

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades

REFINAMIENTO DE VARIOS AZUCARES COMERCIALES
HASTA UN ESTANDAR ESTABLECIDO DE CALIDAD

LUIS ENRIQUE SOLORIZANO CONTRERAS

Guatemala

1985

BIBLIOTECA
DE LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

REFINAMIENTO DE VARIOS AZUCARES COMERCIALES
HASTA UN ESTANDAR ESTABLECIDO DE CALIDAD

Te
UVE
Ing. Quím.
967
1987

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades

REFINAMIENTO DE VARIOS AZUCARES COMERCIALES
HASTA UN ESTANDAR ESTABLECIDO DE CALIDAD

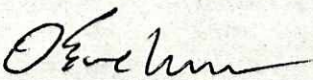
LUIS ENRIQUE SOLORZANO CONTRERAS

Trabajo de investigación presentado para optar
el grado académico de Licenciado en Ingeniería Química

Guatemala

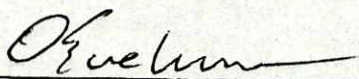
1985

Vo. Bo.:

(f) 

Licenciado Dieter Boehm
Asesor

Tribunal:

(f) 

Licenciado Dieter Boehm

(f) 

Ingeniero Carlos Rolz

(f) 

Ingeniero Miguel Angel Canga Arguelles

Fecha de aprobación: 28 de octubre de 1985.

A Dios y
a mi familia

CONTENIDO

		Páginas
	RESUMEN	X
I.	INTRODUCCION	1
II.	ANTECEDENTES	3
	A. Problemas anteriores y sus soluciones	3
	B. Clases de azúcar	5
	C. Melazas	7
	D. Métodos de refinamiento de azúcar	7
	1. Tipos de filtro	8
	E. Normas establecidas para la calidad del azúcar	13
III.	METODOLOGIA	16
	A. Diferentes variaciones del proceso de refinamiento a nivel laboratorio	16
	1. Preparación y tratamiento de una solución de azúcar	16
	2. Variación de los parámetros de refinamiento	18
	B. Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de muestras de azúcar	19
	1. Análisis fisicoquímico	19
	2. Análisis microbiológico	21
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	22
	A. Evaluación fisicoquímica de azúcar	22
	B. Resultados de pruebas de refinamiento	23
	1. Efecto del tiempo	23

	Páginas
2. Efecto de la temperatura	26
3. Efecto de la cantidad de carbón activado	33
4. Efecto de la concentración de la solución	33
C. Polarización y contenido de cenizas	39
D. Turbidez	42
E. Contenido microbiológico	43
F. Uso de melazas	44
V. CONCLUSIONES	46
VI. RECOMENDACIONES	49
VII. BIBLIOGRAFIA	51
APENDICES	
A. Ejemplos de cálculo	53
B. Proceso y equipo	54

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
1.1 Normas de calidad para azúcar en la industria de bebidas carbonatadas	15
4.1 Valores de color y turbidez de azúcares de distintos proveedores tomados del mercado y bodegas de embotelladoras centro-americanas	24
4.2 Valores de polarización de varios azúcares de distintos proveedores	26
4.3 Valores de absorbancia, color, turbidez y porcentaje de remoción de color de una solución de azúcar con distintos tiempos de refinamiento	28
4.4 Valores de absorbancia, color, turbidez y porcentaje de remoción de color de una solución de azúcar con distintos tiempos de refinamiento	29
4.5 Valores de absorbancia, color, turbidez y porcentaje de remoción de color de una solución de azúcar con distintos tiempos de refinamiento	30
4.6 Valores de absorbancia, color, turbidez y porcentaje de remoción de color de una solución de azúcar con distintos tiempos de refinamiento	31
4.7 Valores de absorbancia, color, turbidez y porcentaje de remoción de color de una solución de azúcar con distintos tiempos de refinamiento	34
4.8 Valores de absorbancia, color, turbidez y porcentaje de remoción de color de una solución de azúcar con distintos tiempos de refinamiento	35
4.9 Valores de absorbancia, color, turbidez y porcentaje de remoción de color de una solución de azúcar con distintos tiempos de refinamiento	37

	Página
4.10 Valores de absorbancia, color, turbidez y porcentaje de remoción de color de una solución de azúcar con distintos tiempos de refinamiento	38
4.11 Valores de absorbancia, color, turbidez y porcentaje de remoción de color de una solución de azúcar con distintos tiempos de refinamiento	39
4.12 Valores de caída de presión entre la entrada y la salida del filtro prensa con una precapa mal formada durante una filtración	41
4.13 Valores de caída de presión entre la entrada y la salida del filtro prensa con una precapa bien formada durante una filtración	41
4.14 Recuentos microbiológico de soluciones de azúcar refinada a distintas temperaturas durante distintos tiempos	44

LISTA DE GRAFICAS

GRAFICA		Página
4.1	Influencia de la temperatura en remoción del color	32
4.2	Influencia de la cantidad de carbón <u>acti</u> vado en la remoción del color	36
4.3	Influencia de la concentración de la so-lución en la remoción del color	36

RESUMEN

Debido a que el azúcar obtenible en el medio centroamericano es de mala calidad para los embotelladores de bebidas carbonatadas, se debe realizar un proceso de refinamiento para obtener un azúcar que cumpla las normas de calidad establecidas para esta industria.

En este trabajo se buscaron las variables óptimas para el método de refinamiento de azúcar con carbón activado en caliente. Se trabajó en este método debido a que muchas de las plantas embotelladoras donde interesa aplicar este método tienen todo el equipo necesario y algunas otras cuentan con gran parte del mismo.

Las conclusiones obtenidas son las siguientes:

El proceso de refinamiento que se debe dar al azúcar depende de las condiciones iniciales de éste.

Muchos de los azúcares obtenidos en el mercado centroamericano fueron imposibles de llevar a normas debido a su mala calidad.

Sin embargo existen en el mismo mercado azúcares de buena calidad que con someterse al proceso de refinamiento pueden cumplir con las normas. Basados en esto se puede elegir proveedores, como Pantaleón; o presionar a otros ingenios para que brinden un azúcar de mejor calidad.

Con los resultados obtenidos mediante experimentación fue

ron hechas tablas y gráficas para la variación de parámetros en el método de refinamiento. De allí se observa que la temperatura influye en el refinado, donde a mayor temperatura mayor remoción de color. Al igual sucede con parámetros como el tiempo y la cantidad de absorbente (carbón activado en este caso). También se observó que la concentración de la solución de azúcar influye al revés que los parámetros anteriores, ya que a menor concentración se logra mejor refinamiento.

En las recomendaciones del trabajo se describió un proceso a seguir con el azúcar, desde su entrada a la planta hasta su utilización final. Esto incluye catalogar el azúcar por proveedor, analizar el azúcar y de acuerdo a su calidad la aplicación del método de refinamiento adecuado de azúcar.

I. INTRODUCCION

Actualmente existen en Guatemala muchas industrias, especialmente de alimentos, que utilizan sacarosa como parte de su materia prima.

Atendiendo al proceso o producto del que forma parte el azúcar, este deberá poseer cualidades específicas. Por ello en muchos casos se hace necesaria una especial atención al refinamiento del azúcar.

En el presente trabajo el problema específico a tratar es:

El refinamiento de azúcar de caña para uso en el proceso de bebidas carbonatadas. En esta industria principalmente la calidad del azúcar juega un papel importante, ya que el mal olor, sabor y en ocasiones color afectan negativamente al producto en cualidades importantes de este como lo son apariencia, olor y gusto.

Para ayudar a la resolución del problema específico planteado, se propuso el siguiente plan de trabajo.

Clasificar el azúcar atendiendo a su lugar de origen, es decir, el ingenio proveedor del mismo.

Clasificar el azúcar de acuerdo a su calidad de ingreso a la planta. Con estas dos clasificaciones se puede buscar una relación entre el origen y la calidad del azúcar, la cual será de mucha importancia en la selección de proveedores.

Buscar un método de refinamiento de azúcar de acuerdo a

la calidad de azúcar que se desea refinar.

Además se evaluará la posibilidad del uso de melazas como sustituto del azúcar. De ser esto factible se puede contraponer un refinamiento caro y materia prima barata para melazas y un refinamiento menos caro con materia prima cara para el azúcar utilizada actualmente.

Las ventajas obtenidas al poner en práctica el plan arriba propuesto son:

Implementar en las plantas embotelladoras el control de calidad del azúcar que reciben, pudiendo así llevar un registro que califique y compare a los proveedores.

Dar al azúcar el refinamiento necesario para el cumplimiento de sus normas de calidad. Actualmente donde ya funciona un método de refinamiento puede estarse llevando a cabo tan suave que no refina lo suficiente con resultado de una mala calidad de azúcar. Por el contrario se podría estar dando un tratamiento tan fuerte que esté sobrado y por lo tanto resulte antieconómico.

II. ANTECEDENTES

A. Problemas anteriores y sus soluciones

Aquí se muestran problemas encontrados por la industria de bebidas carbonatadas con la sacarosa y algunos intentos de solución de ellos. Esto sirve para dar una idea del campo en el que se está trabajando.

El primer problema lo ha constituido el gran volumen de sacarosa que se utiliza en esta industria. Para tener una idea de este, datos de 1952 dicen que las bebidas carbonatadas consumían el 13.1% de la sacarosa total consumida en los Estados Unidos(1). Este número es aproximadamente de 6 a 7×10^5 toneladas cortas de sacarosa (la producción total de bebidas carbonatadas para 1952 fue de 7×10^6 toneladas cortas(2)).

Sumado a la gran demanda se encuentra el precio de la sacarosa, lo cual hace cada vez mas difícil su obtención. Algunas soluciones que se han encontrado a este problema en Estados Unidos son las siguientes:

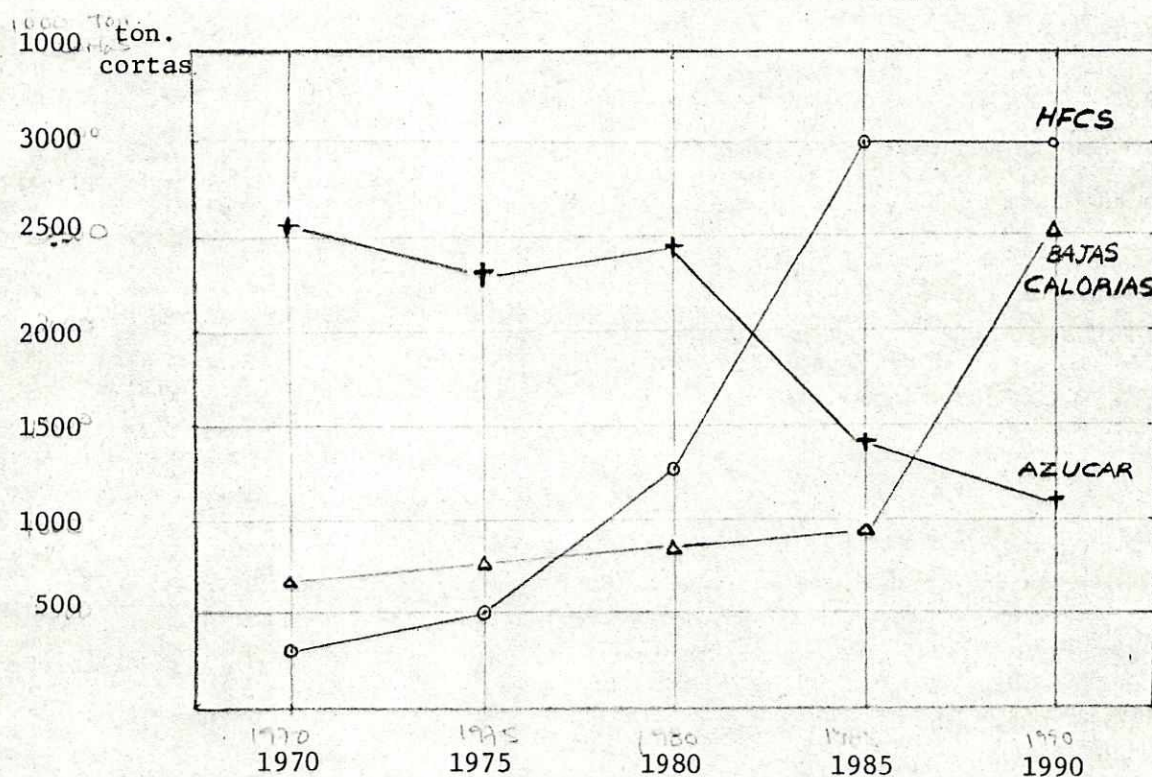
Sustitución parcial o total de la sacarosa por fructosa de maíz (HFCS, High Fructose Corn Syrup). Esta es una solución eficiente ya que el excedente de maíz que existe en los Estados Unidos es el utilizado para hacer el edulcorante. Si se utiliza un excedente, el costo de la materia prima es muy bajo.

Otro hecho que ha constituido una solución indirecta al

mismo problema ha sido la creciente demanda de bebidas dietéticas, que utilizan edulcorantes de bajas calorías como sacarina, aspartame, etc.

Un cuadro comparativo de sacarosa, HFCS y edulcorantes de bajas calorías en los últimos años y una predicción en la tendencia se encuentra en la figura 2.1(3).

Figura 2.1
Uso de edulcorantes en bebidas



En Guatemala, el problema arriba mencionado no puede ser solucionado de igual forma debido a que no existe un excedente de maíz y además, la sacarosa se obtiene de materias primas nacionales como la caña de azúcar.

Un problema que implicó una rápida búsqueda de tecnología

adecuada fue el enfrentado por México al final de la década de los 70's. La imposición gubernamental de utilizar un porcentaje de azúcar morena como edulcorante, en la industria de bebidas carbonatadas, fue algo para lo que no estaban preparados los embotelladores de este país, donde siempre utilizaron azúcar refinada.

La definición exacta de ese problema es la siguiente:

El azúcar moreno no es bueno para ingresar al proceso de bebidas carbonatadas sin afectar negativamente las cualidades del producto final.

La solución al problema frente a dicha imposición fue la de refinar. El primer paso dado fue buscar tecnología entre los ingenios para poder implementar en sus plantas un método de refinamiento con mínimos gastos de inversión y operación, pero que fuera lo suficientemente bueno para que el azúcar tratada tuviera la calidad establecida para bebidas carbonatadas.

Se evaluó entonces variaciones en algunos métodos de refinamiento y se optimizó en ello.

B. Clase de azúcar

En este tema se trata solamente las formas comerciales en que puede ser comprada sacarosa en el medio centroamericano. Esto deja fuera sacarosa de remolacha y cualquier otro carbohidrato de venta comercial. Debido a que en el área del Caribe es muy cultivada la caña de azúcar, la fuente más barata de sacarosa es ésta.

Las formas comerciales en que puede ser comprado el azúcar de caña son:

- Azúcar moreno (crudo o moscabado): Es el azúcar obtenido de un proceso de cristalización del jugo de caña. Este por lo regular es utilizado para exportación, ya que en muchos países desarrollados existe un buen número de plantas para refinarlo.

- Azúcar sulfitado (blanco directo): Es el azúcar blanco que se consume en Guatemala. Este azúcar tiene un refinamiento parcial, el cual consiste en eliminar color principalmente. El color es eliminado al hacer pasar el jugo de caña por una torre en contra corriente con SO_2 . En el proceso, este paso se hace inmediatamente antes o después del encalamiento. Con la sulfitación, se eliminan materias colorantes y otras, como las sales férricas, son reducidas a compuestos sin color. Las sales férricas son un gran contaminante, que han sido formados por el paso de jugo a través de bombas, tuberías, molinos, etc.

- Azúcar refinado: Este tipo de azúcar es llevado a su máxima pureza a nivel comercial. Este tiene un tratamiento en el que el jugo es tratado en caliente con hueso quemado (bone char) ó carbón activado y pasado por un filtro con una ayuda filtrante de diatomeas por lo general.

Las tres clases de azúcar son sacarosa en un alto porcentaje con un grado mayor o menor de impurezas. Entre las impurezas que contienen se encuentran sales inorgánicas en el orden de partes por millón (ppm). El azúcar sulfitado contiene

además sales orgánicas y micelas también en el orden de ppm y el azúcar moreno que contiene las impurezas ya mencionadas en mayor cantidad y además un grado alto de humedad. No se puede dar una concentración cuantitativa típica de cada impureza puesto que varía aún de ingenio a ingenio.

C. Melazas

Estas son un subproducto en la producción de azúcar. Estas son los jugos que después de haber sido tratados en cristalizadores no formaron mas cristales. Actualmente se ha encontrado mucho uso a este subproducto; por ejemplo, en alimento para ganado, en crecimiento microbiológico (el cual es puerta para muchos procesos de bioingeniería).

La composición promedio de las melazas en Centro América es la siguiente: sacarosa de un 30 a 40%, sacarosa invertida de un 10 a 25%, de 2 a 5% otros carbihidratos, cenizas de un 7 a 15% compuestos nitrogenados de un 2.5 a 4.5% y compuestos no nitrogenados de un 3.6 a 11.5%. (8).

D. Métodos de refinamiento de azúcar

El refinado del azúcar se basa en eliminar impurezas de éste tratándolo en una solución o jarabe. Las impurezas pueden ser solubles o insolubles en el jarabe. Las primeras pueden ser sales minerales, pigmentos vegetales, etc. (olores, sabores, colores extraños). Entre las segundas se puede encontrar piedras, pedazos de caña, insectos, arena y microorganismos.

En la práctica común de refinado se lleva a cabo una filtración gruesa para la eliminación de las partículas grandes del jugo de caña. Además se da una filtración fina donde se elimina la mayoría de impurezas insolubles.

En la filtración de azúcar se utiliza por lo general un auxiliar filtrante. Este consiste en la adición de sólidos al jarabe los cuales forman una precapa fuerte permeable y de pequeño poro sobre el medio filtrante (papel filtro o lona). Por lo regular se utiliza tierra de diatomeas para la formación de la precapa, que es un mineral natural que se encuentra en el mar (la tierra de diatomeas es un conjunto de caparzones de algas microscópicas). Tienen diversidad de formas y tamaños lo que hace precapas que permiten un flujo rápido y con un poro de diámetro pequeño.

Existen muchos auxiliares filtrantes como sulfato de calcio, pulpa de papel, celulosa, perlita, los cuales tienen desventajas con respecto a las diatomeas. La perlita, que es producto de roca volcánica que por calor se hace explotar y formar una partícula porosa, es un buen competidor de las diameas ya que con un costo similar por unidad de masa tiene una densidad menor.

1. Tipos de filtro. Los filtros utilizados generalmente en el refinamiento de azúcar son los filtros prensa. En esta industria los más utilizados de este tipo son: filtro de hojas y filtro de marcos y platos.

El filtro de hojas puede ser de varios tipos. La división mas general es: los de hojas fijas y los de hojas rotatorias.

Ambos se basan en el siguiente mecanismo: la hoja es una doble pared de malla de alambre. Esta es forrada con una tela que funciona como medio filtrante. Las hojas están colocadas dentro del cuerpo de la prensa y el licor que es alimentado a estas, las atraviesa y tienen su única salida por un ducto que conecta a la parte de adentro de las hojas. Por lo tanto el único camino posible para el licor es atravesar las paredes de las hojas.

La operación del filtrado es con auxiliar filtrante. Al transcurrir la filtración este último va formando una torta cada vez mas gruesa. Con esto la caída de presión incrementa. El proceso ~~se~~ para cuando no cabe mas sólido en el filtro o cuando la presión es demasiada.

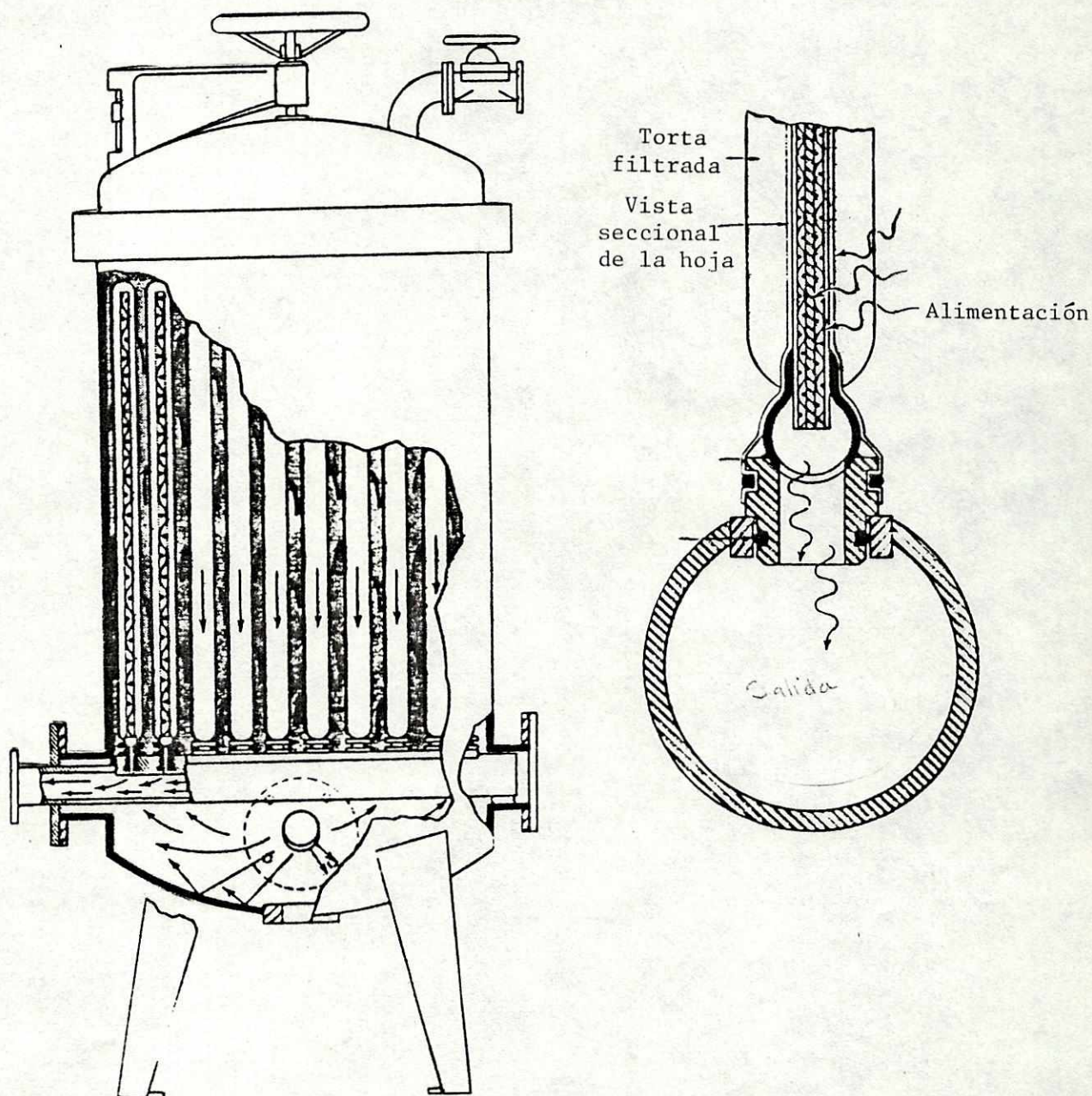
Para la formación de una buena precapa y por lo tanto para tener una buena filtración, el flujo y la presión del licor a filtrar se deben optimizar de acuerdo a la cantidad de impurezas y auxiliar filtrante adicionado. Se considera buena medida comenzar con un flujo y presión bajo e ir incrementando, lo que puede lograrse con una bomba de desplazamiento positivo.

Para mayor comprensión del filtro de hojas, se muestra en la figura 2.2 un corte del mismo y el diagrama de funcionamiento de una hoja.

Figura 2.2

Izquierda: Corte de un filtro de hojas.

Derecha: Corte de una hoja



El filtro de marco y plato es el otro filtro prensa de gran utilización en refinamiento de azúcar. Este es de capacidad pequeña, su lavado es más difícil que el de hojas, necesita mayor tiempo de operación y el papel filtro es de un ma-

mayor costo. Todo esto ha hecho que el filtro de hojas desplace al de marco y plato. Sin embargo características especiales como total agotamiento del jarabe filtrado (no se desperdicia jarabe que se quede en el filtro como muchos de hojas) lo hacen seguir siendo el mejor.

La disposición, en general, de este filtro es un plato y un marco intercalados (en la figura 2.3 se puede apreciar un marco y un plato). Este conjunto de paredes es colocado en una cámara. El medio filtrante es papel o lona que se coloca sobre las caras de los platos, los cuales deben quedar totalmente cubiertas.

El líquido a filtrar se hace pasar a presión por la cámara y atraviesa los platos, quedando los sólidos en el medio filtrante. Aquí también se utiliza un auxiliar filtrante, el cual forma una precapa. El líquido ya filtrado sale por un conducto general. En la figura 2.4 se puede observar el corte de un filtro prensa de marco y plato.

Figura 2.3

Izquierda: Plato

Derecha: Marco

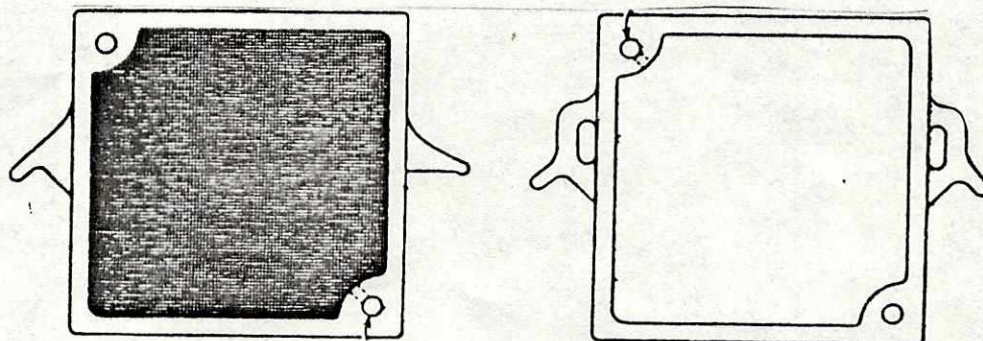
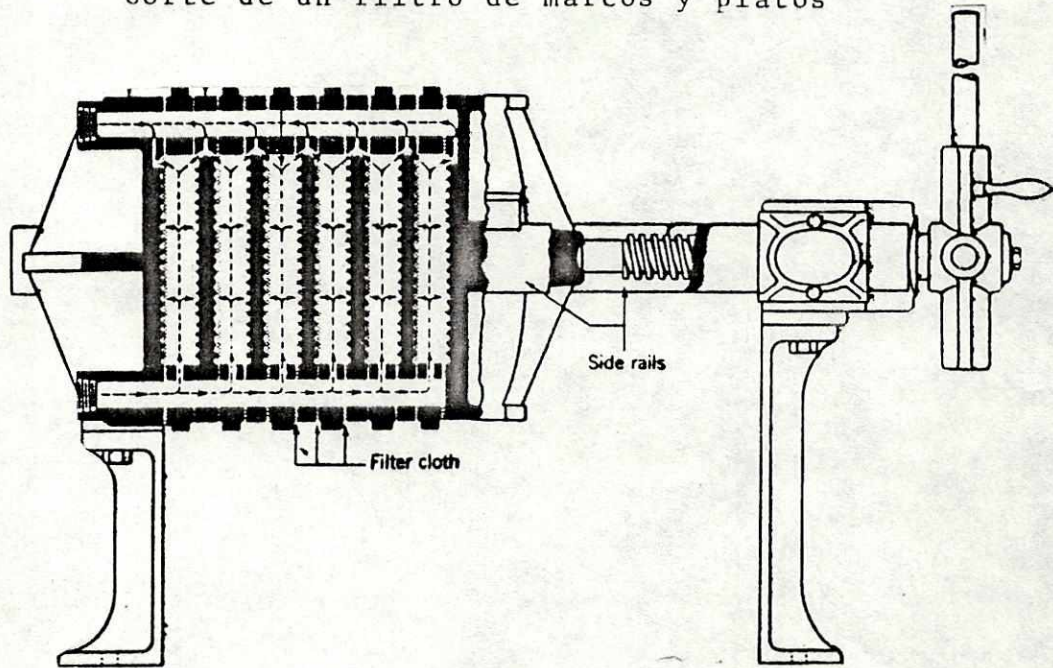


Figura 2.4
Corte de un filtro de marcos y platos



Las impurezas de la sacarosa como color, sabor y olor, que son solubles, deben ser eliminadas por medio de adsorbentes. El hueso quemado o "negro de huesos" (bone char) ha sido muy utilizado en refinamiento de azúcar. Este material tiene una estructura porosa que lo hace poseer una gran superficie de contacto. La ventaja principal del hueso quemado sobre otros adsorbentes es que puede remover tanto impurezas orgánicas como inorgánicas, mientras que la mayoría solo remueve una de las dos.

Su inconveniente es que resulta atractivamente económico sólo cuando se posee una planta de fabricación del mismo cerca de donde se utiliza. Esto se debe a que el hueso quemado puede ser reactivado, pero necesita un tratamiento parecido

al de su manufactura (hornos de altas temperaturas). La construcción de una planta para fabricarlo es cara y no se justifica para pequeños volúmenes de demanda.

El carbón activado es otro gran adsorbente por tener una gran superficie de contacto. Su desventaja frente al hueso quemado es que solo adsorbe materia orgánica. Sin embargo es más factible su utilización por cuestión de costo y ya que la mayoría del color, olor y sabor es de origen orgánico, para este caso es un buen refinador.

E. Normas establecidas para la calidad del azúcar

La industria de bebidas carbonatadas es exigente en cuanto a la calidad de su producto por la conservación e incremento de su mercado. Aquí son importantísimos, factores como el sabor, olor, color y presentación. Debido a ésto se imponen normas al azúcar que formará parte de una bebida de este tipo.

En lo que respecta a sabor, las formulaciones para cada sabor de bebida son establecidas en cuanto a azúcar. Sin embargo, si el azúcar a utilizar tiene un sabor extraño, afectará con éste a todo el conjunto. El estándar para sabor de azúcar es simplemente sin sabor extraño, ósea, sin ningún sabor más que el propio edulcorante.

El estándar de olor es establecido con miras a no afectar el olor del producto terminado, por lo tanto debe cumplir el azúcar con no tener olor.

Estándar de color es establecido de igual forma. Sin embargo, con color la norma es más precisa, cuantitativa y exacta

ta. Se asigna al azúcar que formará parte de la bebida un máximo de color de 35 RBU, donde RBU = Unidades Básicas de Referencia.

Además de estos factores básicos existen otros importantes para la apariencia del producto. Estos factores incluyen turbidez la cual debe tener un máximo de 20 RBU. Un jarabe de azúcar tampoco debe tener sólidos suspendidos o flotantes. No debe formar flóculos y por último debe tener como un máximo de cenizas un 0.015%.

Otro aspecto que debe ser regulado por estándares para el azúcar es la contaminación microbiológica. Para esto se establece:

20 bacterias/gramo

1 hongo/gramo

1 levadura/gramo

Este estándar microbiológico se impone basados en que el crecimiento microbiano será imposible en una bebida carbonatada, que además tiene un pH ácido y en algunos casos preservante. Debido a esto, una concentración baja de microorganismos no sobrevivirá mientras que una muy grande o resistente sobrevivirá y degradará el producto, con riesgo de contaminación patógena.

Un cuadro que ilustrará las normas de calidad para azúcar granulada, sacarosa líquida y para sacarosa líquida invertida es incluido en la tabla 2.1 (6).

Tabla 2.1

Normas de calidad para azúcar en la industria de bebidas carbonatadas

	Sacarosa granulada	Sacarosa líquida	Sacarosa invertida
Baume		36.25°	41.00°
Brix		67.40°	77.00°
Inversión		0.20%	39.84%
Sacarosa		67.19%	37.15%
pH		6.8	5.4
Cenizas	0.015%	0.005%	0.005%
Turbidez ²	20 RBU	20 RBU	20 RBU
Sedimento	2 ppm	2 ppm	2 ppm
Color ¹	35 RBU	26 RBU	35 RBU
Olor	Ninguno Sol. al 10%	Sin olor	Sin olor
Bacteriológico			
hongos	10	10	5
levaduras	10	0	0
Bacterias	10 grs. sacarosa	10 grs. sacarosa	10 grs. sacarosa
Mesofílicas	200	0	0

$$1 \text{ Color RBU} = 1000 (A_{420} - 2A_{720}) / bx(\text{gr azúcar/ml})$$

$$2 \text{ Turbidez RBU} = 1000 (2A_{720}) / bx(\text{gr azúcar/ml})$$

donde A_{420} = Absorbancia a 420nm

A_{720} = Absorbancia a 720nm

b = espesor de la celda fotométrica
en cm

III. METODOLOGIA

La parte práctica necesaria para la realización de este modelo de trabajo profesional consta principalmente de:

- Diferentes variaciones del proceso de refinamiento a ni vel laboratorio.
- Análisis fisicoquímicos y microbiológicos para muestras de azúcar.

El proceso de refinamiento se hace variando distintos fac tores que influyen en la eficiencia del mismo con el fin de optimizarlos.

Los diferentes análisis se efectúan en muestras de azúcar de varios posibles proveedores y en muestras obtenidas de las distintas variaciones del método de refinamiento.

A. Diferentes variaciones del proceso de refinamiento a ni- vel laboratorio

Procedimiento

Con azúcar comprada en el mercado se prepararon soluciones de trabajo, con las cuales se practicó el método de refinamiento de la siguiente forma.

1. Preparación y tratamiento de una solución de azúcar.

1.1 Preparación de la solución: Se preparó una solu ción de azúcar al 50% en peso con agua potable.

Se tomaron de 15 a 30 ml de esta muestra para ser posteriormente analizada y así conocer las condiciones iniciales del

azúcar.

1.2 Tratamiento de la solución con carbón: La solución preparada fue puesta en contacto con 0.4% de carbón activado en peso con respecto al total del azúcar en la solución. El tiempo de contacto entre el carbón y la solución de azúcar fue de 15 minutos con agitación constante. Se calentó la muestra de tal manera que los 15 minutos de tratamiento fueran dados en una temperatura de operación de 41°C.

1.3 Filtración de la solución tratada: La solución fue filtrada inmediatamente después de su tiempo de tratamiento de la siguiente forma:

- Se mezcló agua con tierra de diatomeas en un beaker de 1000 mililitros.
- Se bombeó la mezcla de agua - tierra de diatomeas de 5 a 10 minutos antes de completar el tiempo de tratamiento de la solución de azúcar, con una bomba peristáltica marca Randolph através de un filtro prensa de un solo marco y plato (detallado en la sección 8). La precapa se consideraba formada cuando el agua que salía no era turbia, lo que indicaba ya no estar arrastrando tierra de diatomeas.

- Con la precapa lista, justamente a los 15 minutos del tratamiento de la solución, se cerraba la llave que permitía el paso de la mezcla agua - tierra de diatomeas y se abría la llave que daba paso a la solución de azúcar con carbón a filtrar.

2. Variación de los parámetros de refinamiento

2.1 Variación de tiempos: Los tiempos de contacto para el tratamiento dado a la muestra según el paso 1.2, variaron con 15, 30, 45, 60, 75 y 90 minutos para unos y de 15 a 60 minutos para otros. En los últimos se ensayó solo en 30 y 60 minutos. El detalle de los refinamientos (tiempo, temperatura, etc.) aparece en la sección de resultados y discusión.

2.2 Variación de temperatura: Después de haber variado el tiempo de contacto en la temperatura de operación de 41°C se procedió desde 1.1 hasta 1.3 con las siguientes temperaturas de operación: 53, 64 y 78.5°C; variando en cada temperatura los tiempos de contacto como lo descrito en 2.1.

2.3 Variación en la cantidad de carbón activado:

Aquí se varió la cantidad de carbón activado con respecto a la solución de azúcar a refinar de 0.2, 0.4 y 0.6% en peso. La temperatura de operación para estos refinamientos fue de 79°C y se siguió el procedimiento de 1.1 hasta 1.3 incluyendo la variación de tiempos.

2.4 Variación de la concentración del azúcar: Se varió la concentración de las soluciones de azúcar a refinar de 21.6 a 36.8, 50.3 y 64.2°Brix. La temperatura de operación fue de 63°C y el porcentaje de carbón activado fue de 0.4%.

3. Recepción de las muestras: Las muestras fueron recibidas después del tratamiento en un beaker de 2 litros

y solo se tomó en un tubo de ensayo una pequeña cantidad de la solución refinada para ser analizada. Cuando se deseó hacer conteo microbiológico a las muestras refinadas, estas fueron tomadas en bolsas estériles para evitar contaminación debida al receptor de la muestra.*

B. Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de muestras de azúcar

Procedimiento

Se efectuaron análisis de azúcares de distintos ingenios del mercado centroamericano.

1. Análisis fisicoquímico

1.1 Polarización: Se pesaron $26.000 \pm 2 \times 10^{-4}$ gramos de sacarosa marca Merck con una rotación específica de $+66.4$ a $+66.7^0$ al evaluar una solución al 10% en agua con un polarímetro de luz de sodio a 20°C . Fueron disueltos en agua destilada y se aforó la solución a 100 ml.

Se midió la rotación de esta solución en un polarímetro marca Polyscience modelo SR-6 con luz de sodio y un tubo de 200 mm de longitud. Esta rotación fue tomada como 100.0° de

* Ya que no a todas las muestras se les hizo conteo microbiológico, cuando se iba a utilizar la muestra para ello, se bombeó una solución de hipoclorito de calcio por todo el sistema antes de dar el proceso de refinamiento. Solo se efectuaron conteos microbiológicos a muestras representativas de distintos tiempos y temperaturas de refinamiento, ya que de estos factores se pretendía conocer su influencia en la eliminación de microorganismos.

Nota: El equipo utilizado para el refinamiento aparece detallado en la sección de apéndices.

polarización* y el agua destilada fue tomada como el 0.0°

Se disolvió cada muestra de azúcar para hacer una solución de $26.0000 \pm 2 \times 10^{-4}$ gramos en 100 ml y le fue medida la rotación a cada una de ellas.

1.2 Contenido de cenizas: Se pesaron $26.000 \pm 2 \times 10^{-4}$ gramos de azúcar y fueron disueltos en agua destilada y la solución fue aforada a 100 ml.

Cada solución hecha fue filtrada y se procedió a medir su conductancia específica en un puente de conductividad marca Hach Dr- el/2 modelo 2506-05 con una incertidumbre de ± 1 mmho/cm.

1.3 Color del azúcar: Se prepararon soluciones de azúcar al 50% p/p con agua destilada.

Se ajustó el pH de las soluciones a 5.0 con ácido clorhídrico 0.1 N. Se midió el brix de la solución con un refratómetro Abbe marca American Optical modelo 10450 con lectura para brix y compensación por temperatura con incertidumbre de $\pm 0.1^\circ$ brix.

Se midió la absorbancia de la solución en dos longitudes de onda, 420 y 720 nm., en un espectrofotómetro Bausch & Lomb modelo Spectronic 21 con lectura digital y posibilidad ultra violeta. La incertidumbre en lecturas de absorbancia es de \pm

* Según ICUMSA (9) $\alpha_{20.00^\circ\text{C}}$
 $589.440 \text{ nm} = 34.616^\circ$ en un tubo de 200 mm de largo, corresponde a 100°S (polarización) para una solución de 26.0000 gramos de sacarosa en 100 ml de solución con agua destilada.

$\alpha_{20.00^\circ\text{C}}$
 $589.440 \text{ nm} = 0^\circ$ para agua destilada

0.003. Se uso una celda fotométrica de 1 cm. de grosor. El blanco fué agua destilada.

1.4 Turbidez de la solución de azúcar: Se utilizó el valor de absorbancia en 720 nm de 1.3 para la determinación de turbidez.

2. Análisis microbiológico

Se prepararon soluciones al 20% en peso del azúcar a analizar con agua estéril.

Se filtraron 50 gramos de la solución a través de una membrana con poros de diámetro de 0.45 micrómetros, y 50 gramos por otra con diámetro de 0.80 micrómetros.

Se aplicó una ampolla con un medio nutritivo para el crecimiento de bacterias en una almohadilla absorbente abajo de la primera membrana y un medio nutritivo para hongos y levaduras abajo de la segunda.

Todo lo anterior es parte de equipo para análisis microbiológicos y es estéril. Las muestras fueron incubadas a 33°C durante 48 horas, procediendo luego al conteo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

A. Evaluación fisicoquímica de azúcares

En la tabla 4.1 se encuentran reportados los valores de color y turbidez de distintas muestras de azúcar provenientes de ingenios del área centroamericana. La tabla 5.2 muestra los valores de polarización de algunos azúcares de Centro América. Las dos tablas anteriores son una recopilación de datos no publicados de una compañía de bebidas carbonatadas. En lo que se refiere al contenido de cenizas no se encuentran tabulados, sin embargo, la determinación de este parámetro en azúcares de varios ingenios dio que todos los ensayados estaban dentro de estándares con un amplio margen, ya que el estándar para este factor es de 0.015% máximo y todos los azúcares evaluados estuvieron alrededor de un 0.008%.

Con los resultados anteriormente mencionados se puede empezar a optimizar el método de refinamiento, con el solo hecho de elegir el proveedor de mejor calidad. Con la tabla 4.1 se puede comparar fácilmente la calidad de los azúcares.

En el caso de Guatemala se observó que existen ingenios que proveen de azúcar de calidad estable y muy superior a sus competidores, como es el caso del Ingenio Pantaleón que tuvo un valor promedio de color (en RBU) de 140 sin mucha variación. Definitivamente al refinar este azúcar de mejor calidad desde el inicio, se puede llevar a estándares fácilmente al

contrario de azúcares de mala calidad. Con una eliminación de 70 a 75% del color inicial se logra un color aproximado de 35 RBU que es la norma (una eliminación de color de esta magnitud se pudo obtener en el refinamiento reportado en la tabla 4.1). Sumado a lo anterior se encuentra una polarización y contenido de cenizas dentro de estándares.

Aunque otros ingenios de Guatemala producen azúcar con valores bajos de color, la calidad no es estable, por lo que no se puede garantizar con la misma certeza qué tan buen o mal azúcar sea. Sin embargo la existencia de valores bajos indican la posibilidad de mantener la calidad deseada.

B. Resultados de pruebas de refinamiento

1. Efecto del tiempo

De las tablas 4.3 y 4.11 se observa que al aumentar el tiempo de contacto entre el carbón activado y la solución de azúcar, aumenta el porcentaje de color inicial removido. Aunque en estas 9 tablas varían una serie de parámetros, el comportamiento mencionado se observa siempre. Si se toma la tabla 4.3 se ve que a los treinta minutos el porcentaje de color inicial removido es de 44,5 y a los sesenta minutos es de 47.5. Sin embargo también en esta tabla se puede observar que al transcurrir el tiempo para cada Δ tiempo el color eliminado es menor con respecto a Δ tiempo anteriores y llega un momento en que no se elimina más, o lo que se elimina es muy poco.

Las causas del último fenómeno podrían ser: Que ya no

hay materia orgánica que remover, siendo la coloración de otro origen. O bien, que el carbón está saturado de impurezas y no puede adsorber más. Puede ser que ambas sean las causas y al sumar los hechos muy poca materia orgánica, carbón

Tabla 4.1

Valores de color y turbidez de azúcares de distintos proveedores tomados en mercado y bodegas de embotelladoras centroamericanas

Ingenio proveedor	Color (RBU) <u>+10</u>	Turbidez (RBU) <u>+11</u>
Pantaleón	72	49
	139	29
	152	46
	163	55
	175	23
Magdalena	179	117
	360	390
	375	205
El Salto	152	99
	320	321
El Pilar	188	162
	217	66
La Unión	240	135
	396	83
Concepción	360	94
	420	163
Santa Ana	318	75
San Diego	212	101
Santa Teresa	217	231
Tutlulá	467	212
Desconocido	337	108

Tabla 4.1 Continuación

Ingenio proveedor		Color (RBU) ₊₁₀	Turbidez (RBU) ₊₁₁
	El Salvador	592	104
Inazucar		649	292
Desconocido		594	161
San José	—	396	230
		408	245
		767	451
	Honduras		
Río Lindo		218	306
		490	331
Cumbagua		335	247
		392	313
		565	227
		501	210
Azucarera del Norte		444	49
Azucarera Central	—	436	109
	Nicaragua		
Desconocido (de nacionalidad cubana)		63	14
Desconocido	—	502	312
Liga de caña		116	117
		236	247
		398	488
	Costa Rica		
		337	296
		754	229
		921	567
Santa Rosa	—	86	20
	Panamá		
Victoria		754	230

Tabla 4.2

Valores de polarización de varios azúcares
de distintos proveedores

Ingenio proveedor	Polarización $\pm 0.3^\circ$
Pantaleón	100.3
	100.0
	Guatemala
El Pilar	99.7
El Salto	100.3
Río Lindo	99.1
	Honduras
Cumbagua	99.4
Azucarera del Norte	99.1
Azucarera Central	100.3
Desconocido (cubano)	Nicaragua
	100.3
Liga de Caña	Costa Rica
	100.3

semi saturado y condiciones de operación desfavorables (como temperatura y viscosidad de la solución) impiden que el refinamiento continúe. Basados en lo anterior debe existir un tiempo óptimo de refinamiento, que varía con la calidad del azúcar y con los otros parámetros del refinamiento.

2. Efecto de la temperatura

Al observar las tablas 4.3 a 4.6 se puede establecer una relación entre la temperatura de operación y el porcentaje de color inicial removido. Las tablas presentan los resultados de variar la temperatura: 41, 53, 64 y 78,5°C; dejando todos los demás parámetros fijos. La relación de las cuatro tablas mencionadas (que contiene procesos de refinamiento en

las temperaturas anteriores respectivamente) se encuentra en la gráfica 4.1. En la misma puede observarse gráficamente las líneas de temperatura de operación contra remoción de color a distintos tiempos.

La temperatura es un factor muy importante en el refinamiento ya que con llevarlo a cabo a 41°C se obtuvo un 47. % de color inicial removido (tabla 4.3). Mientras que a 78.5°C se removi6 el 67.5% (tabla 4.6).

Definitivamente a mayor temperatura se logra una mayor eliminación de color. Sin embargo las temperaturas más altas estudiadas estuvieron alrededor de 80°C , lo cual fue hecho así ya que el azúcar a temperaturas mayores puede caramelizar y oscurecerse. Debido a esto no es recomendable trabajar con azúcar blanca arriba de 80°C .

Tabla 4.3

Valores de absorbancia, color, turbidez y porcentaje de remoción de color de una solución de azúcar con distintos tiempos de refinamiento

Tiempo de contacto (minutos)	A420 nm	A720 nm	Color (RBU)	Turbidez (RBU)	% de eliminación de color
o (sin refinar)	0.240	0.023	375	77	0
15	0.152	0.020	187	67	42.0
30	0.129	0.010	182	33	44.5
45	0.124	0.010	174	33	46.5
60	0.120	0.009	171	30	47.5
75	0.116	0.007	171	23	47.5
90	0.114	0.007	171	23	47.5

Temperatura de refinamiento: 41°C
 Concentración de la solución: 49.0°Bx
 % de carbón activado: 0.4%*

* El porcentaje de carbón activado es con respecto al peso del azúcar tratado.

Condiciones de la operación que no influyen en la remoción del color.
 - Flujo volumétrico durante la filtración: 420 lt/hr-m²
 - Caída de presión entre la entrada y la salida del filtro: 14 psig.
 - Cantidad de auxiliar filtrante (tierra de diatomeas): 0.12%

Tabla 4.4

Valores de absorbancia, color, turbidez y porcentaje de remoción de color de una solución de azúcar con distintos tiempos de refinamiento

Tiempo de contacto (minutos)	420 nm	720 nm	Color (RBU)	Turbidez (RBU)	% de eliminación de color
0 (sin refinar)	0.209	0.021	282	71	0
15	0.129	0.017	161	57	43.0
30	0.113	0.011	154	37	45.5
45	0.102	0.009	142	30	49.5
60	0.092	0.007	132	24	53.0
75	0.090	0.006	132	20	53.0
90	0.090	0.006	132	20	53.0

Temperatura de refinamiento: 53°C
 Concentración de la solución: 48.6°Bx
 % de carbón activado: 0.4%*

* El porcentaje de carbón activado es con respecto al peso del azúcar tratado.

Condiciones de la operación que no influyen en la remoción de color.

- Flujo volumétrico durante la filtración: 300 lt/hr-m²
- Caída de presión entre la entrada y la salida del filtro: 13.5 psig
- Cantidad de auxiliar filtrante (tierra de diatomeas): 0.15%

Tabla 4.5

Valores de absorbancia, color, turbidez y porcentaje de remoción de color de una solución de azúcar con distintos tiempos de refinamiento

Tiempo de contacto (minutos)	420 nm	720 nm	Color (RBU)	Turbidez (RBU)	% de eliminación de color
o (sin refinar)	0.286	0.036	346	117	0
15	0.153	0.021	180	68	48
30	0.133	0.017	160	55	54
45	0.122	0.015	149	49	57
60	0.118	0.014	146	45	58

Temperatura de refinamiento: 64°C
 Concentración de la solución: 50.3°Bx
 % de carbón activado: 0.4%*

- * El porcentaje de carbón activado es con respecto al peso del azúcar tratado.
- Condiciones de la operación que no influyen en la remoción del color.
- Flujo de volumétrico durante la filtración: 680 lt/hr- m²
 - Caída de presión entre la entrada y la salida del filtro: 11.5 psig
 - Cantidad de auxiliar filtrante (tierra de diatomeas): 0.25%

Tabla 4.6

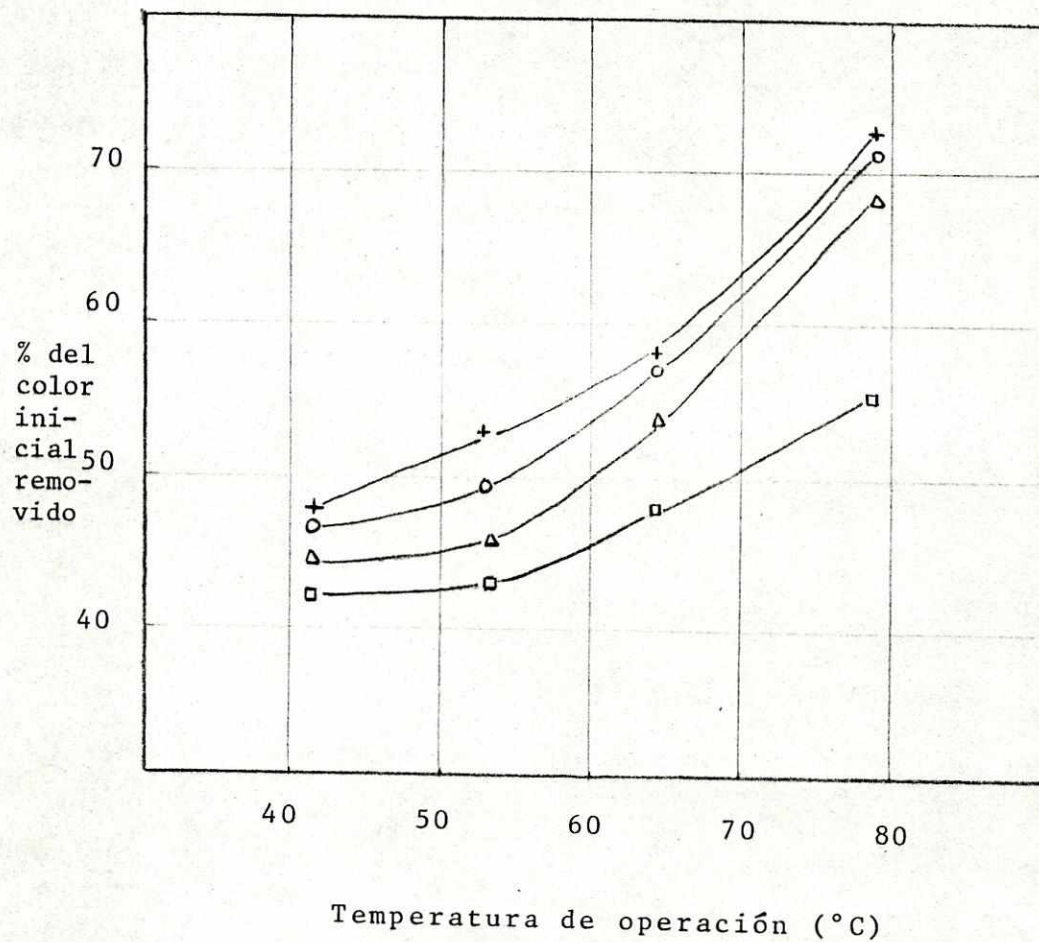
Valores de absorbancia, color, turbidez y porcentaje de remoción de color de una solución de azúcar con distintos tiempos de refinamiento

Tiempo de contacto (minutos)	420 nm	720 nm	Color (RBU)	Turbidez (RBU)	% de eliminación de color
0 (sin refinar)	0.301	0.026	397	83	0
15	0.151	0.020	177	64	55.5
30	0.154	0.032	144	102	63.5
45	0.129	0.023	132	73	66.5
60	0.129	0.024	129	77	67.5

Temperatura de refinamiento: 78.5°C
 Concentración de la solución: 50.9°Bx
 % de carbón activado: 0.4%*

- * El porcentaje de carbón activado es con respecto al peso del azúcar tratado.
- Condiciones de la operación que no influyen en la remoción del color.
- Flujo de volumétrico durante la filtración: 1170 lt/hr-m²
 - Caída de presión entre la entrada y la salida del filtro: 12 psig
 - Cantidad de auxiliar filtrante (tierra de diatomeas): 0.18%

Gráfica 4.1
Influencia de la temperatura en la remoción del color



- + tiempo de contacto 60 min.
- o tiempo de contacto 45 min.
- Δ tiempo de contacto 30 min.
- tiempo de contacto 15 min.

3. Efecto de la cantidad de carbón activado

Una correlación para establecer la influencia de la cantidad de carbón en la remoción de color puede hacerse con ayuda de las tablas 4.6, 4.7 y 4.8. La misma aparece en la gráfica 4.2 donde se observa claramente que existe una mejor remoción de color cuando se utiliza una mayor cantidad de carbón.

Con un porcentaje de carbón de 0.2, se logró eliminar el 42% del color inicial. Con un 0.4% de carbón se eliminó el 67.5% y con 0.6% se eliminó el 73.5% del color inicial. Todos los demás parámetros del refinamiento fueron igual para las tres pruebas.

Aunque no se buscó el valor óptimo para esta relación, valores obtenidos son útiles para la optimización conjunta de todo el método. Con una cantidad muy alta de carbón (1% o más) se eliminará más color, pero el costo de refinamiento será muy alto (por el costo del carbón). Además, con los resultados obtenidos a lo largo del trabajo, es muy probable que impurezas inorgánicas (que no son adsorbidas por el carbón) sean las causantes del color no removido.

4. Efecto de la concentración de la solución

La influencia de la concentración de solución refinada en el proceso de eliminación de color puede establecerse con ayuda de las tablas 4.5, 4.9, 4.10 y 4.11. Dicha influencia aparece en la gráfica 4.3 donde se observa que a mayor concentración de la solución, menos color puede ser eliminado con

procesos de refinamiento idénticos.

Para una solución de 64,2°Brix se eliminó el 57.5%, para una solución de 50.3°Brix se eliminó el 58%, para un 36.8°Brix la eliminación del color fue el 73% y para 21.6°Brix, 77.5%.

Entre el porcentaje de color eliminado de la solución de 64.2 y la de 53.0°Brix no existe una diferencia significativa. La razón para esto puede ser error en el análisis o en el proceso de refinamiento debido a la alta viscosidad y el difícil manejo de la solución mas concentrada.

Tabla 4.7

Valores de absorbancia, color, turbidez y porcentaje de remoción de color de una solución de azúcar con distintos tiempos de refinamiento

Tiempo de contacto (minutos)	A420 nm	A720 nm	Color (RBU)	Turbidez (RBU)	% de eliminación de color
0 (sin refinar)	0.264	0.032	339	108	0
30	0.148	0.011	213	37	37
60	0.134	0.009	197	31	42

Temperatura de refinamiento: 79°C
 Concentración de la solución: 48.5°Bx
 % de carbón activado: 0.2%*

* El porcentaje de carbón activado es con respecto al peso del azúcar tratado.

Condiciones de la operación que no influyen en la remoción del color.

- Flujo de volumétrico durante la filtración: 965 lt/hr-m²
- Caída de presión entre la entrada y la salida del filtro: 12 psig
- Cantidad de auxiliar filtrante (tierra de diatomeas): 0.15%

Tabla 4.8

Valores de absorbancia, color, turbidez y porcentaje de remoción de color de una solución de azúcar con distintos tiempos de refinamiento

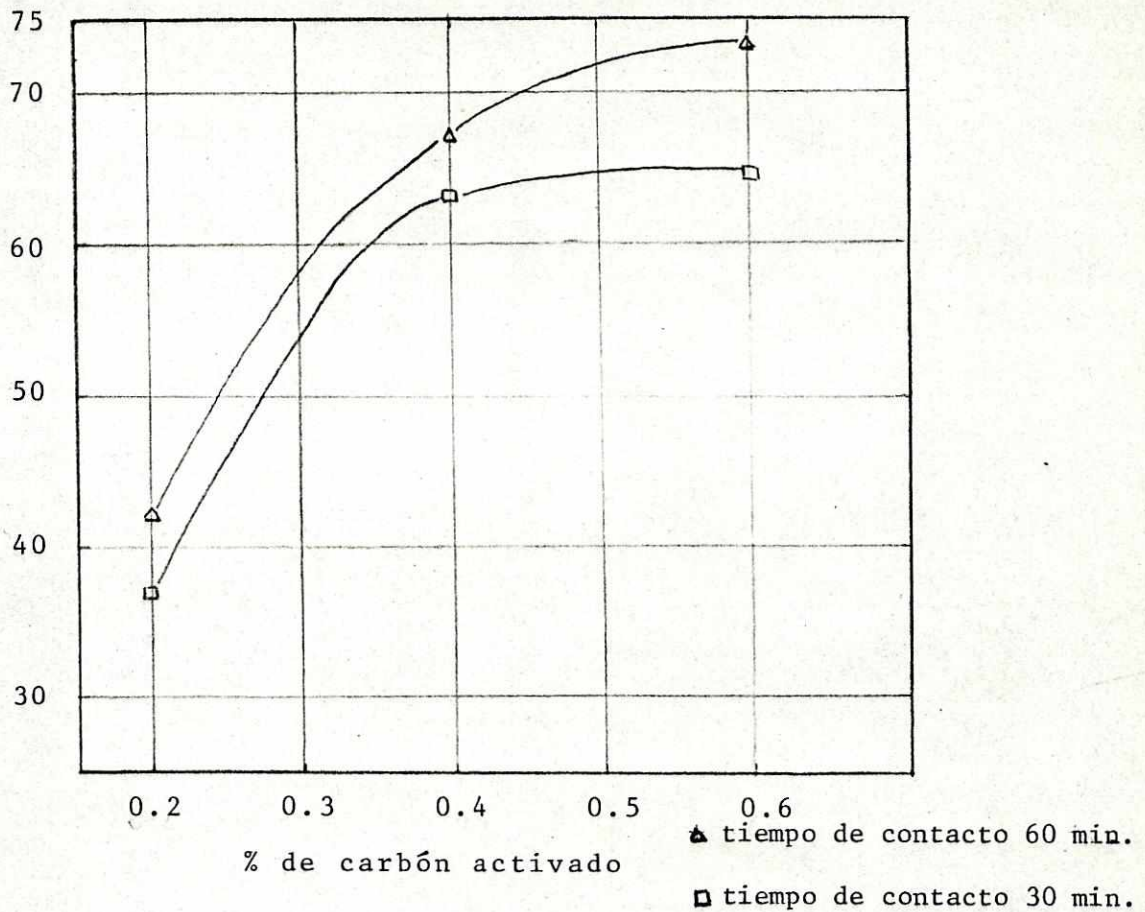
Tiempo de contacto (minutos)	A420 nm	A720 nm	Color (RBU)	Turbidez (RBU)	% de elimina ción de color
0 (sin refinar)	0.419	0.103	352	340	0
30	0.165	0.045	124	145	65
60	0.127	0.036	93	122	73.5

Temperatura de refinamiento: 79.5°C
 Concentración de la solución: 49.5°Bx
 % de carbón activado: 0.6%*

- * El porcentaje de carbón activado es con respecto al peso del azúcar tratado.
- Condiciones de la operación que no influyen en la remoción del color.
- Flujo de volumétrico durante la filtración: 930 lt/hr-m²
 - Cárda de presión entre la entrada y la salida del filtro: 12.5 psig
 - Cantidad de auxiliar filtrante (tierra de diatomeas): 0.3%

Gráfica 4.2

Influencia de la cantidad de carbón activado en la remoción del color



Gráfica 4.3

Influencia de la concentración de la solución en la remoción del color

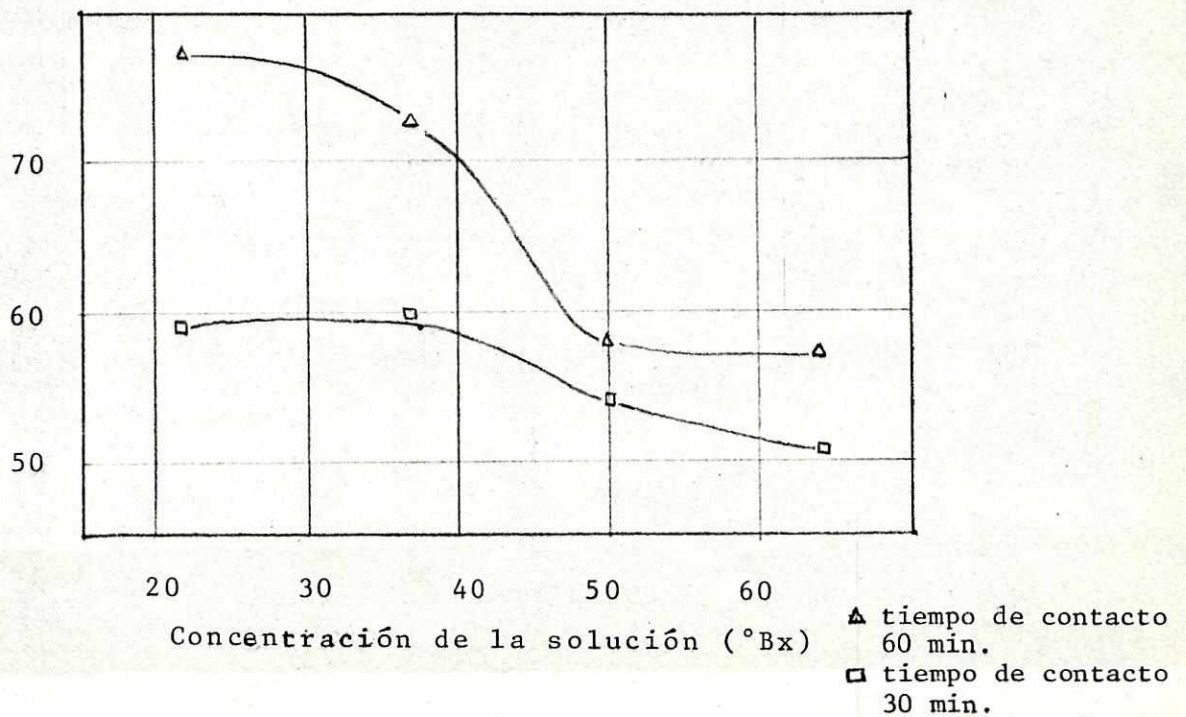


Tabla 4.9

Valores de absorbancia, color, turbidez y porcentaje de remoción de color de una solución de azúcar con distintos tiempos de refinamiento

Tiempo de contacto (minutos)	A420 nm	A720 nm	Color (RBU)	Turbidez (RBU)	% de eliminación de color
0 (sin refinar)	0.069	0.010	270	110	0
30	0.026	0.004	99	44	59
60	0.015	0.002	61	22	77.5

Temperatura de refinamiento: 62°C
 Concentración de la solución: 21.6°Bx
 % de carbón activado: 0.4%*

* El porcentaje de carbón activado es con respecto al peso del azúcar tratado.

Condiciones de la operación que no influyen en la remoción del color,

- Flujo de volumétrico durante la filtración: 895 lt/hr-m²
- Caída de presión entre la entrada y la salida del filtro: 10.5 psig
- Cantidad de auxiliar filtrante (tierra de diatomeas); 0.2%

Tabla 4.10

Valores de absorbancia, color, turbidez y porcentaje de remoción de color de una solución de azúcar con distintos tiempos de refinamiento

Tiempo de contacto (minutos)	A420 nm	A720 nm	Color (RBU)	Turbidez (RBU)	% de eliminación de color
0 (sin refinar)	0.175	0.030	279	146	0
30	0.066	0.010	112	46	60
60	0.043	0.006	75	29	73

Temperatura de refinamiento: 62.5°C
 Concentración de la solución: 36.8°Bx
 % de carbón activado: 0.4%*

* El porcentaje de carbón activado es con respecto al peso del azúcar tratado.

Condiciones de la operación que no influyen en la remoción del color.

- Flujo de volumétrico durante la filtración: 895 lt/hr-m²
- Caída de presión entre la entrada y la salida del filtro: 11.5 psig
- Cantidad de auxiliar filtrante (tierra de diatomeas): 0.2%

Tabla 4.11

Valores de absorbancia, color, turbidez y porcentaje de remoción de color de una solución de azúcar con distintos tiempos de refinamiento

Tiempo de contacto (minutos)	A420 nm	A720 nm	Color (RBU)	Turbidez (RBU)	% de eliminación de color
0 (sin refinar)	0.287	0.051	223	123	0
30	0.130	0.20	109	48	51
60	0.108	0.015	94	36	57.5

Temperatura de refinamiento: 62°C
 Concentración de la solución: 64.2°Bx
 % de carbón activado: 0.4%*

- * El porcentaje de carbón activado es con respecto al peso del azúcar tratado.
 Condiciones de la operación que no influyen en la remoción del color.
 - Flujo de volumétrico durante la filtración: 475 lt/hr-m²
 - Caída de presión entre la entrada y la salida del filtro: 12.5 psig
 - Cantidad de auxiliar filtrante (tierra de diatomeas): 0.2%

C. Polarización y contenido de cenizas

Las razones por las que se relacionaron todas las variables de refinamiento sólo con color son las siguientes:

Debido a que la polarización del azúcar indica pureza de la sacarosa, un azúcar muy húmeda no cumplirá con esta norma al igual que otra que contenga cristales de otros carbohidratos. Sin embargo, con el refinamiento que se estudió en este trabajo no se deseaba eliminar el agua, puesto que el azúcar formará parte de una solución acuosa. Los carbohidratos que son contaminantes, cristalizaron y ahora formarán parte de la solución.

El estándar de polarización debe ser controlado en la materia prima (al comprar el azúcar), para evitar comprar agua en vez de azúcar y no introducir otros carbohidratos que puedan causar malas mediciones y dosificaciones del edulcorante en la formulación del producto.

El contenido de cenizas en los azúcares analizados estuvo en normas, aunque no se analizaron todos. Por lo anterior y además, por ser éste un método que elimina impurezas orgánicas; el refinamiento no pretendía eliminar cenizas.

Con respecto a la precapa utilizada sobre el medio filtrante sólo son reportadas las tablas 4.12 y 4.13. En ellas se observa los valores de caída de presión en el filtro prensa: cuando la precapa estuvo mal formada y bien formada, respectivamente. Con la precapa mal formada la caída de presión aumentó rápidamente y el flujo del jarabe filtrado disminuyó. Al limpiar el filtro se notó que no existía una precapa bien definida. Con la precapa bien formada la caída de presión se mantuvo relativamente constante y el flujo no disminuyó apreciablemente.

Tabla 4.12

Valores de caída de presión entre la entrada y la salida del filtro prensa con una precapa mal formada durante una filtración

Tiempo de filtración (minutos)	0	11	18	25	31	39	42	48
P (psig) _± 0.5	0	9	11	13	15	17	18.5	20
Flujo volumétrico (lt/hr-m ²) _± 30	350	255	230	200	157	105	84	53

Temperatura de la solución: 64°C

Concentración de la solución de azúcar: 50°Bx

Tabla 4.13

Valores de caída de presión entre la entrada y la salida del filtro prensa con una precapa bien formada durante la filtración

Tiempo de filtración (minutos)	0	5	10	20	30	40	50
P (psig) _± 0.5	0	10.0	11.0	11.0	11.5	11.5	11.5
Flujo volumétrico (lt/hr-m) _± 30	800	750	740	755	735	745	740

Temperatura de la solución: 62.5°C

Concentración de la solución de azúcar: 48°Bx

D. Turbidez

La turbidez de la solución de azúcar es un parámetro importante en el proceso de refinamiento y aparece calculada y reportada de la tabla 4.03 a la 4.11. El motivo por el que se reportó es, que su cálculo se facilita con el dato de absorbancia en 720 nm utilizado en el cálculo del color. En todas las tablas se nota que conforme transcurre el tiempo de refinamiento, la turbidez de la solución disminuye. Lo anterior se debe a que cada una de las tablas mencionadas fue construida con un mismo proceso de filtración y conforme la capa fue más gruesa se obtuvo un poro de diámetro más pequeño, eliminando un mayor número de impurezas insolubles.

Para haber obtenido un mejor resultado de turbidez varios factores hubieran ayudado, entre ellos: circular la mezcla de tierra de diatomeas que formó la precapa un poco más de tiempo; con esto se pudo haber logrado precapa más comprimida y con mejor poro a la vez que se asegura un poco más el hecho de que la precapa está formada. Otro factor importante es la cantidad de auxiliar filtrante, el cual pudo haber estado presente en una cantidad mayor.

La razón de por qué no se optimizó en la cantidad de auxiliar filtrante es que dicho estudio se debe hacer en cada filtro, donde se optimizará por medio de grosor de la precapa; tierra de diatomeas que se necesita adicionar durante la filtración, para lograr un buen flujo. Ambas se optimizan con respecto al espacio entre platos.

E. Contenido microbiológico

Las pruebas microbiológicas que se hicieron para la elección de un método de refinamiento fueron; Relacionar el conteo de bacterias, hongos y levaduras en un azúcar refinado, con el tiempo y temperatura del refinamiento. Los resultados de las pruebas hechas aparecen en la tabla 4.14.

Un refinamiento que llevó a normas (microbiológicamente) el azúcar utilizó un tiempo de 90 minutos a una temperatura de 66°C. Otro fue dado a 80°C donde antes de los 40 minutos se había llegado a las normas.

Para elegir uno de los dos basta con conectar dichos tiempos y temperaturas a los resultados fisicoquímicos. Al evaluar el primero, lo primero en su contra es que con 90 minutos de refinamiento no se logra eliminar mucho mas el color que con 60 minutos por ejemplo. Pasando al segundo se observa que su única desventaja frente al primero es una mayor necesidad de calor (subir de 66 a 80°C). Sin embargo la temperatura de 80°C se hace necesaria en muchos casos para lograr eliminar el color deseado. Por lo anterior es una elección lógica un método de refinamiento a 80°C con por lo menos 40 minutos de tratamiento para cumplir con estándares.

A las muestras sin refinar no les fue hecho análisis microbiológico, debido a que en estudios anteriores se ha encontrado que en todas las muestras de azúcar sulfitada existe una alta contaminación. Estudios en azúcar refinada (República Dominicana y Panamá) han dado recuentos microbiológicos que satisfacen las normas o quedan muy cerca de ellas.

Tabla 4.14

Recuento microbiológico de soluciones de azúcar refinado a distintas temperaturas y durante distintos tiempos

Tiempo (min)	Temperatura (°C \pm 2)	Bacterias totales/10 gr azúcar \pm 3	Hongos/10 gr azúcar \pm 2	Levaduras/10 gr azúcar \pm 2
90	41	más de 200	18	44
60	53	más de 200	15	39
90	53	más de 200	14	34
60	66	128	11	15
90	66	106	10	10
40	80	76	6	7
60	79	64	2	4

F. Uso de melazas

Con respecto a la probabilidad del uso de melazas como edulcorante para esta industria no se realizó ningún trabajo práctico.

Con los datos encontrados en la bibliografía para melazas se descubrió la no factibilidad de su utilización. El grado de inversión de la sacarosa en las melazas es muy variante. Esto afecta en la industria de bebidas carbonatadas ya que no se puede hacer una formulación de producto sin conocer la cantidad de sacarosa ó frustosa y glucosa, exactamente. Además existen otros azúcares que afectan de igual forma.

La cantidad de materia inorgánica que posee es de 7 a 15% o sea 100 veces arriba de la norma. Sumado a lo anterior un

método de refinamiento que utiliza carbón activado como adsorbente, hace a las melazas no disponibles.

Por último, una razón de peso es que, las melazas tal como están constituidas tienen mejores usos, por ejemplo: Alimento desde microorganismos (que abre la puerta a todas las industrias de bio-ingeniería) hasta alimento para ganado.

V. CONCLUSIONES

Después de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos efectuados en los azúcares centroamericanos y de estudiar el método de refinamiento propuesto se puede concluir:

Ningún azúcar sulfitado de todos los analizados estuvo en normas, quedando fuera de ellas por cualidades como color, turbidez y conteo microbiológico.

Entre los azúcares sulfitados, existen unos cuya calidad no permite llegar a normas aún después de ser tratados por el método de refinamiento estudiado. Sin embargo existen otros que pueden ser llevados a normas después del refinamiento.

El proveedor de azúcar debe ser elegido de tal manera que su producto pueda ser llevado a normas; con una mejor calidad de azúcar el esfuerzo de refinar es menor.

Con la calidad actual de los mejores azúcares analizados (Pantaleón), el método de refinamiento debe aplicarse con mucho gasto de energía y tiempo, si se quiere refinar hasta un azúcar en normas. Una solución que beneficiaría económicamente el proceso de refinamiento es la de exigir mejor calidad a los proveedores, los cuales sólo deben hacer más eficiente su proceso de sulfitación.

El método de refinamiento propuesto es efectivo e implica el menor costo de inversión posible. El costo resulta bajo debido a que en las plantas donde se desea implementar existe el equipo necesario o parte de el.

Todas las plantas cuentan con filtro prensa y tanques como mínimo. Quienes no poseen el resto del equipo necesitarán un tanque con calentamiento y agitación y un sistema de enfriamiento.

El tanque con calentamiento y agitación puede ser construido a partir de uno de los tanques que poseen, rodeándolo con un serpentín y aislamiento. También crece la necesidad de vapor, por lo que se debe mejorar la capacidad de la caldera.

Si se desea comprar un tanque nuevo enchaquetado, con agitación y construido en acero inoxidable el costo es de aproximadamente Q.10,000.00 (1er. trimestre de 1985). La construcción de dicho tanque puede hacerse en Centro América.

El costo del sistema de enfriamiento varía de acuerdo a su capacidad de enfriamiento pero su valor aproximado está en el orden de los Q.40,000.00. Sin embargo en todas las plantas existen sistemas de enfriamiento los cuales pueden necesitar solo la compra de una ampliación. Incluso el enfriamiento puede hacerse con una etapa a través de torre de enfriamiento y otra con sistema de refrigeración.

El costo de operación de este método de refinamiento con respecto a plantas donde usan este refinamiento pero a temperatura ambiente solo incrementará por el gasto de energía de calentamiento y enfriamiento. Disminuyendo por el contrario el tiempo de operación.

Donde solo filtración simple esta utilizada como método de refinamiento el incremento de costo de operación consistirá en: costo de la tierra de diatomeas, costo del carbón ac-

tivado, tiempo de operación y energía de enfriamiento y calentamiento.

No se hizo una evaluación económica ni se profundizó en este aspecto más que lo anteriormente descrito. La razón para no hacerlo es que no existen alternativas baratas. La primera alternativa sería importar azúcar refinado en normas. El lugar más cercano sería México y Panamá quienes deben llenar sus propias necesidades. Existe problema de transporte, de divisas y en si, sería de poco sentido común importar un gran volumen de azúcar a un país productor de éste. La segunda alternativa es no refinar el azúcar sulfitado y quedar fuera de normas. Las malas consecuencias surgen de inmediato con mala calidad del producto. Con mala calidad en un producto rodeado de competencia se obtienen ventas bajas; la calidad no tienen precio.

VI. RECOMENDACIONES

La primera recomendación, importante y sin costo alguno es la de hablar con los encargados del control de calidad de los ingenios informando de la deficiente sulfitación que se está dando al azúcar, la cual incide en el color oscuro del azúcar. El incentivo mayor para que los ingenios del medio sulfiten mejor es el simple hecho de que existen ingenios que lo hacen y que actualmente están en ventaja de preferencia.

Como segunda recomendación se generaliza un método de seguimiento de la calidad del azúcar, lo cual incidirá en un menor costo de refinamiento y en un azúcar dentro de normas la mayoría de las veces. El método es el siguiente:

1. Evaluar la calidad del azúcar que se compra.

Debido a que en las bodegas de materia prima no se pueden abrir costales de azúcar solo para analizar unos cuantos gramos de éste, se recomienda tomar muestras del jarabe de azúcar antes de refinarlo y analizar sus cualidades. Con la información del ingenio proveedor de este azúcar se puede evaluar la calidad de cada uno de ellos. Esto se debe hacer cada vez que se cambie de proveedor o periódicamente si se decide (o se puede) no cambiar de éste.

2. De acuerdo a la calidad del azúcar dar el tratamiento adecuado.

Si al analizar el azúcar que se va a refinar se observa que su calidad no está muy alejada de normas se debe dar

un refinamiento que lleve en el mínimo a las normas. Este tratamiento se puede determinar con ayuda de las tablas presentadas en la sección de resultados donde se reporta el porcentaje de eliminación de color que se obtiene con cada variable.

3. Se debe ensayar con formación de precapas para poder optimizar la cantidad de tierra de diatomeas a utilizar.

Esto se debe hacer en conveniencia de menor gasto de tierra y por lo tanto un menor costo en la formación de precapa. Una precapa óptima hace parar menos veces un sistema de filtración por filtro prensa, da una menor caída de presión y lo más importante, da una baja turbidez.

4. Se debe ensayar con la máxima contaminación permisible en que se logre eliminar todos los microorganismos al final de un período de vida de una bebida carbonatada.

Como una última recomendación dirigida hacia cualquier persona interesada en la calidad del azúcar centroamericano se plantea la posibilidad de estudiar por un período largo durante el cual haya época de zafra y de mantenimiento, variaciones en la calidad del azúcar. Esto servirá para conocer las causas del alto color del azúcar, si se debe a la procedencia o estado de la caña o a un mal refinamiento en el ingenio o si ambos factores influyen y averiguar en que proporciones.

BIBLIOGRAFIA

- Browne, C., Zerban, F. Physical and chemical methods of sugar analysis. 1941 John Willer & Sons, London. (12).
- Cook, Leon. Laboratory approach optimizes filter-aid addition. "Chemical engineering". 1984 July 23. (14)
- Foust, Alan. Principles of unit operations. 1960 John Willey & Sons. New York. (5).
- Gortatowsky, Claude. Use of sugars and the other carbohydrates in the food industry. 1955 American Chemical Society. (1).
- Hemphill, Gary. "Sweeteners spark further segmentation". 1983 Beverage industry. June 10. (3).
- Hugot, E. Handbook of cane sugar engineering. 1960 Elsevier Publishing Co. New York. (4)
- ICAITI, Survey of the industrial uses of sugar cane molasses. 1968 Guatemala. (8).
- ICUMSA. Methods of sugar analysis. Edited by H.C.S. de Whalley. 1964 Elsevier Publishing Co. New York. (10).
- _____. Sugar analysis. Edited by Ferdinand Schneider. 1979 New York. (9).
- Lachman, Alfred. The role of sucrose in foods. The international sugar research foundation. 1975 (6).
- Lyle, Oliver. Sugar manufacture and refining. London, 1950 Chapman and Hall. London. (7).
- Meade, G., Chen, J. Cane sugar handbook. John Willey & Sons. 1977 New York. (11).
- NSDA. "Production and consumption of soft drinks". Beverage industry. Annual Manual. 1984 (2).
- Perry, J., Chilton, C. Chemical engineers handbook. 1973 Mc Graw Hill. New York.

APENDICES

Apéndice AEjemplos de cálculo:

Para ejemplificar el cálculo de los resultados de color se tomará el siguiente caso:

Una solución de azúcar de concentración igual a 49.0°Bx dió una lectura de 0.240 unidades de absorbancia en una longitud de onda de 420 nm y de 0.023 unidades en 720 nm. La celda fotométrica donde fueron medidas las absorbancias es de 1.0 cm de grosor.

$$\begin{aligned}\text{Color (RBU)} &= \frac{1000 (A_{420\text{nm}} - 2A_{720\text{nm}})}{b \text{ (gr azúcar/ml)}} \\ &= \frac{1000 (0.240 - (0.023)2)}{1.0 (0.598)} \\ &= 325\end{aligned}$$

Con el mismo ejemplo anterior, el cálculo para turbidez es:

$$\begin{aligned}\text{Turbidez (RBU)} &= \frac{1000 (2A_{720\text{nm}})}{b \text{ (gr azúcar/ml)}} \\ &= \frac{1000 (2(0.023))}{1.0 (0.598)} \\ &= 77\end{aligned}$$

Los valores de incertidumbre para color y turbidez fueron asignados por propagación de error atendiendo a:

Las lecturas de absorbancia tenían una incertidumbre de ± 0.003 unidades.

Las lecturas de concentración tenían una incertidumbre de $\pm 0.1^{\circ}\text{Bx}$.

La propagación fue hecha con ayuda de

$$A \pm a + B \pm b = C \pm c$$

$$\text{con } c = (a^2 + b^2)^{1/2}$$

$$y \quad A \pm a \times B \pm b = C \pm c$$

$$\text{con } c = C((a/A)^2 + (b/B)^2)^{1/2}$$

Para ejemplificar el cálculo de flujo volumétrico expresado en lt/hr-m^2 utilizaremos el siguiente dato

El producto obtenido de un proceso de filtración fue de 3.2 ml/seg . El área filtrante fue de dos caras de 77 cm^2 cada una.

$$\begin{aligned} \text{Flujo Vol.} &= \begin{array}{c} \text{Flujo} \\ \text{medido} \end{array} \times \begin{array}{c} \text{Factor} \\ \text{conversión} \end{array} \times \begin{array}{c} \text{Area filtrante} \\ \end{array} \\ &= 3.2 \frac{\text{ml}}{\text{seg}} \times 3.6 \frac{\text{lt}}{\text{hr}} \times \frac{1}{154 \text{ cm}^2} \times 10,000 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}^2} \\ &= 748 \text{ lt/hr-m}^2 \end{aligned}$$

En cada caso el dato de ml/seg fue multiplicado por 233.8 para obtener el valor en lt/hr-m^2 .

La incertidumbre asignada al valor de flujo volumétrico fue una propagación de error partiendo de la variación propia de cada flujo al ser medido en ml/seg .

Apéndice B

Proceso y Equipo

En este apéndice se detalla el proceso y equipo utilizado en el trabajo para la variación de parámetros de refinamiento. El equipo aparece como fue usado en el proceso de refinamiento en la figura A.1. En ésta se puede observar lo siguiente: Con el número 1 se encuentra señalado el tanque de mezcla. Este tanque fue sustituido por un beaker de 400 ml con una estufa como fuente de calentamiento y un agitador de helice pequeño. Aquí se llevaba a cabo la puesta en contacto de la so

lución a refinar con el carbón activado durante cierto tiempo y a una temperatura determinada, la cual era medida con un termómetro de vidrio. El número 2 marca el tanque de tierra de diatomeas. Este fue sustituido por un beaker de 400 ml y fue provisto de un agitador de hélice pequeño. Aquí se hacía la mezcla de tierra de diatomeas-agua, la cual era pasada por el filtro prensa hasta que no había turbidez aparente en el agua que salía de éste. Con el número 3 aparece representada la balanza con que fue medido el carbón activado y la tierra de diatomeas necesarias en el tratamiento. El número 4 marca el sistema de fluidos, el cual será explicado más adelante en esta sección. El número 5 marca el filtro prensa donde fue eliminado el carbón y todas las impurezas adsorbidas o retenidas. Este será explicado mas adelante al igual que el sistema de fluidos. Por último con el número 6 se marca el receptor de muestras. En las diferentes corridas de refinamiento se recibió la muestra en un beaker de 1000 o 500 ml y los pocos mililitros necesarios para hacer análisis eran tomados en tubos de ensayo. Cuando la muestra refinada fue analizada en su contenido microbiológico, el receptor de ésta fue una bolsa estéril. En este punto también se midió el flujo volumétrico de producto refinado con la ayuda de una probeta como receptor y un cronómetro.

b.1 Sistema de fluidos

Este fue el encargado de transportar y hacer pasar a través del filtro la mezcla agua-tierra de diatomeas para formar la precapa y de transportar y hacer pasar a través de el fil-

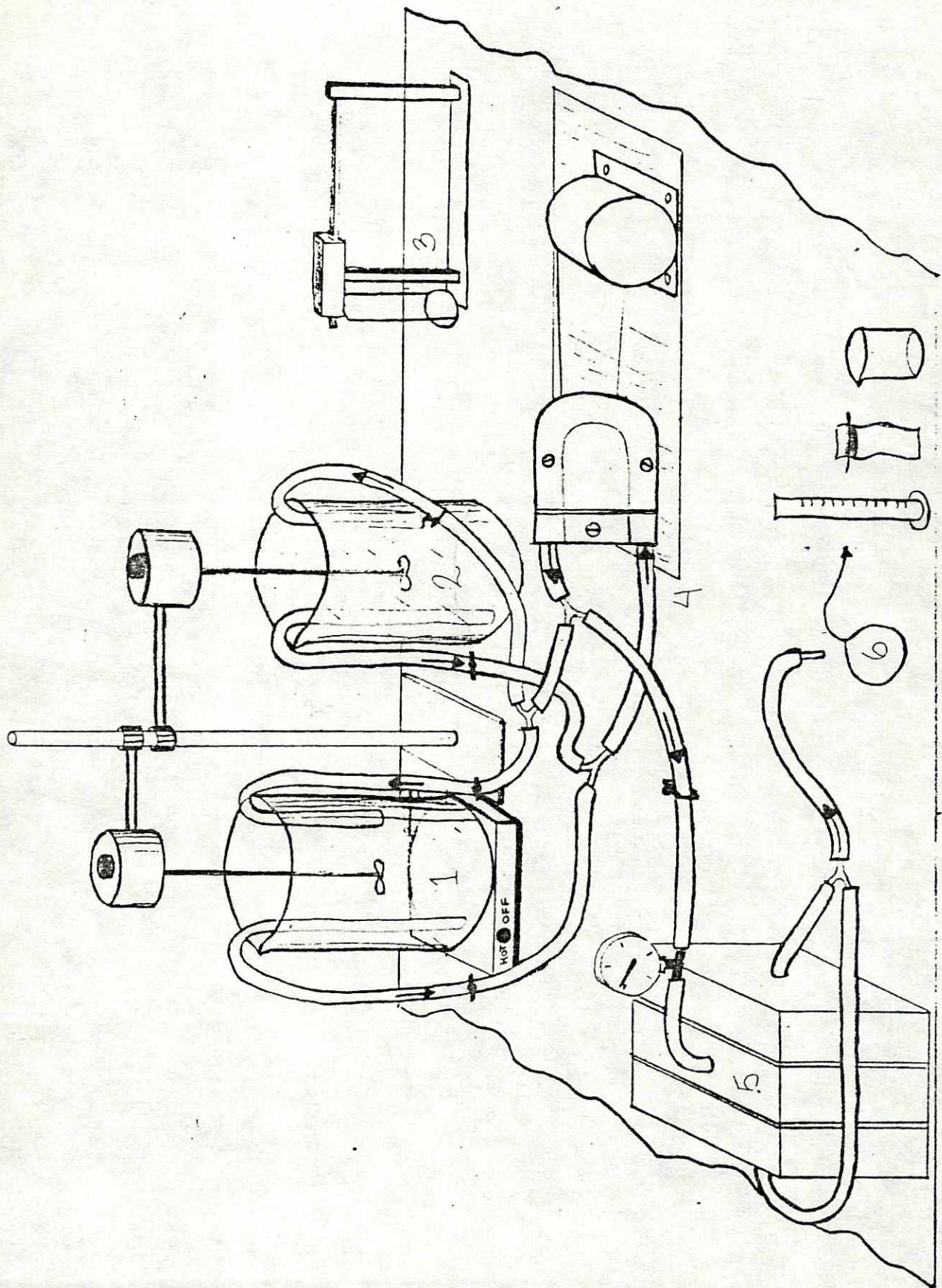


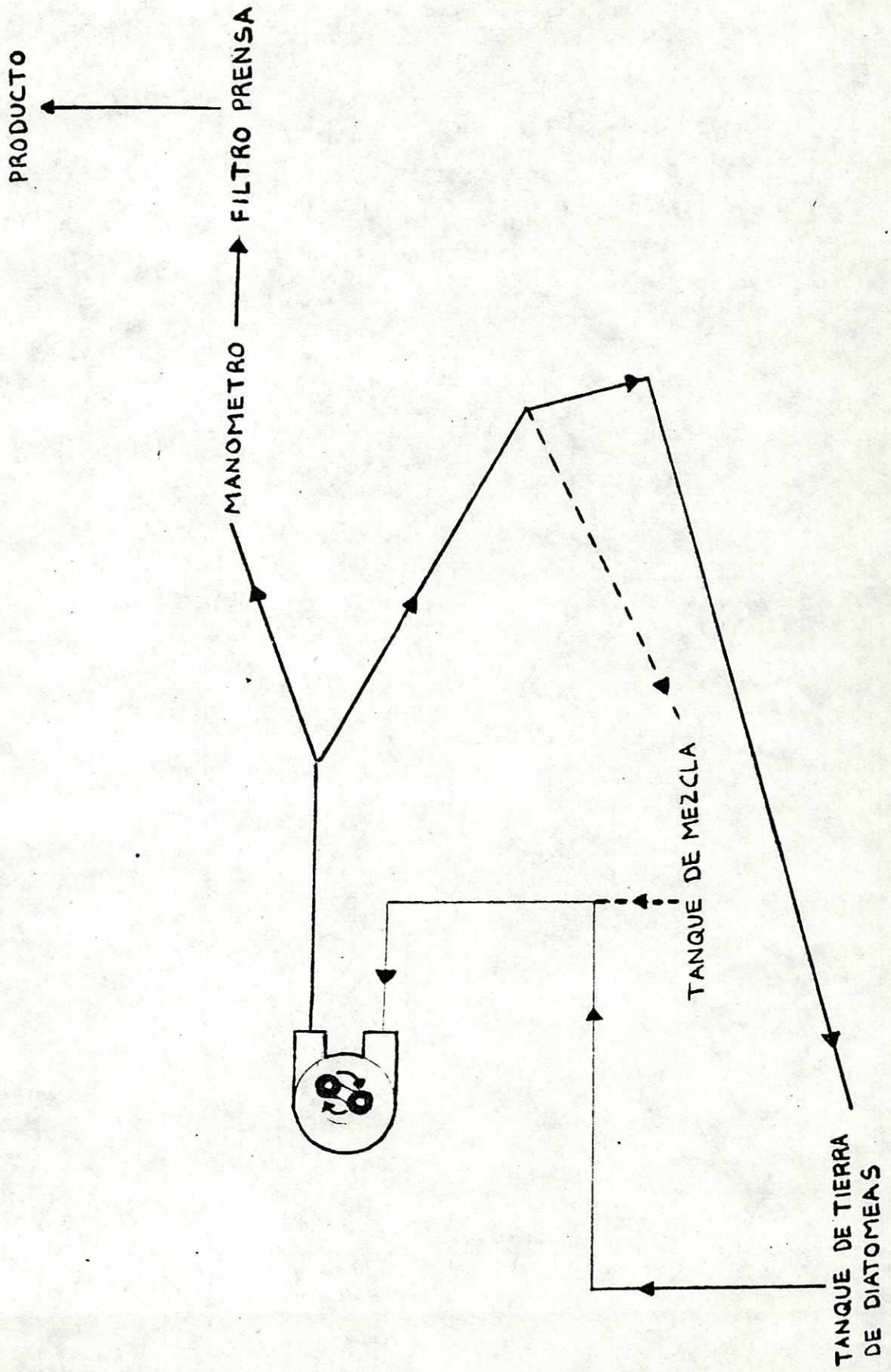
Figura A.1
Diagrama del proceso y equipo utilizado en la variación de parámetros de refinado

tro la solución de azúcar ya tratada con carbón para proceder a la eliminación de este y de las impurezas. El diagrama de este sistema aparece en la figura A.2. Aquí se ilustra por medio de flechas la entrada y salida de la bomba. A la entrada de la bomba llegan dos líneas, una punteada y otra continua. La línea continua representa el momento antes de la filtración del jarabe azucarado cuando lo que se estaba bombeando era la mezcla de tierra de diatomeas para formar la precapa. La línea punteada representa el momento propio de la filtración en el que era obtenida la solución refinada de azúcar.

Se observa en el diagrama que de la salida del filtro salen dos líneas, una que va al filtro prensa pasando por el manómetro la cual es fácil de entender y la segunda que va de regreso al lugar de donde salieron. La explicación a esto es que por ser la bomba de una capacidad muy alta para el filtro prensa utilizado una parte del caudal de la bomba sólo circulaba antes de ser refinado. Fue diseñado este "bypass" de esa forma porque con otras alternativas como el cerrar una válvula en la entrada no permitía un flujo constante y al cerrar una válvula en la salida las mangueras hasta antes de ella reventaban por la presión.

La bomba utilizada fue una persitáltica en la cual el fluido que se transporta no entra en contacto con la solución. Toda la tubería del equipo fue manguera de Tygon de 5/8" de diámetro externo y 3/8" de diámetro interno. El manómetro colocado a la entrada del filtro prensa fue puesto por medio de una T y podía medir de 0 a 60 psig.

Figura A.2
Diagrama del sistema de fluidos



b.2 Filtro prensa

El filtro que se utilizó en el presente trabajo fue construido para este propósito por el autor del trabajo. El filtro consta de un solo plato por donde se efectúa la entrada de la solución a filtrar, el cual tiene salida a dos marcos que constituyen las tapaderas final e inicial del filtro.

Un diagrama del filtro cerrado aparece en la figura A.3 donde se observan sus dimensiones que son 17 centímetros de altura por 21 centímetros de ancho y teniendo un grosor de 16 centímetros. También puede observarse en esta figura la conexión de la manguera de Tygon a la entrada del filtro, la cual es por la parte superior de éste. Se observa que esta conexión está asegurada debido a que la presión que ejercerá el fluido que trata de atravesar el filtro puede ser lo suficientemente grande como para safar la manguera del tubo de cobre que tiene adentro (este tubo sirvió como un distribuidor dentro del filtro). Las conexiones para la salida no están aseguradas debido a que la presión en este punto será cercana a la atmosférica por estar después del medio filtrante, que es el que crea la caída de presión.

También se puede observar en esta figura el método que se utilizó para prensar y hacer un buen sello en los empaques entre el marco y los platos. Fueron utilizados 4 tornillos roscados con tuercas en los dos extremos que funcionaron como pernos.

Los números 1 y 3 de esta figura señalan los dos marcos (tapaderas) los cuales son idénticos y aparecen detallados en

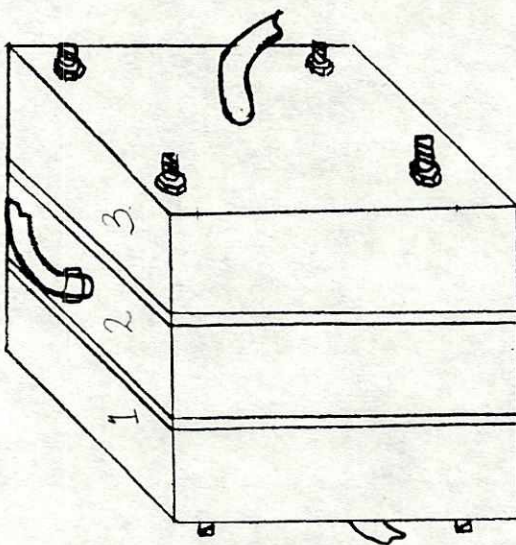
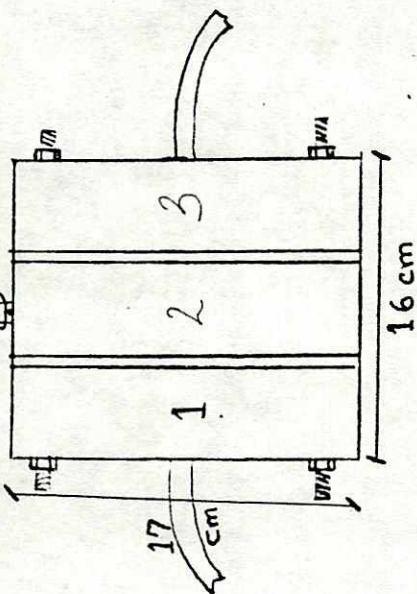
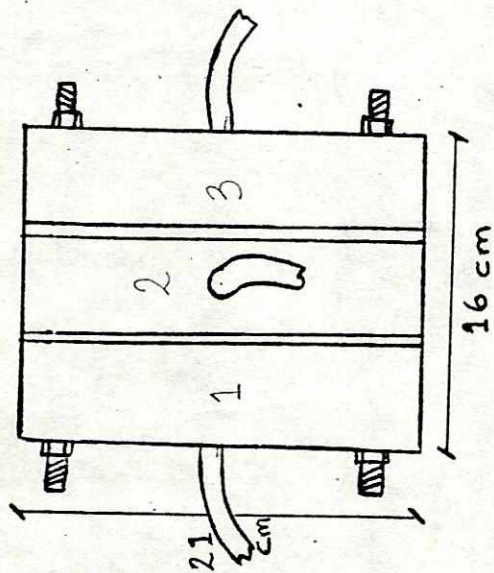


Figura A.3

Filtro prensa utilizado en el proceso de refinamiento

la figura A.4. El número 2 señala el plato del filtro y el cual aparece detallado en la figura A.5

El material de construcción del filtro prensa es madera de Chichipate de 5 cm (\cong 2") de grosor. La malla base para el medio filtrante es de latón de 1 mm de grosor y diámetro de poro de 0.5 mm aproximadamente. El material que sirve como empaque entre el plato y los marcos es un plástico utilizado en suelas de zapatos y cuyo nombre comercial es esponja para suela latex (polisopreno). Fue utilizado este material por necesitarlo impermeable y comprimible para poder hacer un buen sello. Otro material adecuado pudo haber sido el hule de los tubos de llantas, sin embargo no se logró encontrar un pedazo lo suficientemente grande de este material que no se curvara y permaneciera plano. El hule que se utiliza en las bases de los tacones es plano pero demasiado duro e incompresible, el cual no logró un buen sello.

Si se observa la figura 9.4 se encuentra el detalle de un marco (solo se detalla uno, puesto que los dos son idénticos). Este es un pedazo de madera de 21 por 17 centímetros con un grosor de 5 centímetros. La madera tiene cinco agujeros, cuatro de los cuales dan paso a los pernos que prensan el filtro y el último tiene un tubo de tygon introducido. Por un lado es madera lisa y por el otro tiene perforado un rectángulo de 7 por 11 centímetros y de 0.75 centímetros de profundidad. Por este perforado fluye la solución ya refinada desde el medio filtrante hacia la salida del filtro prensa.

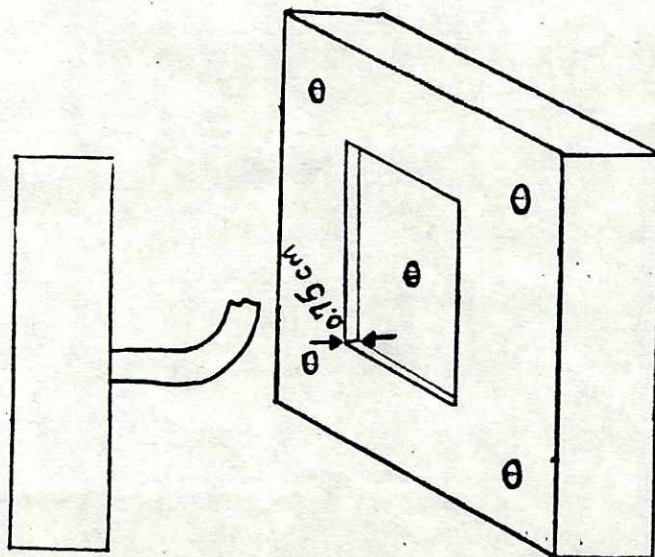
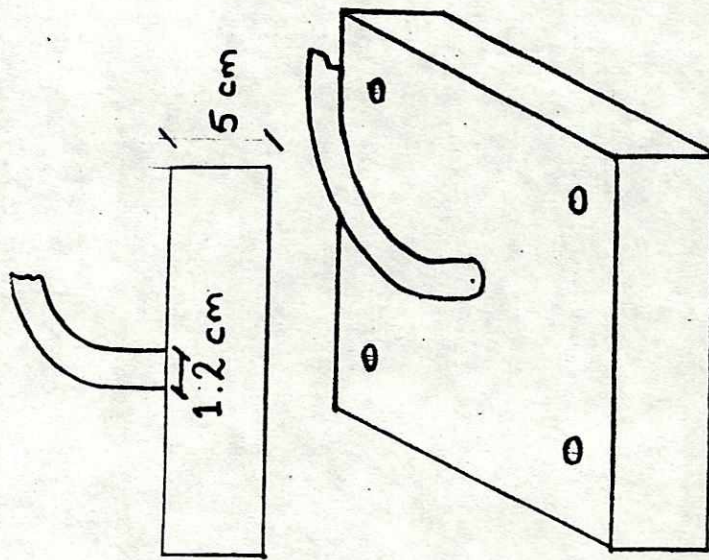
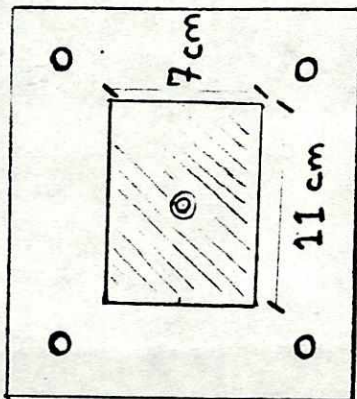
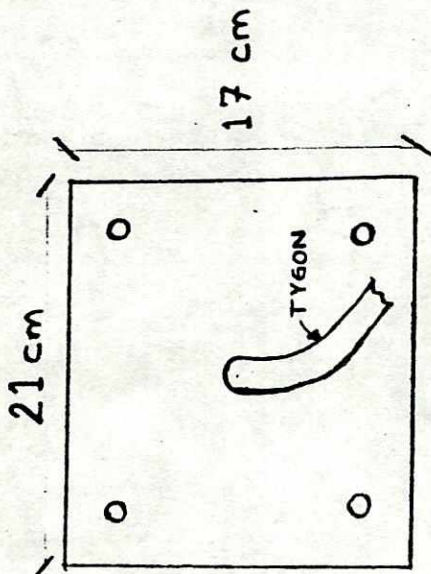


Figura A.4
Marcos (tapaderas) del filtro
prensa

En la figura 9.5 se observa en detalle el plato del filtro prensa. Este es un pedazo de madera de 17 por 21 centímetros y de 5 centímetros de grosor el cual tiene cuatro hoyos por donde pasan, los pernos que prensan el filtro y otro agujero sobre el grosor (o canto) en el cual se conecta la tubería de entrada. El plato al igual que los marcos tiene un rectángulo perforado de 7 por 11 centímetros pero a diferencia de los segundos el perforado va de lado a lado de la madera. En la figura se observan dos dibujos del plato. Uno de ellos muestra la parte de madera perforada donde se puede apreciar el tubo de cobre que funcionó como distribuidor de la solución de azúcar en el plato y el otro muestra la pieza sostén del medio filtrante que es el empaque y la malla de latón sobre la pieza de madera. Este sostén del papel filtro existe en los dos lados del plato. Queda sobreentendido que el papel filtro y la precapa quedaban dentro del plato, al igual que el carbón y las impurezas.

Figura A.5
Plato del filtro prensa

