temperaturas la pérdida aumenta. Un estudio cuidadoso de estas gráficas conducirá al conocimiento del límite económico de encalado y temperatura. El encargado del control de la planta de encalado debe balancear la pérdida por inversión y descomposición, con la posible influencia de las sales de calcio sobre la recuperación de sacarosa de los productos de baja calidad.



GRAFICA 4



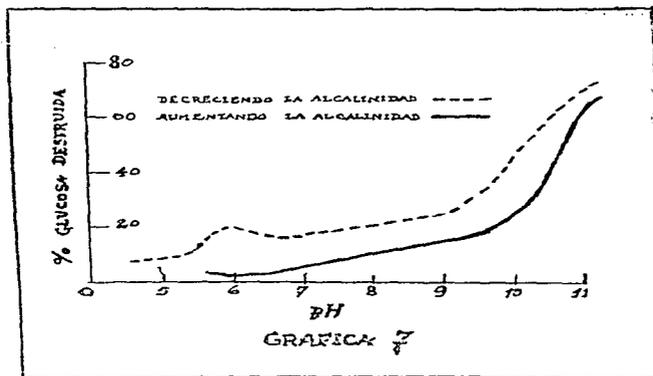
- 19.—Salida del Compartimento 15.
- 20.—Caja reguladora de entrada de la cal.
- 21.—Plataforma.
- 22.—Puntales.
- 23.—Flotador para regular la cal.
- 24.—Chaqueta ajustable para la cal.
- 25.—Bomba para la solución de cal.
- 26.—Motor para la solución de cal.
- 27.—Tubo para subir la cal.
- 28.—Línea de la bomba.
- 29.—Salida de exceso de cal.
- 30.—Contrapeso.
- 31.—Válvula de lechada de cal.
- 32.—Tubo para cal.
- 33.—Várrilla para el flotador.
- 34.—Cabeza ajustable del sistema que regula la entrada de cal.
- 35.—Tornillos de ajuste.
- 36.—Tubo de entrada de cal al Compartimento 15.

PAPEL DE LOS IONES CALCIO ADICIONADOS AL JUGO. Si la cal adicionada al jugo no se precipita, se acumula el compuesto de calcio y la alcalinidad del jugo aumenta. Como se indicó en la primera parte de este trabajo, los guarapos contienen azúcar invertido. Si el azúcar invertido se descompone se forman no-azúcares y por consiguiente la relación de sacarosa a sólidos disminuye. Se trataron varios jugos con cantidades diferentes de cal para lograr distintas concentraciones de iones H, se calentaron a 100 grados C. durante intervalos iguales de tiempo. Se observó según lo muestra la gráfica 7 que la glucosa es destruida a todos los pH y que alrededor de un pH de 9 la destrucción era más rápida.

Los mismos jugos fueron encalados con exceso y después se trataron con ácido acético hasta diferentes pH con objeto de obtener una variación en el contenido de iones calcio. Luego se calentaron a 100 grados C.

y se sedimentaron. Se ve en la gráfica 7 que la destrucción fué mayor cuando había mayor cantidad de iones calcio al mismo pH. Par aun pH de 7 cuando no había gran cantidad de iones calcio presentes, la destrucción de azúcar invertido era alrededor de 2.5% del originalmente presente en el jugo, mientras en muestras del mismo jugo que había sido sobre encalado y reducido su pH con ácido acético, la destrucción alcanzada fué de un 17.5%. Este efecto fué observado para todos los pH.

Estos datos demuestran claramente la influencia catalítica del ión calcio sobre la descomposición del azúcar invertida mediante el calor: se observó también que se verifica una rápida descomposición del azúcar invertido puro en presencia de sales de calcio sin intervención del calor.



PRECIPITACION DE FOSFATOS. Los jugos utilizados en la anterior serie de experimentos se analizaron posteriormente para fosfórico antes y después del tratamiento. Los análisis se hicieron en jugos que, después de encalados hasta un pH de 9.5 o 10.0 se trata-

ron con ácido acético, con objeto de reducir la alcalinidad, determinando la redisolución de las materias precipitadas y la influencia del exceso de ión calcio. La curva "a" de la gráfica VIII da el promedio, en por ciento, de eliminación de fosfatos de los jugos, después de encañados a un pH de 10.0 y disminuyendo el pH cuando hay calentamiento y sedimentación. Se ve en comparación con la curva "b", que hay mayor eliminación para un pH dado cuando hay un exceso de ión calcio. La curva "b" muestra la eliminación, en por ciento, en función de la adición gradual de cal. Abajo de un pH de 7.5 hay una rápida redisolución de fosfatos. En esta gráfica promedio se ve que, si un jugo se encaña hasta obtener una fuerte alcalinidad y el pH disminuye, durante el calentamiento y sedimentación, los fosfatos se redisolven si no se eliminan del precipitado. Cada jugo particular presenta mayor o menor redisolución que la que señala esta curva promedio.

La precipitación de los fosfatos parece ser a la vez una función de la concentración de iones H y de la cantidad de iones calcio. Cuando está presente un exceso de iones calcio, se verifica una precipitación mayor, pero en ningún caso hay una eliminación completa. En los jugos en que el ión calcio está presente en corta cantidad, hay menor eliminación para un pH dado. En los jugos de bajo contenido de calcio y fosfato a la vez, el por ciento de eliminación es bajo. En los jugos de bajo contenido de fosfato pero de elevado contenido de calcio hay mayor eliminación de fosfatos.

Parece que el límite económico para la precipitación de fosfatos es aproximadamente de un pH de 7.6. Fries encontró que la adición de 0.68 lbs., de superfosfato aproximadamente, por tonelada de caña, o aproximadamente de 0.03 a 0.035 por ciento de P_2O_5 al guarapo daba los jugos más claros, de mayor pureza y azúcar refinada de mejor calidad. Los datos proporcionados por él indican que encañando los jugos con esta cantidad de fosfatos hasta un pH de 8, se obtenía un

aumento en la diafanidad de un 86% y un aumento en la recuperación de azúcar de 0.7%. Bomonti investigando las causas de la clarificación deficiente y mala filtrabilidad del azúcar bruto, encontró que un bajo contenido en fosfato de un jugo y gran cantidad de materia fina en suspensión que proviene del regreso del segundo lodo a los molinos, eran las causas originantes. Aumentando el contenido de ácido fosfórico del jugo primario a 0.01 o 0.015, la rapidez de filtración del azúcar y la transparencia del jugo mejoraban considerablemente. La cantidad de fosfato presente en el jugo, cuando se suministran iones calcio en suficiente cantidad parece ser el factor limitante general en la clarificación.

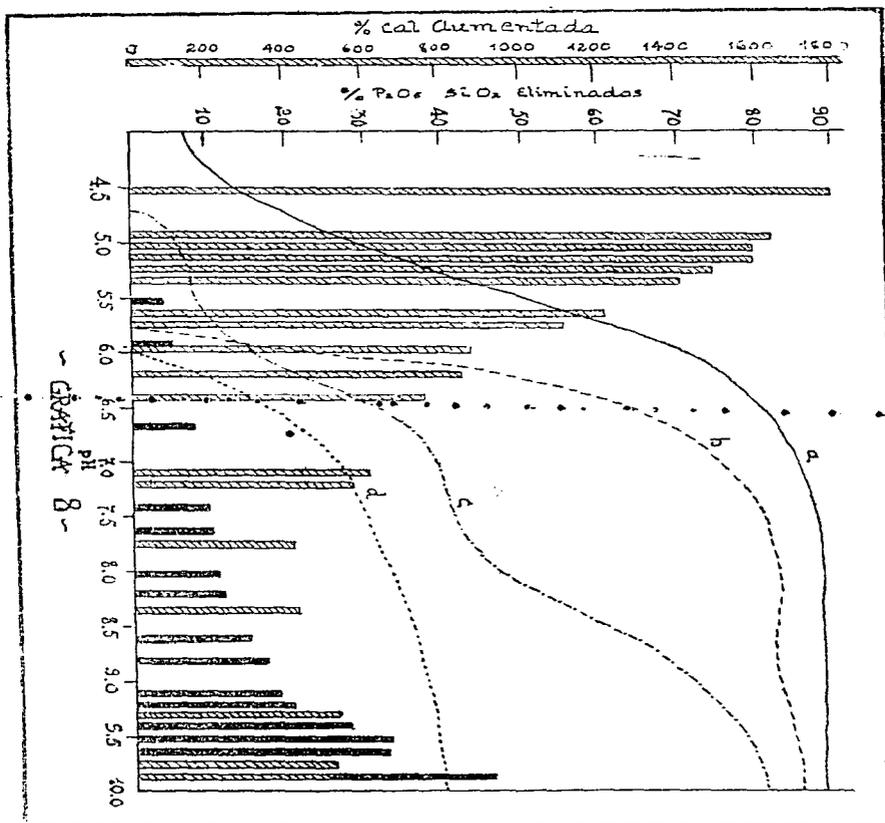
PRECIPITACIÓN DE LOS SILICATOS SOLUBLES. Los jugos usados en esta serie de experimentos como en el caso de los fosfatos, se les analizó el contenido de sílice antes y después del calentamiento en calado y sedimentación. A los jugos a los que se adicionó exceso de cal hasta un pH de 10.0 se les trata con ácido acético para disminuir el pH y se les volvió a analizar el contenido de sílice. El jugo analizado se filtró con objeto de separar la sílice de la fibra. Los datos obtenidos se consignan en la gráfica VIII curvas "c" "d". Los datos están más bien en contradicción, en general parece que no toda la sílice se elimina: para un pH de 10.0 se elimina un 70% aproximadamente, en tanto que para un pH de 8.0 se elimina del jugo solamente un 35%. Hay mayor redisolución de la sílice por la adición de ácido como lo muestra la curva "d". La eliminación media, en por ciento, como lo muestra la curva "d" indica que hay mucha menor eliminación de sílice para un pH dado, cuando éste es inferior a 8.0. A mayor eliminación de sílice mejor filtración del azúcar comercial y menor incrustación en los equipos de calentamiento y ebullición.

PRECIPITACION DEL MAGNESIO. La elimi-

nación del magnesio no presenta ninguna peculiaridad y se ha encontrado que es una función de la alcalinidad. La mayor precipitación se verifica a un pH cercano a 9.0, la eliminación a menores pH es corta. La eliminación aumenta bruscamente entre los pH de 8.5 y 9.0.

CONTENIDO DE CALCIO DEL JUGO CLARIFICADO. Los datos a este respecto se consignan en la gráfica VIII. Las columnas sombreadas muestran el aumento, en por ciento, del óxido de calcio encalando el jugo hasta un pH de 10.0 y disminuyendo éste por la adición de ácido acético con objeto de obtener condiciones análogas a las que se tienen cuando el jugo se encala con exceso de cal y el pH baja durante el calentamiento y sedimentación en presencia del precipitado. Las columnas negras representan los datos obtenidos encalando, calentando y sedimentando. Se ve que el contenido de calcio del jugo clarificado aumenta de una manera formidable cuando se adicionan ácidos o cuando se desarrollan durante el proceso, como ya se ha indicado en el principio de este capítulo. Hay también un aumento gradual en el contenido de óxido de calcio a partir de un pH de 5.5, pero en ningún momento este contenido es igual al obtenido por el desarrollo de ácidos. Encalando para un pH cercano a 8.0 resulta un aumento de aproximadamente 200% sobre el del jugo crudo, pero encalando para un pH de 7.0 hay un aumento inferior al 100%.

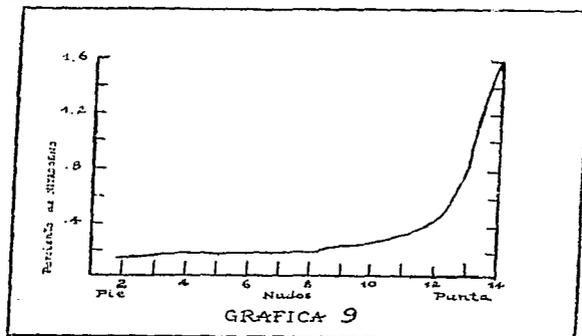
CONTENIDO DE PROTEINAS. SU ELIMINACION Y PUNTO ISO-ELECTRICO. Uno de los menores agentes de precipitación en la clarificación es la albúmina presente en el jugo. La cantidad en el contenido de proteínas varía con la variedad y edad de la caña. Para investigar el contenido de proteínas, se tomaron varias cañas de la misma edad y aproximadamente con el mismo número de nudos, se cortaron por éstos, y las porciones resultantes se molieron separada-



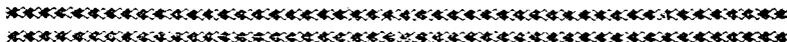
mente. Se hicieron determinaciones de N en cada uno de los jugos resultantes. Los análisis consignados en la gráfica IX muestran el aumento en el contenido de N

de estos jugos. La porción no madura del tallo contenía una cantidad considerable de proteínas. En las porciones de mayor madurez el contenido de N era prácticamente constante. Experimentando en cañas de diferentes edades manifestaron la misma tendencia. Los jugos obtenidos de las cañas jóvenes contenían una gran cantidad de N, en tanto que los obtenidos de cañas maduras contenían mucho menos. De las cañas tomadas para estos análisis se desecharon las puntas.

La clarificación de las cañas jóvenes o no maduras y también de las porciones superiores de las cañas viejas se dificulta mucho. Encalando hasta un pH de 8.0 no se produce una clarificación satisfactoria, basados en la rapidez de sedimentación y diaphanidad del jugo clarificado. La mayor eliminación de N se obtuvo para un pH de 6.8, y cuando el contenido de N es elevado se obtuvo la mayor eliminación a un pH inferior a 7.0. Los datos obtenidos sobre la eliminación de N parecen concurrir a un punto iso-eléctrico con un pH inferior a 7.0 y superior a 6.5. No es posible establecer un punto iso-eléctrico definido debido a las variaciones en el contenido de N de los diferentes jugos. En la clarificación de las cañas no maduras el alto encalado no da buenos resultados.



GRAFICA 9



CAPITULO III

EFFECTO DE LA FIBRA DE CAÑA SOBRE LA CLARIFICACION. La sedimentación se favorece por las partículas finas de la fibra de la caña. La filtración del lodo asentado se favorece cuando está presente el bagacillo, pero la digestión alcalina en caliente del bagazo en la solución tiene efectos muy nocivos en la recuperación. Cuando los jugos han pasado por una tela de 200 mallas antes de la defecación, la rapidez de la sedimentación se retarda, y el jugo resultante no es tan claro y tan límpido como cuando existen partículas fibrosas provenientes de la caña. En algunos ingenios se cuela totalmente, tanto el jugo mezclado como el clarificado y después las coladuras del jugo clarificado se añaden al lodo antes de filtrarse. ▼

Se ha encontrado que con un encalado alto, cuando el jugo no estaba totalmente colado se disolvía una cantidad considerable de impurezas. La baja en la pureza durante la clarificación se debe a esta solución de impurezas por la acción combinada del calor y de la cal. La disolución del material y la disminución en el coeficiente de pureza, eran sin embargo irregulares para cantidades crecientes de cal. Los experimentos hechos por King demuestran, que se obtienen no-azúcares por la digestión en medio alcalino y a fuertes alcalinidades se introducen al jugo cantidades considerables de silicatos solubles y no-azúcares orgánicos coloides.

Estas sustancias impiden muy seriamente, la producción de un buen licor filtrado.

RAPIDEZ DE SEDIMENTACION DEL JUGO ENCALADO Y CALENTADO. Los jugos no tratados

son turbios en extremo. El calor origina la sedimentación por coagulación de la materia albuminoide presente; el precipitado resultante tiene un alto contenido en N. Sin embargo, un jugo tal, calentado, no presenta una variación a claro y brillante, y el aumento en la pureza es pequeño.

Uno de los caracteres más notables de las suspensiones presentes en los guarapos, es que bajo ciertas condiciones las partículas se conservan finamente divididas, mientras que en otras se unen para formar partículas mayores; en el primer caso la rapidez de sedimentación es excesivamente corta, mientras que en el segundo sedimentan rápidamente. Si se dá tiempo suficiente la cantidad de precipitado es la misma. Esta peculiaridad es de gran importancia para el operador que desee enviar a los evaporadores un jugo de buena calidad.

Una suspensión que flocula presenta una serie definida de cambios. Primero, si la reacción es satisfactoria, las partículas individuales no pueden verse sin ayuda del microscopio y su presencia se manifiesta por un cono Tyndall. Las partículas grandes hacen su aparición gradualmente, generalmente como grupos separados. Se verifica en este momento la sedimentación más o menos rápida, de estas partículas mayores y con el transcurso del tiempo las materias sólidas constituyen un precipitado en las porciones inferiores del tanque.

Por consiguiente la defecación consta de tres etapas distintas: primero, el cambio en el medio de manera que se tengan las condiciones óptimas; segundo, la unión de las pequeñas partículas en grandes agregados; y tercero, la sedimentación gradual de estas partículas mayores; cualquier perturbación en alguna de estas tres fases se traducirá en una mala sedimentación. Se ha observado que cuando dos suspensiones con cargas de signo contrario, se ponen en presencia la una de la otra en cantidades iguales, se verifica una precipitación; si

alguna de las suspensiones está en exceso, permanecen estables no habiendo precipitación.

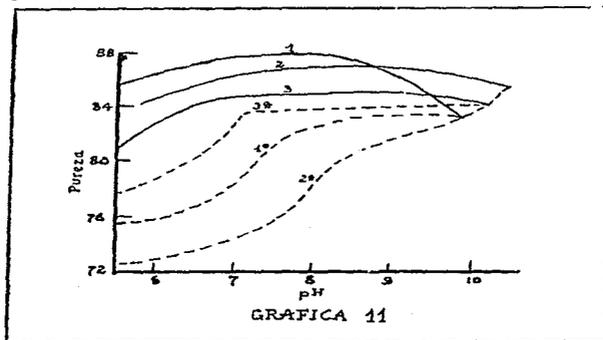
La clarificación no puede controlarse cuidadosamente encalando hasta un pH arbitrario. El control debe basarse en el pH para el cual se elimina una cantidad máxima de materia, con un crecimiento rápido de las partículas pequeñas y una pronta sedimentación de las mayores.

CAMBIO EN LA PUREZA DURANTE EL EN-CALADO Y CLARIFICACION. Debido a la acción combinada de la cal como agente precipitante, la coagulación producida por el calor, la eliminación de las suspensiones, cambia la relación de sacarosa a sólidos, aumentando esta relación cuando se eliminan los no-azúcares, es decir, la pureza aumenta. Con la destrucción de la sacarosa durante la clarificación o por la intervención de cal que no se elimina, la relación disminuye, resultando una baja en la pureza.

Con objeto de investigar estos cambios en la pureza se trataron con cal varios jugos de pureza distinta a distintos pH, se calentaron a 100 grados C. y se les dejó sedimentar. Los mismos jugos se encalaron a un pH de 10.0 y el pH disminuyóse por la adición de ácido acético de manera que el cambio en la pureza se vió cuando el jugo presentó reacción ácida.

Los análisis de estos jugos después de este tratamiento está consignado en la gráfica XI. Las líneas continuas muestran que el aumento máximo de la pureza no se obtiene para el mismo pH. Algunos jugos presentaron una variante en la pureza de 2.5 mientras que en otros el aumento sólo fué de 0.7 para el mismo pH. Parece que los jugos de baja pureza no responden, en general, a la clarificación, como los jugos de pureza elevada, después de obtener un aumento en la pureza, ésta disminuye por la adición ulterior de cal. Los datos obtenidos de los análisis de los jugos con alto encalado y tratados con ácido acético, están indicados en la gráfica

por las líneas discontinuas. El ácido disolvió substancias que bajaron considerablemente la relación de sacarosa a sólidos. Se supone que la formación de ácidos durante el calentamiento y la sedimentación producirá resultados idénticos.



GRAFICA 11

TERCERA PARTE

PROCESO PETREE

CAPITULO IV

El proceso Petree es la consecuencia del deseo de los técnicos azucareros, de suprimir el uso de los filtros prensa y eliminar las pérdidas, tanto conocidas como indeterminadas, que se tienen durante la filtración. De tiempo en tiempo se han hecho intentos para suprimir los filtros prensa regresando los sedimentos de los clarificadores y tanques de lodo, al bagazo, usando éste como medio filtrante. Todos estos intentos han fracasado, principalmente debido a que el bagazo no retiene suficiente cantidad de lodo ordinario. La acumulación resultante de lodo, tiene un efecto nocivo sobre la calidad del jugo. Otro factor, que haría tal procedimiento antieconómico, aún si fuese práctico desde el punto de vista mecánico, es el alto contenido de sacarosa del lodo, que inevitablemente conduciría a pérdidas muy serias de ésta en el bagazo.

N. M. THOMAS y G. PETREE, el primero, inspector químico en jefe y el segundo al mismo tiempo, ingeniero inspector en jefe de la "Colonial Sugar Refining Company" encontraron en 1916 que es posible preparar un lodo que sea retenido por la fibra del bagazo. Este descubrimiento fué el resultado de los ex-

perimentos hechos por ellos, sobre el tratamiento químico, térmico y mecánico separadamente de los guarapos secundarios artificiales y especialmente mezclados.

Notaron que el lodo resultante de este tratamiento poseía características físicas completamente distintas de las de los sedimentos ordinarios, y fué esta observación la que les sugirió la posibilidad de que el bagazo pueda retener el lodo, si éste se prepara de una manera conveniente. Partiendo de esta base, pusieron todo el lodo en el bagazo y los resultados fueron tan satisfactorios, que en un lapso de doce meses se había introducido el procedimiento en muchas factorías.

El proceso Petree es prácticamente automático; es totalmente continuo y se controla fácilmente.

Los guarapos se separan en: guarapos primarios, los de alta pureza y alta densidad y guarapos secundarios, los de baja pureza y baja densidad. Estos jugos se tratan separadamente.

El guarapo primario, aplicándose este término, a la mezcla del guarapo encalado, procedente del desmenzador y del primer molino; juntamente con el guarapo secundario clarificado, se bombean por el calentador del jugo primario donde se lleva a una temperatura de 100 grados C. o más, dependiendo esta temperatura de la práctica local, al clarificador primario.

En condiciones normales un 95% del jugo ahora limpio y brillante, abandona este primer clarificador a una temperatura de 97 a 98 grados C. La cantidad de jugo que se arrastra con los lodos, es por lo tanto pequeña.

El guarapo del segundo molino, que contiene la mayor parte de las ceras y substancias gomosas y coloides, se encala separadamente y después de mezclarse con los sedimentos ricos del clarificador primario, se bombea a través del calentador de jugo secundario al clarificador secundario.

El lodo secundario, que resulta de la sedimentación de la mezcla del guarapo del segundo molino y del

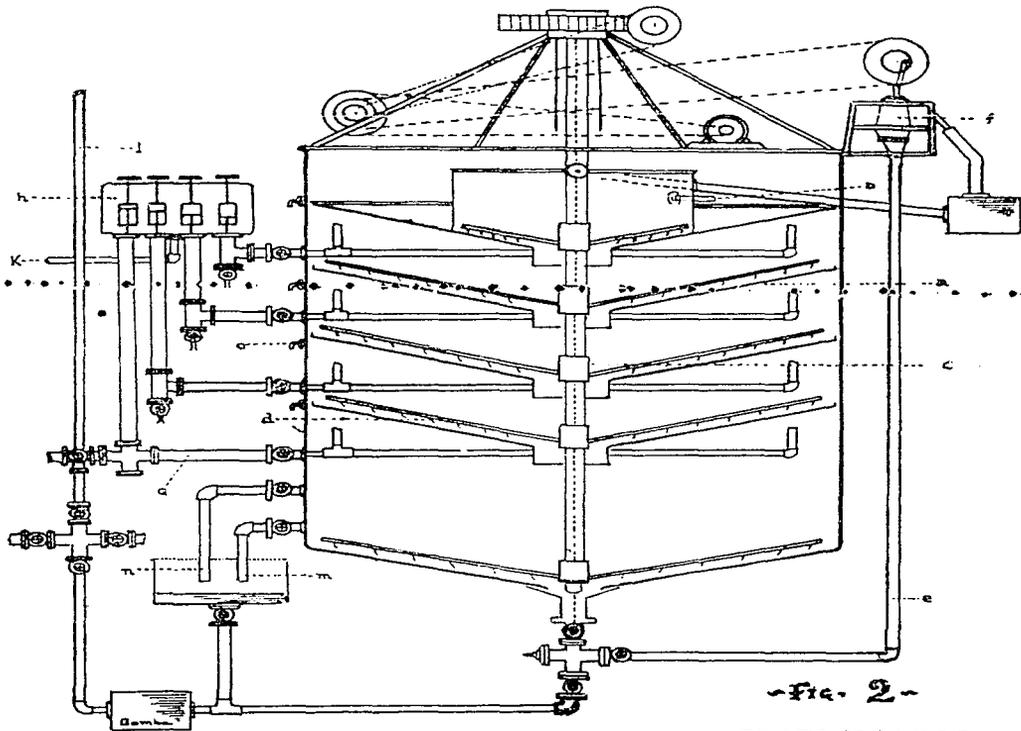
lodo primario, se diluye con el jugo del tercer molino, y esta mezcla se distribuye uniforme y continuamente sobre el bagazo tal como sale del primer molino.

Las condiciones locales determinan el punto o puntos exactos para los cuales se aplica la mezcla.

EQUIPO MECANICO PARA EL PROCESO PETREE. CLARIFICADOR DORR. Este clarificador (fig. 2) consiste de un tanque cilíndrico de fondo cónico, dividido en cuatro compartimentos por los platillos "a" paralelos al fondo del tanque, estos compartimentos van aumentando en tamaño de arriba a abajo. El jugo encalado y calentado a unos 100 grados C. entra por el tubo "b" y llena el tanque por medio del gran conducto central "c". El lodo que se deposita en el fondo, se va sedimentando en el platillo de cada división, de donde se conduce al conducto central, por medio de los rascadores de rotación lenta "d". Los lodos se acumulan por gravedad en el extremo inferior del conducto central y a la entrada de la tubería "e" por la cual sale mediante la bomba de émbolos "f" y se envía a donde corresponda, según se trate del clarificador primario o secundario. El jugo claro se retira de la parte superior de cada compartimento por medio de los tubos "g", los cuales terminan en la caja de inspección "h", de donde sale el jugo claro por la tubería "k". El tubo "l" sirve como tubería de circulación, y los marcados con "m" y "n" se usan para vaciar el aparato.

Los respiradores están indicados por la letra "o". La caja colocada en el centro, a la que el jugo se conduce, está provista de un vertedor para eliminar mecánicamente la cachaza y partículas flotantes. La estructura superior es con el objeto de instalar un tren de engranes para mover los rascadores y las bombas. Tiene en cada compartimento, aberturas que permiten la entrada de un hombre.

ENCALADOR DUPLEX PETREE. El proceso Petree hace uso de un dispositivo mecánico para enca-



~Fig. 2~

~ CLARIFICADOR ~
TIPO DORR

lar los jugos como llegan de los molinos. La lechada de cal de 10 a 12 grados Be., se prepara en la casa de cal y después de colada, se bombea al encalador según la necesidad que se tenga de ella. El aparato proporciona lechada de cal a una velocidad uniforme a una tubería. Transversalmente a esta tubería está colocada una compuerta, bajo la cual la lechada fluye en forma de una lámina delgada y uniforme. Esta capa después de pasar por la compuerta se divide en tres partes, por medio de hendiduras ajustables colocadas en el fondo del tubo. Las tres porciones así formadas se reciben en los tres compartimentos de un recipiente de fundición. De este recipiente una parte de la lechada fluye al guarapo primario, otra parte al secundario y el exceso regresa al tanque del aparato.

Este encalador es semi-automático, pues debe estar constantemente vigilado por un obrero y al menor descuido de éste sucede un encalado defectuoso, ya sea por exceso o por falta de cal. El encalador continuo mencionado en la segunda parte de esta tesis es más eficiente que éste.

DISTRIBUIDOR DE LODO. Tiene éste por objeto hacer una distribución uniforme del lodo secundario y guarapo diluido, sobre el bagazo.

TANQUES DE RELAMPAGUEO. Los tanques de relampagueo se colocan en el circuito del jugo entre los calentadores y los clarificadores.

VENTAJAS DEL PROCESO PETREE.

Disposición conveniente de los sedimentos para la filtración a través del bagazo.

Los lodos y las espumas llegan a constituir una parte integrante del bagazo final y son quemados con él.

Se aprovechan las ventajas bien conocidas de usar el bagazo como medio filtrante. La capa total de bagazo móvil se usa automáticamente, para filtrar las par-

tículas sólidas muy finas, que están en suspensión en el jugo diluído del último de los molinos del tándem.

Eliminación de los filtros prensa.

Colocando las espumas y los sedimentos en el bagazo, se hace innecesario el uso de filtros prensa y con su eliminación se evitan fuentes de grandes gastos.

Economía en los accesorios.

De la eliminación de la estación de filtros prensa resultan las siguientes economías: la cantidad gastada anualmente en la compra y reparación de las boisas de los filtros, el costo del mantenimiento del filtro prensa, bombas, máquinas de lavado, etc.

Eliminación de los tanques de lodo.

Los tanques de lodo no son usados en este procedimiento. Su trabajo es realizado por un camino más satisfactorio y sin trabajo extra.

Jugos más brillantes y claros.

El clarificador Dorr produce un jugo clarificado brillante, de una manera continua y de alta pureza. Hay una mejoría marcada en la calidad de los productos. Las superficies de calentamiento permanecen limpias, aumentando en esta forma, la eficiencia de los evaporadores.

Mayor limpieza.

El ingenio está más aseado debido a la carencia de tanques abiertos. Con el uso de este procedimiento se eliminan las canales. Los sólidos que sedimentan en el clarificador Dorr, son continuamente removidos por los dispositivos mecánicos; por consiguiente no hay oportunidad para su acumulación y fermentación.

Economía en combustible.

La materia sólida de los lodos es un combustible apreciable, igual en valor al del bagazo, incrementando el poder calorífico de éste en un 5%.

Las pérdidas por radiación se reducen al mínimo

por no hacerse uso de tanques abiertos y los clarificadores Dorr están forrados con asbesto siendo menor el enfriamiento de los jugos durante la clarificación.

No hay dilución en los jugos.

No hay lavados intermitentes en los tanques o prensas. La ausencia de tal dilución disminuye el trabajo de los evaporadores. Con la eliminación de esta fuente de dilución, puede usarse mayor cantidad de agua para la maceración en los molinos y esto proporcionará una ventaja más en la extracción de azúcar.

Economía en cal.

En los ingenios en que las espumas y sedimentos son encalados antes de la segunda decantación y donde el lodo de los filtros prensa es re-encalado precisamente al filtrarse, hay un considerable gasto extra de cal.

Pequeño volumen de los sedimentos.

Los clarificadores Dorr producen un lodo denso que no producen ninguno de los sedimentadores continuos o intermitentes. Con todas las clases y condiciones de las cañas, el lodo retirado de los clarificadores lleva solamente un cuarto a un medio de la cantidad de jugo contenido en los sedimentos que se obtienen por defecación ordinaria.

Economía en Supervisión y mantenimiento.

El uso del proceso Petree hace el trabajo de clarificación continuo y prácticamente automático. Requiere un gasto mínimo en reparaciones y gastos durante la época de molienda.

Eliminación del bagacillo.

El proceso Petree proporciona la ventaja de obtenerse un jugo claro y brillante y casi totalmente exento de bagacillo y fibra de caña.

Aumento de eficiencia en los evaporadores.

La eliminación de fibras, gomas y ceras proporciona una mejor transmisión del calor en los evaporadores y en los tachos.

Disminución en las pérdidas de azúcar.

Las pérdidas en los ingenios generalmente se reúnen en los siguientes puntos:

- 1—Pérdidas en el bagazo.
- 2—Pérdidas en las mieles.
- 3—Pérdidas en las tortas de los filtros.
- 4—Pérdidas indeterminadas.

1—Los sólidos en los sedimentos mezclados con el bagazo llevan con ellos una cantidad proporcional de azúcar a los hornos; esta tendencia generalmente se compensa con exceso, por el beneficio derivado del aumento en la maceración que resulta de la utilización del volumen de agua, que de otra manera se usaría para lavar los defecadores y prensas y para la dilución del lodo.

2—Las pérdidas en las mieles se reducen por el proceso Petree por la disminución en la viscosidad de éstas, la cual se debe a su vez a la mayor eliminación de gomas y ceras en el proceso de clarificación indicado.

3—Las pérdidas en las tortas de los filtros prensa se eliminan totalmente.

4—Las pérdidas indeterminadas están constituidas por los siguientes factores:

a—Una porción del azúcar pesado en las básculas de jugo y mandada al departamento de fabricación no llega a encostarse, a causa de la descomposición de ella durante el proceso de manufactura. Los productos de descomposición llevan azúcar adicional a las mieles. Esto constituye una pérdida real.

b—Los subproductos que contienen azúcar, tortas de los filtros y mieles finales, (particularmente las primeras) generalmente no se pesan ni se muestrean con cuidado debido a las dificultades mecánicas inherentes al trabajo.

La destrucción correspondiente al primer capítulo, se verifica en su mayor parte en los tanques sedimentadores de lodo y en los filtros prensa. Ambas instalaciones tienen condiciones ideales para la inversión, para

la acción bacteriana y para la redisolución de las substancias; que como ya se dijo anteriormente afectan la recuperación de sacarosa.

La gran experiencia con el proceso Petree ha mostrado que hay una economía de 1% en el peso de sacarosa en la caña.

Limpieza en los hornos de bagazo.

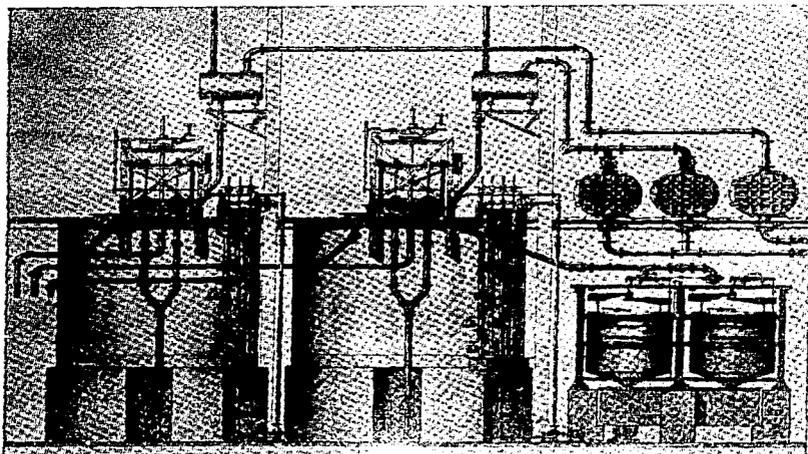
En las fábricas en que se usa este proceso es de notarse la ausencia de residuos fundidos en exceso, debido al efecto químico de la presencia de los sedimentos en el bagazo, que suprime la posibilidad de formar un vidrio, puesto que se forma un compuesto de sílice, calcio y potasio con mayor contenido de cal y por lo mismo con mayor punto de fusión que las cenizas resultantes de la combustión del bagazo ordinario. Además eliminado la formación de cenizas fusibles, se reduce la destrucción tanto del ladrillo como de otros materiales refractarios del hogar, disminuyendo de este modo el costo de mantenimiento.

Facilidad de manejo de los jugos provenientes de cañas quemadas.

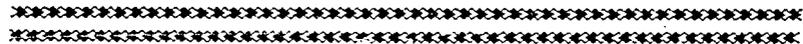
En el manejo usual de las cañas quemadas aumentan las dificultades de la defecación debido a que los sólidos en suspensión sedimentan más lentamente y son menos compactos. Decantando en estas condiciones puede retirarse una cantidad más pequeña que la usual de jugo claro de los defecadores abiertos ordinarios. El resultado es, que un porcentaje considerable del jugo, que por razón de su composición debe consumirse más rápidamente, necesariamente se mantiene en el proceso mayor tiempo que los jugos de las cañas de primera clase. Cuando las cañas quemadas se muelen y clarifican por el proceso Petree, la limpidez del jugo no se afecta materialmente, aunque la capacidad del equipo se reduzca ligeramente. Se produce un jugo limpio y la granulación se verifica fácilmente.

Mejor azúcar y mejor conservación.

Los azúcares producidos por el proceso Petree son mucho más limpios que los producidos con defecadores ordinarios. La más pequeña cantidad de bagacillo asegura mejor purga en las centrífugas y en consecuencia menor porcentaje de humedad.



Instalación Petree-Dorr.



CUARTA PARTE

CONTROL QUIMICO DE LA CAL USADA EN LA CLARIFICACION

CAPITULO V

La cal que se emplea en la clarificación debe reunir determinadas condiciones, haciéndose para ello varias pruebas en los Ingenios, de los cuales vamos a hablar, aunque someramente:

Mezclando la cal con la mitad de su peso de agua debe calentarse durante algunos minutos. La cal apagada después de la adición de diez veces su peso de agua deberá formar una crema untuosa al tacto, la cual al pasarse por un colador fino no deberá dejar en él cal sin apagar en proporción mayor de un décimo; y las partículas no apagadas deberán suavizarse al cabo de una hora de estar humedecidas.

La cal, ya apagada, debe disolverse en ácido clorhídrico sin efervescencia apreciable, lo cual indicará que no hay un gran porcentaje de carbonatos en ella.

No deberá dejar, una vez disuelta en el mencionado ácido, una proporción de materia insoluble mayor del 2 por ciento.

La siguiente tabla nos indica el máximo de impurezas tolerable en una cal destinada a la clarificación.

Humedad	2.0%
Sílice	2.0
Oxidos de Fierro y Aluminio.....	2.0
Oxido de Magnesio	2.0
Acido Carbónico	2.0
Acido Sulfúrico	0.5

IMPUREZAS DE LA CAL. La cal que se calcina a una temperatura demasiado elevada puede perder su eficacia, debido a que se hace muy compacta y se apaga con mucha dificultad o puede llegar hasta no apagarse. Sin embargo la cal que se obtiene por calcinación a temperaturas relativamente bajas resulta impura. La cal pura necesita una temperatura tan elevada, antes que se sobrecalcine, que difícilmente se puede obtener en un horno ordinario de cal, porque la caliza a partir de la cual se prepara la cal, contiene sílice junto con alumina y óxidos de fierro, que con facilidad forman silicatos fusibles y la cal se sobrecalcina.

Basta por lo general el aspecto exterior de los trozos para conocer si una cal se ha sobrecalcinao o no, y estos fragmentos se escojen y se separan del horno de cal cuando se les encuentra muy a menudo.

El agua y el gas carbónico aunque no son nocivos, disminuyen el efecto de una cantidad determinada de cal y por consiguiente es necesario fijarse en el límite aceptable de dichas impurezas lo mismo que para las impurezas insolubles como son la arena o la arcilla.

Los óxidos de fierro y aluminio originan en los evaporadores la formación de una costra, notándose las formadas por la alumina pues se forman a partir de aluminatos solubles durante la evaporación.

Cuando la magnesia se encuentra en cantidad apreciable es un producto mucho muy perjudicial pues decolora el jugo y retarda la sedimentación de manera que el jugo decantado contiene siempre mucha materia en suspensión, la cual va a formar costras en los recipientes.

tes destinados a la evaporización. Por esta razón se ha calculado el máximo aceptable de esta impureza en la cal, siendo un 2% como se ha visto en el cuadro colocado anteriormente.

Los sulfatos también incrustan los evaporadores y no deben encontrarse en cantidad apreciable en la cal.

Los álcalis por lo general sólo se presentan en cantidades mucho muy pequeñas o pueden no presentarse, siendo además su influencia no nociva en la cal de que tratamos.

DETERMINACION DE LA CANTIDAD DE CAL REQUERIDAS POR LOS JUGOS. Cuando se determina la cantidad de cal que debe usarse para un mezclado conveniente, se añade al jugo tanta cal como sea necesaria y se hace la clarificación como ordinariamente.

Se coloca una muestra de este jugo en una probeta para que sedimente.

En el clarificador siguiente se usa entonces para el mezclado una cantidad mayor de la que se usó la vez anterior y se vuelve a tomar una muestra en una probeta como anteriormente.

En el trabajo siguiente se emplea en lugar de una cantidad mayor de cal, otra menor, repitiéndose la operación.

Se forma de este modo una escala de muestras que representan las cantidades de cal que se han añadido al jugo. La muestra en la que el sedimento se deposite mejor y más rápidamente es la que se toma como muestra patrón, teniéndose además en cuenta la menor cantidad de cal que sea posible.

La muestra patrón se usa entonces en la determinación del pH que se adopte después.

DETERMINACION DEL pH. El método más exacto usado para la determinación del pH o sea la concentración de iones H en las soluciones acuosas de cuerpos puros es el potenciómetro.

Sin embargo, tratándose del jugo, viscoso y lodoso, este método no da muy buenos resultados debido a que los electrodos se recubren muy pronto de un depósito que impedirá la conductibilidad. A mayor abundamiento, las lecturas hechas en voltmetro sensible están fuera de consideración en el ambiente de los Ingenios, ya que la continua trepidación y demás molestias de éstos impedirán las lecturas correctas.

Es por este motivo que tenemos que sacrificar la exactitud, empleándose entonces los métodos de los colorantes indicadores los cuales han entrado al uso general debido a los brillantes trabajos de Clark.

Puesto que únicamente vamos a trabajar en una región comprendida entre un pH de 6 a 7.5; nos vamos a limitar a los siguientes indicadores:

Nombre del Reactivo.	Región del pH.	Vire a
Púrpura de Bromocresol	5.2 a 6.8	De amarillo a púrpura
Azul de bromotinol	6.2 a 7.6	incoloro a azul
Coralina	6.9 a 8.0	amarillo a rojo
Rojo de fenol	6.9 a 8.4	amarillo a rojo

Se puede emplear el método siguiente: Se mezcla una gota del guarapo que se examina con una gota de la solución indicadora conveniente, sobre un vidrio de reloj despulido. Alrededor de esta gota se van poniendo gotas del jugo tipo y cada una de éstas se pone una gota de la solución indicadora y se hace entonces una simple comparación directa.

Es mejor y más sencillo usar tiras de papel humedecidas en los reactivos y secadas posteriormente. De una vez para todas se selecciona un papel reactivo adecuado, ensayando varios papeles con un jugo que dé los resultados más prácticos en la clarificación y sedimentación. Ya en la fábrica cada jugo se mezcla con la cal

hasta que se produce a la temperatura patrón, la colocación justa del papel reactivo al introducirse en el jugo.

Procediendo de este modo cada jugo puede mezclarse muy fácilmente y con sumo cuidado, hasta el punto óptimo. Eliminándose de esta manera todas las dificultades encontradas anteriormente en el mezclado del jugo extraído de varios lotes de caña.

INDICE

PRIMERA PARTE.

GENERALIDADES DE LA CLARIFICACION

	págs.
Cap. I.—	7
<i>Composición del guarapo.</i>	
<i>Definición, objeto y Naturaleza de la clarificación.</i>	
<i>Agentes Clarificantes.</i>	
<i>Efectos de la Defecación sobre los constituyentes del Guarapo.</i>	

SEGUNDA PARTE.

CLARIFICACION DE LOS JUGOS POR LA CAL Y ESTUDIO DEL PROBLEMA DE ENCALADO

Cap. II.—	19
<i>Defecación simple con cal.</i>	
<i>Procedimientos para añadirla.</i>	
<i>Pérdida de Sacarosa por inversión y descomposición.</i>	
<i>Papel de la cal añadida al jugo.</i>	
<i>Eliminación de impurezas.</i>	
Cap. III.—	42
<i>Efecto de la fibra de caña en la defecación.</i>	
<i>Rapidez de sedimentación del jugo encalado.</i>	
<i>Efecto de la clarificación sobre el cociente de Pureza.</i>	

TERCERA PARTE.

PROCESO PETREE

Cap. IV.—	46
<i>Descripción y ventajas del uso de este método.</i>	

CUARTA PARTE.

CONTROL QUIMICO DE LA CAL.

Cap. V.—	57
<i>Fuentes de cal.</i>	
<i>Propiedades de la cal usada en la Clarificación.</i>	
<i>Determinación de la cantidad de cal requerida por los jugos.</i>	