



UNIVERSIDAD PANAMERICANA  
GUADALAJARA

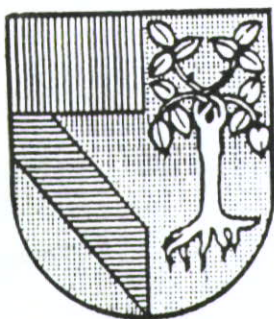
Optimización del proceso de Filtración  
en una Refinería de Glucosa

Jorge Enrique Hernández Tapia

Tesis presentada para optar por el título de Licenciado en  
Ingeniería Industrial con reconocimiento de Validez  
Oficial de Estudios de la SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA,  
según acuerdo número 81692 con fecha 17-XII-81.

Zapopan, Jalisco, enero 21 de 1993

CLASIF: 7660.286 29 HER 1993  
ADQUIS: 14344 Ef  
FECHA: 2 Jul 94  
DONATIVO DE \_\_\_\_\_  
\$ \_\_\_\_\_



UNIVERSIDAD PANAMERICANA

GUADALAJARA



Optimización del proceso de Filtración  
en una Refinería de Glucosa

Jorge Enrique Hernández Tapia

Tesis presentada para optar por el título de Licenciado en  
Ingeniería Industrial con reconocimiento de Validez  
Oficial de Estudios de la SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA,  
según acuerdo número 81692 con fecha 17-XII-81.

Zapopan, Jal., enero 21 de 1993





A mis padres,  
a mis hermanos,  
a mis maestros,  
a mis amigos,  
que con su cariño y ayuda  
me apoyaron y auxiliaron en  
el largo y difícil camino de  
culminar una carrera profesional

Muy especialmente a un gran hombre  
que supo ser un excelente jefe y un  
maestro sin igual:

***Don Enrique Aramburu Alcayaga***





## INDICE

Página

Introducción

I.- Conceptos Generales sobre el estudio.....8

A. Teoría de la filtración

B. Fundamentos Matemáticos y Físicos

C. Operación de filtrado

D. Filtros

E. Filtroayudas

F. Medios filtrantes

G. Carbón Activado

H. Glucosa

II.- Situación del Estudio y Métodos de Investigación.....36

A. Situación del estudio

B. Métodos de Investigación

III.- Proceso de Filtración Natural.....42

IV.- Optimización del Flujo en un Proceso de Filtración Natural.....45

## INDICE

V.- Optimización de la Calidad en un Proceso de Filtración Natural.....59

VI.- Optimización del proceso de filtración Natural en General y por áreas específicas.....70

VII.- Filtración a Contracorriente en Dos Pasos, una Opción para la Optimización de la Calidad y la Reducción de costos.....78

CONCLUSIONES.....94

BIBLIOGRAFIA

GLOSARIO

INDICE DE ABREVIATURAS

INDICE DE TABLAS

INDICE DE GRAFICAS





## INTRODUCCION

La creciente competitividad internacional exige a todos los sectores de la economía una estrategia coherente de movilización de capitales, recursos y planeación productiva.

El momento del crecimiento económico que enfrentamos en México convierte a la productividad en una condición indispensable para el desarrollo de las entidades económicas. Esta aumenta mediante el uso correcto de los recursos disponibles; es aquí donde la optimización de los procesos y la consecuente reducción de los costos cobra especial relevancia.

Al reducir sus costos, las empresas se ven en condiciones de incrementar sus márgenes de utilidad; logrando así una mayor capitalización, misma que facilita una mayor inversión para lograr una mejora continua.

La presente investigación tiene como objetivo fundamental la optimización de un proceso productivo, hecho que indudablemente influye directamente en el abatimiento de los costos de operación de éste y al mismo tiempo nos lleva a lograr una mejor calidad, ambos resultados a su vez nos permiten contar con ventajas competitivas para aspirar a una integración a los mercados internacionales.

En el primer capítulo veremos las bases, los fundamentos teóricos y las nociones técnicas fundamentales del proceso de Filtración. Así pues, hablaremos de: la Teoría de la Filtración, Filtros, Filtroayudas (FA), Elementos Filtrantes y otras cosas más.

En el segundo capítulo delimitaremos el campo de estudio de la investigación que nos ocupa y explicaremos los métodos de investigación que se emplearon en esta.

En el tercer capítulo estudiaremos lo que se conoce comunmente como Proceso de Filtración Natural en una Refinería de Glucosa; posteriormente en el capítulo cuatro buscaremos determinar los valores adecuados de los distintos factores que rigen a este proceso para lograr la optimización del flujo. Seguidamente en el capítulo cinco haremos lo mismo pero en cuanto a la calidad del licor obtenido, esto en base al color de este. En estos dos capítulos el estudio se hará de manera general, es decir, no nos enfocaremos a ninguna sección específica como sería por ejemplo el área de filtros prensa blancos; será hasta el capítulo seis donde primeramente buscaremos optimizar, en forma general, el proceso en términos de flujo (cantidad) y color (calidad) para posteriormente pasar a definir los valores óptimos para cada sección en específico,

lease: filtros prensa blancos, filtros prensa negros y filtro prensa trampa.

En el capítulo siete analizaremos el Sistema de Filtración a Contracorriente en dos pasos, buscando optimizarlo para realizar posteriormente una comparación con el Proceso de Filtración Natural estudiado en los capítulos anteriores.



CAPITULO I

CONCEPTOS GENERALES  
SOBRE EL ESTUDIO

## I. CONCEPTOS GENERALES SOBRE EL ESTUDIO

De todas las definiciones de filtración encontradas la más completa y explícita ha sido la que da George Granger Brown en su libro de Operaciones Básicas de la Ingeniería Química.

" La filtración es una operación en la que una mezcla heterogénea de un fluido y de las partículas de un sólido se separa en sus componentes, gracias al concurso de un medio filtrante que permite el paso del fluido, pero retiene a las partículas del sólido."<sup>(1)</sup>

### A. Teoría de la filtración

La filtración se ha desarrollado como un arte práctico más que como ciencia, pero la teoría de la filtración recibe cada día más atención en la industria.

El empleo de ésta es limitado porque las características filtrantes (entiéndase: condiciones de operación, dosificaciones de CA, FA, medio filtrante, etc.) deben determinarse siempre con el lodo, fango o **licor** a tratar, siendo inaplicables los datos obtenidos con un material a la filtración de otro.

---

<sup>1</sup> Operaciones Básicas de la Ingeniería Química, George Granger Brown, Editorial Marín.

La filtración da como resultado, por lo general, la formación de una capa (o torta) de partículas sólidas sobre la superficie del cuerpo permeable, a menudo un tejido, que constituye el medio filtrante. Una vez formada esta capa, su superficie actúa como medio filtrante, reteniendo los sólidos contenidos en el **licor**, ésto ocasiona que se incremente paulatinamente el espesor de la torta. Este espesor se ve limitado por el espacio existente entre las placas del filtro y su permeabilidad. La torta se compone de una masa voluminosa de partículas de forma irregular, entre las que hay conductos capilares. La circulación del **licor** a través de éstos es siempre laminar.

La velocidad de filtración es función, por lo general, del volumen de filtrado recogido, del área de la superficie filtrante, del tiempo, de la viscosidad del **licor**, del tamaño y cantidad de sólidos en suspensión a filtrar, de la presión, de la temperatura y de la resistencia específica de la torta.

Ahora bien, en el caso de tortas incompresibles la velocidad o gasto es directamente proporcional al área y a la presión e inversamente proporcional a la viscosidad, a la cantidad total de la torta (o de filtrado) y al tamaño de las partículas que forman la torta.

Para tortas muy compresibles, el gasto es independiente de la presión.

El efecto de la temperatura sobre el gasto de filtración de la mayoría de las tortas incompresibles se evidencia por su



influencia sobre la viscosidad. Una elevación en ésta ocasiona, por lo general, una disminución en aquella y un incremento en el flujo. Cabe señalar que muchos lodos compresibles se ven afectados de otras maneras ante las variaciones de temperatura, aunque el efecto general es hacia el aumento del gasto con el alza de la temperatura. (2)

### B. Fundamentos matemáticos y físicos

El objetivo de esta investigación no es profundizar en estos aspectos, pero consideramos que es necesario mencionarlos.

La forma más simple como se puede representar el flujo de un líquido limpio a través de una cama empacada es mediante la ley de Ohm de la electricidad que nos indica que:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{E \cdot A}{r \cdot L}$$

Esto es, la intensidad de corriente de un conductor es directamente proporcional al voltaje por su área seccional e inversamente proporcional a su longitud por su resistencia específica. El volumen del líquido limpio filtrado se representa:

$$V = \frac{P \cdot A}{r \cdot D}$$

---

<sup>2</sup> Tomado del Manual del Ingeniero Químico de John H. Perry, tomo II, editorial UTEHA, México, tercera edición, página 1504.

En donde el volumen filtrado es directamente proporcional a la presión por el área de la cama e inversamente proporcional a la profundidad del lecho y a su resistencia específica (del material con que está formando el lecho).

La fórmula anterior nos sirve únicamente para representar de la forma más simple este fenómeno; sin embargo, para el caso de la filtración de una suspensión la cual da como resultado la formación de una capa o torta de partículas sólidas sobre la superficie de un cuerpo poroso (medio filtrante) y una vez que se ha formado esa capa, su superficie actúa como medio filtrante, depositándose los sólidos que van aumentando el espesor de la torta, mientras el líquido claro pasa a través de ella.

La torta se compone por consiguiente de una masa voluminosa de partículas en forma irregular, entre las que hay conductos capilares, la circulación del líquido por los capilares es casi siempre laminar (excepto al iniciar la operación) y por consiguiente puede representarse por la ecuación de Poiseuille

$$\frac{dv}{Ad\theta} = \frac{P}{\mu \cdot (\alpha(W/A) + r)} \quad (1)$$

que expresa la velocidad diferencial o instantánea de filtración por unidad de superficie como la razón de un fuerza impulsora, presión, al producto de la viscosidad por la suma de las resistencias de la torta y el medio filtrante.

Del mismo modo podemos aplicar la ecuación de Carman

Kozeny para flujo a través de camas empacadas

$$\frac{(-\nabla P)_f G_c}{L} = 180 \cdot \frac{(1-E)^2}{E^3} \frac{\mu V_s}{D_p^2} \quad (2)$$

donde:  $\nabla P_c$ : caída de presión total del filtro (lb/ft<sup>2</sup>)

$G_c$ : constante 32.174 lb/seg<sup>2</sup>

$L$ : espesor de la torta (ft)

$E$ : Porosidad (adimensional)

$\mu$ : Coeficiente de viscosidad (lb/fthr)

$V_s$ : Velocidad (ft/seg)

$D_p$ : Diámetro crítico de partícula (ft)

Esta ecuación relaciona la caída de presión a través de la torta con la velocidad del flujo, la porosidad de la torta, el espesor de esta y el diámetro de las partículas sólidas. Es conveniente cambiar el término de diámetro de partículas por el de área específica de superficie por medio de la siguiente relación:

$$D_p = \frac{6}{A_p/V_p} = \frac{6}{S_o} \quad (3)$$

Donde  $S_o$  es el área específica de superficie; sustituyendo esto en la ecuación (2) tenemos que:

$$\frac{(-\nabla P)_f G_c}{L} = \frac{5(1-E)^2 \mu V_s S_o^2}{E^3} \quad (4)$$

Despejando la velocidad de flujo nos queda:

$$V_s = \frac{(-\nabla P)_f G_c E^3}{5L(1-E)^2 \mu S_o^2} = \frac{1}{A} \frac{dv}{d\theta} \quad (5)$$

Donde  $dv/d\theta$  es el volumen de filtrado que ha pasado por la cama por unidad de tiempo y  $A$  es el área de filtración.

Relacionando  $L$  con el volumen filtrado obtenemos el siguiente balance de materia:

$$LA(1-E)\rho_s = W(V+ELA) \quad (6)$$

Donde  $\rho_s$  es la densidad de los sólidos en la torta expresada en  $\text{lb/ft}^3$  y  $W$  es el peso de los sólidos en suspensión por volumen de líquido  $\text{lb/ft}^3$ . Despreciando el término  $ELA$  que representa el volumen de filtrado que permanece en la torta y despejando  $L$  en la ecuación (6) y sustituyendo esta en la (5) tenemos:

$$\frac{1}{A} \frac{dv}{d\theta} = \frac{(-\nabla P)_f G_c E^3}{5(1-E)\mu S_o^2 W M} = \frac{(-\nabla P)_f G_c A}{\alpha \mu W M} \quad (7)$$

Donde  $\alpha$  es la resistencia específica de la torta expresada en  $\text{ft/lb}$ ;  $\alpha = 5(1-E)S_o^2/(\rho_s E^3)$  (8)

Así también:  $\alpha = \alpha_o (-\nabla P_c)^s$

Donde  $\alpha_o$  es una constante determinada por el tamaño de las partículas que forman la torta expresada en  $\text{ft/lb}$  y  $s$  es el factor de compresibilidad, el cual es 0 para tortas incompresibles y 1 para compresibles.

La ecuación (7) considera la caída de presión total; pero en las resistencias al flujo únicamente se están considerando las producidas por la torta y no se incluyen las ofrecidas por el medio filtrante y algunas otras restricciones, por lo que es conveniente adicionar un término nuevo que corresponda a la



suma de estas, las que pueden considerarse en serie.

$$\frac{dv}{Ad\theta} = \frac{(-\nabla P)_f Gc}{\mu(\alpha W/A + R_m)} \quad (9)$$

Este término de  $R_m$  es conveniente transformarlo en un volumen filtrado equivalente,  $Ve$ .

$$\frac{dv}{Ad\theta} = \frac{(-\nabla P)_f Gc}{(\mu\alpha W/A)(V+Ve)} \quad (10)$$

Integrando la ecuación (10) considerando el factor  $\alpha$  y la presión como constantes y despejando  $q$  nos queda la siguiente ecuación:

$$\theta = \frac{\mu\alpha W}{GcA^2(-\nabla P)_f} (v^2/2 + VeV) \quad (12)$$

Para resolver la ecuación (12) es necesario conocer las constantes  $\alpha$  y  $Ve$ , las cuales únicamente se pueden determinar empleando un método gráfico, el cual utiliza la siguiente forma de la ecuación (10).

$$\frac{d\theta}{dv} = \frac{\mu\alpha W}{(-\nabla P)_f GcA^2} (V+Ve) \quad (13)$$

El método gráfico de solución consiste en formar un histograma de barras en base a los resultados obtenidos en pruebas experimentales; para esto, se grafica el volumen filtrado en el eje de las abscisas y en las ordenadas la relación entre incrementos de tiempo entre incrementos de



volumen. Posteriormente, se traza una línea recta que corte por el centro a todas las terminales de cada barra. La pendiente de esta recta se representa por la siguiente relación:

$$\text{pendiente} = (\alpha\mu W) / (GcA^2 (-\nabla P)_f).$$

De esta se puede despejar  $\alpha$ . El valor del punto de intercepción de la recta con la ordenada es igual al producto de la pendiente por  $V_e$ , de donde se puede despejar esta última.

Este método es válido solamente cuando se trata de pruebas a presión constante y los sólidos son incompresibles.

Otro método de solución gráfica consiste en graficar los datos experimentales de la siguiente forma: en el eje de las abscisas el término  $(V/A)$  y en el de las ordenadas  $(\theta/(V/A))$ ; lo cual nos dará una línea recta cuya pendiente es igual a  $(\alpha\mu W)/2P$ , de donde se puede despejar  $\alpha$ . El punto donde la línea recta corta con la ordenada es igual a  $(\mu r/P)$  de donde se puede despejar  $r$  y ambos valores utilizarlos en la siguiente ecuación:

$$\frac{\theta}{V/A} = \frac{\alpha\mu W}{2P} \frac{V}{A} + \frac{\mu r}{P} \quad (14)$$

En donde  $r$  es la resistencia por unidad de área expresada en  $\text{ft}^{-1}$ . Este método también es empleado únicamente cuando se trata de pruebas a presión constante y sólidos incompresibles.

### C. Operación de Filtrado

Los tipos de suspensiones que se trabajan en la práctica comercial de la filtración, varían ampliamente, desde materiales granulares, incompresibles y que filtran fácilmente, hasta materiales pegajosos y **coloidales** que son compresibles, de forma que tienden a obstruir la tela filtrante. La principal característica de una solución es su estructura: vgr. granular y abierta o **coloidal** y densa. Una segunda propiedad de la suspensión es su **compresibilidad**; si un lodo es incompresible, la resistencia de la torta es palpablemente independiente de la presión, mientras que si es compresible la resistencia de una unidad de espesor de la torta puede aumentar rápidamente al aumentar la presión. En general, un **precipitado** granular será casi incompresible y uno **coloidal** será muy compresible.

#### D. Filtro

Un filtro es todo aparato usado para llevar a cabo la operación de filtración.

Debido a la gran variedad de aparatos en que se efectúa la filtración, no es posible hacer una clasificación sencilla que incluya todos los tipos de filtros conocidos. Sin embargo, una de las más utilizadas e incluso más completas, es la que se basa en el tipo de presión utilizada para llevar a cabo el proceso de filtración:

Presión de filtración	Tipo de filtro
Presión hidrostática	Filtros de gravedad
Presión adicional por bomba centrífuga	Filtros de presión Prensa (de cámaras, de placas y marcos) De caja
Vacío aplicado en una cara del medio filtrante	Filtros de vacío Continuos Discontinuos

Existe una gran diversidad de diseños, aunque los principios de operación no varían de unos a otros considerablemente.

Entre los tipos más comunes se cuentan los siguientes:

**a) De gravedad**

Formado por un depósito de doble fondo. En el primero se coloca la materia filtrante: arena, carbón, tierras adsorbentes, carbonato cálcico, amianto, etc. El líquido filtrante entra por la parte superior y se distribuye por toda la superficie. Se usa cuando la cantidad de sólidos es muy pequeña en relación al líquido.

**b) De vacío discontinuo**

El material filtrante se coloca sobre una placa perforada, por la cual se aplica el vacío que provoca la succión necesaria para la filtración.

**c) De vacío continuo**

Esta formado por un tambor rotatorio en cuyo exterior se coloca la tela filtrante. Al rotar se sumerge en el licor a filtrar, y la succión por vacío en el interior del tambor produce la filtración. La torta, pegada a la superficie exterior, se va recogiendo por un canal al girar el disco, en algunos casos es una navaja fija la que retira el material retenido.



**d) Nutsche**

Este es el modelo más sencillo de filtro de gravedad, su construcción es tan elemental que por lo general se fabrica en los mismos talleres de la fábrica.

Se compone de un soporte sencillo para el medio filtrante y de un recipiente en el que se colocará éste. Puede funcionar escurriendo el agua por gravedad a través del medio filtrante o aplicando aspiración a la parte inferior de éste, o bien, en algunos casos, por presión en cuyo caso se coloca el filtro en un recipiente que la resista y dentro del cual se bombea el material.

**e) Prensa de placas y marcos**

Este es un tipo de aplicación muy general, de hecho es el utilizado en el proceso que nos ocupa por su gran operatividad y su bajo costo de operación, principalmente.

Se compone de placas o platos muy ligeramente rebordeados y de marcos huecos, montados alternativamente en un bastidor. Al montarlo se coloca en cada plato una lona (elemento filtrante) la cual tiene unos agujeros que coinciden con las conexiones de los platos y marcos, de forma que al cerrar el filtro, forman un canal continuo a lo largo de éste y coinciden con las conexiones correspondientes de la cabeza fija. Los canales están únicamente en el interior de los marcos y no tienen aberturas en los platos. En el fondo de los platos hay unos agujeros que conectan las caras de éstos a la salida del



**licor** o fluido filtrado.

A medida que se bombea el **licor** a filtrar a través del canal de alimentación, los marcos se van llenando con las impurezas retenidas y Filtroayuda (FA), en el caso en que se utilice. A medida que se va dando ésto, la presión va elevándose para forzar al fluido a pasar a través de las lonas. Por lo general, se recomienda no trabajar con una presión superior a 5 Kgf/cm<sup>2</sup>. Al bloquearse el filtro se procede a abrirlo y limpiar uno a uno todos los platos y elementos filtrantes; para ésto se interrumpe la afluencia de líquido, se retira la presión que mantiene unidas a las placas y marcos y se abre el filtro-prensa separando sucesivamente las placas y marcos; la torta se desprende y cae en un depósito situado bajo el filtro-prensa. En algunos lugares se raspan las lonas con objeto de remover la torta; esto es totalmente inadecuado, ya que se bloquean los poros de esta al incrustar los sólidos retenidos, lo que disminuye la capacidad de filtración y la vida útil de las lonas. (Se taponan las lonas, en lenguaje coloquial). Terminada la limpieza se colocan hojas nuevas de papel filtro, en caso de que se utilice, se cierra de nuevo el filtro-prensa y se comienza un nuevo ciclo de filtrado.

## E. FILTROAYUDAS (FA)

Los FA son **materiales inertes** que se agregan a la solución a filtrar con el objeto de formar una torta en los soportes del filtro (medios filtrantes) para retener por trampeo las partículas de sólidos y mantener la **permeabilidad** de la torta filtrante.

Los FA son útiles cuando se manejan sólidos finamente divididos y materiales **coloidales**. Un FA debe ser de baja densidad, de modo que cuando se mezcle con el **licor** a filtrar permanezca en suspensión. Debe ser forzosamente un material poroso más bien que denso y químicamente inerte al líquido que se filtra.

Estos pueden ser fabricados de **Diatómica**, **Perlita** o fibra de celulosa, entre otros.

### Características de un buen FA <sup>(3)</sup>

Entre las características más relevantes e importantes de un FA están:

#### 1. Formar una torta muy porosa

La estructura de sus partículas debe ser tal que no se empaquen unas con otras, sino que formen tortas cuyos poros representen del 85% al 90%. Esto no solamente permite un flujo inicial alto del líquido, sino que también proporciona espacios

---

<sup>3</sup> Tomado del folleto de información técnica de Dicalite.

porosos para atrapar los sólidos por retener, dejando al mismo tiempo un alto porcentaje de canales abiertos que permiten el flujo.

## **2. Baja área superficial**

La resistencia al flujo es creada por el esfuerzo de la viscosidad del líquido sobre el área superficial de las partículas de FA.

Consecuentemente, a menor área superficial se tendrán flujos más altos.

## **3. Distribución correcta de tamaño de partículas**

Al tener mayor área superficial, las partículas finas disminuyen el flujo mientras que las partículas gruesas proporcionan una claridad más pobre, una mezcla adecuada nos permitiera gozar de una buena retención de partículas y un buen flujo.

## **4. Desviaciones de tamaño uniforme**

La distribución de tamaño debe ser tal que tenga suficientes partículas grandes para permitir una formación de precapa adecuada y uniforme sobre la malla metálica y/o las lonas.

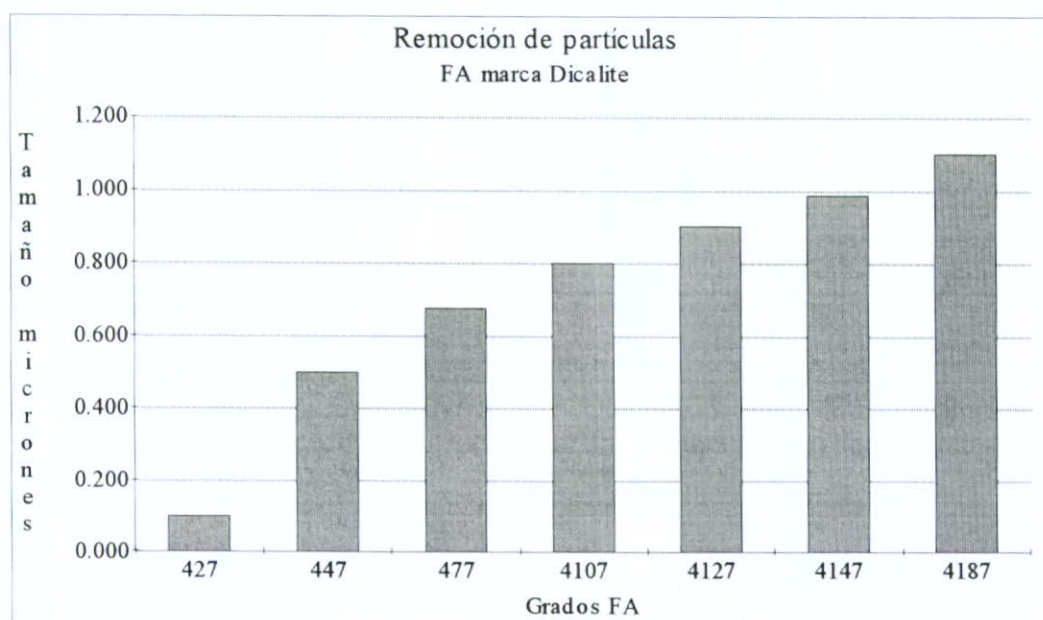
Este porcentaje de partículas gruesas necesario es pequeño y no afecta negativamente al flujo ni a la claridad.

Las cantidades de FA añadidas son relativamente pequeñas, por si fuera poco, el costo de estas queda compensado con creces con el aumento del rendimiento del filtro.

### Selección del grado de FA

La selección del grado de FA adecuado se basa en dos puntos principales: el flujo y la retención de sólidos deseados.

En el caso de **Dicalite**, líder mundial en tecnología de filtroayudas, se cuenta con 9 grados distintos. En la gráfica 1 que se muestra a continuación, se pueden observar las capacidades de remoción de partículas de los 7 grados más comunes. (4)



Gráfica 1

Remoción de Partículas en FA marca Dicalite

<sup>4</sup> Tomado del folleto de información técnica de Dicalite.



### **Pasos básicos en filtración a presión con uso de FA**

El arranque de un ciclo empieza con el llenado del filtro y el venteo para desalojar gases entrampados, pudiendo usarse agua o **licor** limpio.

El siguiente paso es la formación de la precapa. Esto consiste en añadir de 0.5 a 1 Kg. de FA por  $m^2$ ; cuidando que la suspensión de precapa no exceda de 5% en peso. Una vez añadido, se recircula durante un mínimo de 10 minutos o hasta lograr un líquido limpio; es muy importante que el flujo no sobrepase los  $40 \text{ l}/m^2\text{min}$  y que la presión se mantenga lo más baja posible.

Una vez formada la precapa se procede a iniciar la filtración; el cambio de válvulas debe darse de tal forma que el flujo no se vea interrumpido en ningún momento, pues de lo contrario se caerá la precapa y la filtración no se logrará con buenos resultados.

Se aconseja añadir adicionalmente 1 gr. de FA por cada gramo de sólidos en suspensión que tenga el licor a filtrar para mantener la permeabilidad de la torta.

Una vez terminado el ciclo se procede a realizar el retrolavado del filtro, el desprendimiento de la torta y la limpieza.



## F. MEDIOS FILTRANTES

La elección del medio filtrante es la consideración más importante para asegurar el funcionamiento eficiente de un filtro. Sin embargo, es muy cierto que en la mayoría de las filtraciones este no actúa realmente como tal, sino que simplemente sirve de soporte a la torta de sólidos que se deposita y sobre la cual tiene lugar el proceso de separación.

Su selección debe darse en primer lugar en base a su capacidad para retener los sólidos sin que se tenga una obstrucción ni permita el paso excesivo de partículas al iniciarse la filtración. Adicionalmente deben considerarse los siguientes puntos:

1. Micraje adecuado para lograr una buena retención de los sólidos en suspensión en el licor a filtrar.
2. Resistencia mínima al paso del **licor**.
3. Dificultad para que las partículas penetren en sus poros.
4. Resistencia a la presión de operación, suficiente para impedir su desgarramiento o rotura como consecuencia de ésta.
5. Resistencia química a la solución objeto de la filtración, incluyendo el no reaccionar con ésta.
6. Superficie lisa para permitir una descarga fácil de la torta.

Los medios filtrantes se fabrican de algodón, lana, lino, yute, seda, lana de vidrio, algodón nitrado, carbón y otros

sólidos porosos, metales sinterizados, rayón y otros sintéticos y materiales diversos, como caucho poroso.

### **Telas de algodón**

Estas constituyen, con mucho, el tipo más común de medio filtrante utilizado, ésto por su bajo costo inicial y la gran variedad de tejidos con que se comercializa. Al describir éstas deben indicarse: 1) tipo de tejido, 2) número del estilo, 3) peso, 4) número de hilos por pulgada, 5) doblado, y 6) el número de los hilos. De todas estas características sólo el número de estilo está perfectamente definido, pero desafortunadamente es un número puramente arbitrario asignado por cada fabricante, excepto en el caso de los llamados "números de loneta" (number ducks). El número de los hilos (yan number), que define el peso de los hilos originales retorcidos, se fija por el peso de la tela y sus demás características. El doblado (ply) se define por el número de pequeños hilos retorcidos juntos para formar la hebra o hilo final, mientras que el número de hilos por pulgada (count) indica el número de hebras por pulgada en cada dirección. Hay una gran variedad de tejidos de los cuales el ordinario o de tela corriente (plain) es el más simple, en este las **tramas** cruzan alternativamente por debajo y por encima a las **urdimbres**, proporcionando a la tela un aspecto cuadrículado. Uno de los inconvenientes que tienen es el encogimiento que presentan.

### **Lonetas de algodón**

Son los más comunes de los tejidos ordinarios. Son de costo inicial bajo, tienen buena resistencia mecánica y también al desgaste y las tortas se descargan con facilidad. Entre los inconvenientes de éstas tenemos que cuando son lo suficientemente cerradas para retener sólidos finos, oponen gran resistencia a la circulación del **licor** y se ciegan bastante pronto.

### **Sargas de algodón**

Se caracterizan por un tejido inclinado que resulta de entrelazar la **urdimbre** y la **trama** con un avance de un hilo en cada punto de enlace. Oponen menos resistencia a la circulación y tienen menos tendencia a cegarse que las lonetas, pero existe mayor probabilidad de que pasen las partículas al iniciar la filtración, esto puede evitarse mediante la utilización de una precapa de filtroayuda (FA). En la selección de una **sarga**, el peso tiene importancia para la resistencia y el desgaste mecánicos, mientras que aumentando el número de hilos por pulgada (count) se mejora su capacidad para retener sólidos finos. Las telas pesadas se necesitan en los grandes filtros-prensa para proporcionar además la empaquetadura. Los driles son una variación de peso ligero de este tejido, mientras que la franela de Cantón tiene pelusa en una de sus caras, lo que la hace más útil para operaciones de clarificación que no requieran de una fácil separación de la torta.



### **Telas de lana**

Se usan en ocasiones para la filtración de soluciones ácidas diluídas y en la clasificación de líquidos viscosos. Sin embargo, se caracterizan por una grave tendencia a cegarse y por ser atacadas rápidamente por los álcalis.

### **Otros tejidos naturales**

Las telas de yute se utilizan para filtrar a presión sólidos de granos gruesos.

### **Fibras sintéticas**

El nylon se emplea como sustituto de la seda y para resistencia a los álcalis y a los ácidos débiles. El Vynion-N se caracteriza por su resistencia a todas las concentraciones de ácidos y álcalis. Existen también mallas fabricadas de polietileno y otros derivados plásticos más; que si bien no tienen mucho tiempo en el mercado han dado muy buenos resultados.

### **Telas metálicas**

Estas se fabrican de acero KA2S, KA2S-Mo, monel, níquel, cobre, latón, bronce, aluminio y Everdur (aleación de cobre y silicio) y en diversos tejidos. En el tejido ordinario, el espaciamiento de los alambres más cerrado es de 400 mallas/pulg., limitando así su empleo a lodos cristalinos,

pulpas, etc. Los llamados tejidos Dutch (tejido holandés), que emplean **urdimbres** recta y **tramas** rizadas, pueden tejerse mucho más cerrados, por ejemplo 24X110, proporcionando un buen medio para filtrar cristales y pulpas finos. Sin embargo, este tipo de tejido tiende fácilmente a cegarse cuando se filtran partículas blandas amorfas, por lo que se aconseja la utilización de FA, precapa. La larga duración de la tela de alambre apropiada la hace conveniente para su instalación más o menos permanente.

Los anteriores solo son algunos de la gran variedad de medios filtrantes que se utilizan en los distintos procesos de filtración.



## G. CARBON ACTIVADO

El carbón activado se produce mediante procesos físico-químicos a altas temperaturas. La formación de microporos hacen que la partícula de carbón semeje a una esponja microscópica. Estos poros dan una enorme área de adsorción en donde quedan atrapadas una amplia gama de impurezas.

Es importante señalar que el carbón activado adsorbe partículas de color, sabor y olor. En el caso del cloro no lo adsorbe, simplemente reacciona con éste, provocando que se adhiera a él.

### Adsorción

La adsorción se entiende como el fenómeno de superficie por el cual átomos o moléculas de impurezas en solución, se adhieren a la superficie de un adsorbente, siendo el carbón activado uno de los más eficientes que se conocen.

La superficie de contacto desarrollada en el carbón activado es tan grande que un solo gramo de este producto puede tener entre 450 y 1,800 metros cuadrados de superficie de contacto, razón por la cual, pueden ser removidas importantes cantidades de material.

Las impurezas quedan adsorbidas en la superficie interna y externa de los micro y macro poros del carbón activado, el cual, al ser eliminado del material tratado, ya sea por filtración o **percolación**, lleva consigo las impurezas retenidas

que son igualmente eliminadas.

Dado que los poros de carbón deben ser del tamaño aproximado de las moléculas o impurezas que van a adsorber, se hace necesario contar con una amplia gama de carbones activados minerales y vegetales con distintas propiedades.

La adsorción se ve afectada por:

- a) las condiciones en que se lleva a cabo: **pH**, temperatura y tiempo de contacto.
- b) las propiedades del adsorbente: origen y tratamiento, propiedades químicas de la superficie, tamaño y distribución de los poros.
- c) factores relacionados con el adsorbato: grupos funcionales y polaridad de la molécula, peso molecular, estructura y tamaño de la misma.

### **Selección**

La selección del carbón activado adecuado por lo general se ve regida por el nivel de **pH** que posee el líquido a tratar; ésto es, se busca homogeneizar el **pH** del fluido y del carbón. Adicionalmente se consideran la dureza del carbón, su humedad, su número de Iodo, su densidad y **granulometría**. En las tablas 1 y 2 se pueden apreciar propiedades típicas de carbones en polvo y granulares de la marca **Clarimex**.<sup>(5)</sup>

---

<sup>5</sup> Tomado del folleto de información técnica de Clarimex.

**TABLA 1. Propiedades típicas de los carbones en polvo  
CLARIMEX**

Propiedad	0.61-C	0.61-G	0.61	0.61-A	DB
* <i>pH</i>	2-4	4.5-5.5	6-8	8-11	5-8
* Humedad al envasar (% máx.)	12	12	12	12	12
* Actividad relativa en melazas. (% min.)	99	98	98	98	98
* Número de Iodo (mg I <sub>2</sub> /gr.min.)	800	800	800	800	800
* Actividad azul de metileno (gr./100 gr.min.)	25	25	25	25	20
* Solubles en agua (% máximo)	4	5	4	7	5
* Densidad aparente (gr./cc.)	.25-.28	.25-.28	.25-.28	.25-.28	.25-.28
* <b>Granulometría</b> % pasa malla 200 (US) min.	90	90	90	90	90
* <b>Granulometría</b> % pasa malla 325 (US) max.	50	50	50	50	50

Nota: los carbones 0.61-C, 0.61-G, 0.61 y 0.61-A son de origen vegetal, mientras que el DB es de origen mineral.

**TABLA 2. Propiedades típicas de los carbones granulares  
CLARIMEX.**

Propiedad	VG 6X20	VG 14X35	CAGR 8X30	CAGRM 8X30
* <i>pH</i>	2-4	2-4	5-7	6-8
* Humedad al envasar (% máximo)	12	12	12	12
* Actividad relativa de melazas (% min.)	99	99	97	97
* Número de Iodo (mg I <sub>2</sub> /gr. min.)	800	800	600	600
* Actividad azul de metileno (gr./100 gr.min.)	25	25	25	25
* Solubles en agua (% máximo)	3.5	3.5	2.0	2.0
* Densidad aparente (gr/cc.)	.22-.25	.22-.25	.37-.40	.37-.40
* <b>Granulometría</b> mallas (US)	6X20	14X35	8X30	8X30

Nota: los carbones VG 6X20 y VG 14X35 son de origen vegetal mientras que los CAGR 8X30 y CAGRM 8X30 son de origen mineral.



En el estudio que nos ocupa el **pH** del **licor** oscila alrededor de 5 por lo que se seleccionó un carbón en polvo tipo 0.61 G, ver tabla I.

## H. GLUCOSA

Es un compuesto orgánico de fórmula  $C_6H_{12}O_6$  perteneciente al grupo de los azúcares. Es un monosacárido que tiene en su molécula seis átomos de carbono (hexosa) con un grupo aldehídico (aldosa). Se obtiene por hidrólisis ácida o enzimática de los productos que la contienen, es decir, de la sacarosa, celulosa y almidón; en la industria, como materia básica se emplea el almidón.

Es una sustancia sólida, blanca, cristalina, de sabor muy dulce y soluble en agua, poco en alcohol e insoluble en los disolventes orgánicos; es ópticamente activa, pero no tiene poder rotatorio constante.

Tiene las mismas propiedades químicas de los alcoholes y de los aldehídos, salvo alguna excepción: los hidróxidos alcohólicos son esterificados por los ácidos para formar ésteres fosfóricos; el grupo aldehídico, que se oxida fácilmente en carboxilo con formación de ácido glucónico que da a la glucosa propiedades reductoras; así mismo, reacciona con el amoníaco y derivados, como, por ejemplo, la hidracina y la fenilhidracina. Esta, fermenta rápidamente en presencia de la

levadura, produciendo alcohol etílico y dióxido de carbono. Se emplea en la preparación de sustancias alimenticias, tales como mermeladas, miel artificial, frutos confitados, etc., y en farmacia para la preparación de jarabes y purgantes.

CAPITULO II

SITUACION DEL ESTUDIO  
Y  
METODOS DE INVESTIGACION

## II. SITUACION DEL ESTUDIO Y METODOS DE INVESTIGACION

### A. SITUACION DEL ESTUDIO

En el diagrama de flujo presentado a continuación, Figura 1, se puede apreciar un arreglo común de una refinería de glucosa, este corresponde, en cuanto al proceso de filtración, a un arreglo del tipo comunmente conocido como Filtración Natural o Normal.

Dado que en nuestra investigación nos abocaremos a la optimización de la operación de filtración única y exclusivamente, cabe señalar que solamente estudiaremos las secciones de filtros prensa blancos (6), filtros prensa negros primer paso y segundo (11,13) y filtro prensa trampa (15).

En el diagrama que se muestra las líneas azules indican recirculación, está puede darse según se requiera en el proceso o no, por lo general si se da ésta lo que nos convierte en sistema en tres secciones separadas funcionando en si independientemente una de otra, esto es muy relevante ya que nos obliga a desfasar la producción por etapas para poder contar con una producción continua.



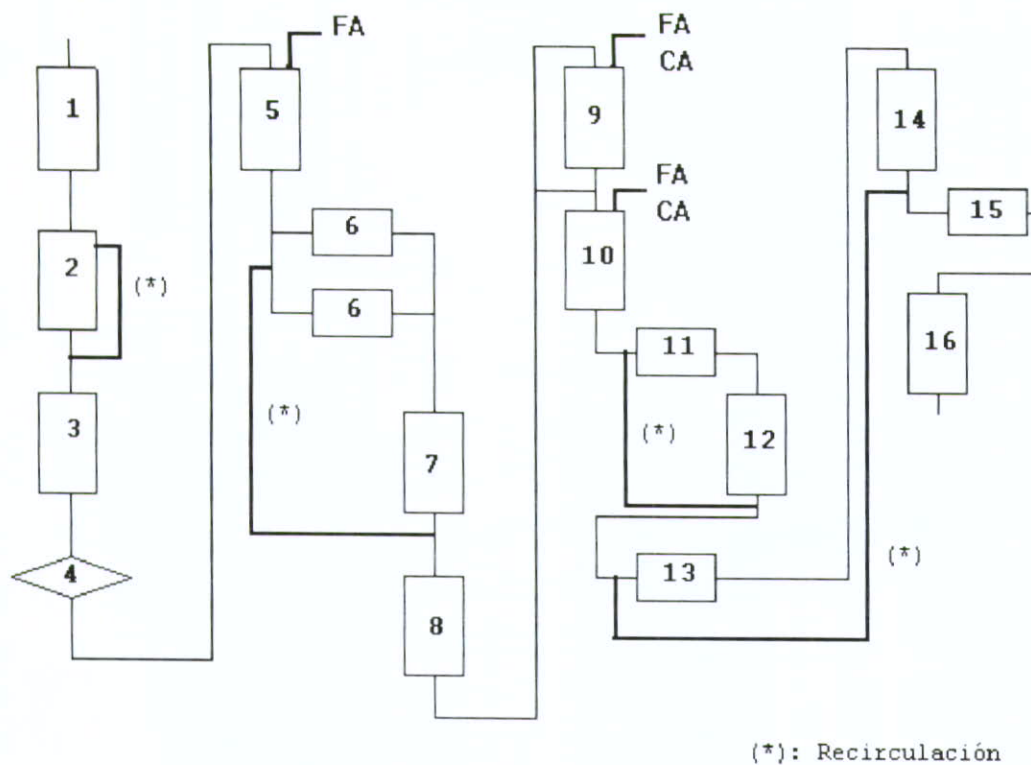


Figura 1

## Diagrama de Flujo Refinería de Glucosa

La relación de los componentes del diagrama de flujo mostrado es la siguiente:

- |                            |   |
|----------------------------|---|
| 1. convertidor             | 2. neutralizador                            |
| 3. tanque alimentador      | 4. centrífuga                               |
| 5. tanque almacenamiento   | 6. filtros prensa blancos                   |
| 7. tanque almacenamiento   | 8. reactores                                |
| 9. tanque contacto CA I    | 10. tanque contacto CA II                   |
| 11. filtro prensa negro I  | 12. tanque primer filtrado                  |
| 13. filtro prensa negro II | 14. tanque segundo filtrado                 |
| 15. filtro prensa trampa   | 16. tanque almacenamiento<br>licor filtrado |

A continuación ahondaremos un poco más en aquellas zonas que abarcará la investigación que nos ocupa.

#### **Filtros prensa blancos o prensas neutrales**

El objeto de éstos es retener las partículas sólidas que han escapado de la acción de la centrífuga.

#### **Filtros prensa negros o prensas de carbón**

La tarea de éstos es adsorber las partículas de color, principalmente, del **licor**. Esto se lleva a cabo mediante el empleo de CA en polvo.

#### **Filtro check o trampa**

Este es el asegurador de calidad del producto, su objetivo principal es retener los finos de carbón que han pasado por los filtros negros y cualquier otra partícula sólida que haya escapado a las filtraciones anteriores, al mismo tiempo funciona como protección contra la ruptura de los medios filtrantes, tratase de lonas o papel filtro, en las prensas de carbón.

## B. METODOS DE INVESTIGACION

Para efectos de pruebas de laboratorio; determinaciones de presión, temperatura, dosificaciones, medios filtrantes y demás, se trabajó en base a una sola muestra madre, subdividida a su vez para realizar toda la serie de pruebas. Esta tenía que mantenerse a más de 30°C o a menos de 5°C para evitar que la glucosa fermentara. Se optó por la segunda opción, para ésto se utilizó hielo seco. El requerimiento de realizar toda la serie de pruebas, en las que solamente se modificaría una variable a la vez, a partir de la misma muestra implicó jornadas de hasta 15 horas de trabajo continuo.

Las pruebas se realizaron en un filtro piloto propiedad de **Dicalite de México**; en éste es posible regular la temperatura, la presión y el área de filtración; cuenta con una capacidad de 3.5 litros y está fabricado totalmente en acero inoxidable.

En cuanto a las pruebas de color, pauta de calidad utilizada, se realizaron con un espectrómetro, mediante la comparación de carencia de color (0% en onda 410) y de transparencia total (100% en onda 590). Para ésto se calibraba primeramente el espectrómetro a 0% vacío (onda 410) y se tomaba la lectura de la muestra; posteriormente se volvía a calibrar a 100% utilizando una probeta con agua destilada (onda 590) y se

volvía a analizar la muestra. Una vez obtenidas las dos lecturas se calculaba el color mediante la resta de ambas lecturas dividida por 10.

En cuanto a los cálculos de capacidad, estos se efectuaron en base a lo obtenido en el filtro piloto y su proyección en gráficas log-log mediante la utilización del método gráfico. En estas, se graficó el flujo total acumulado por unidad de área (ésta equivalente a  $0.010 \text{ ft}^2$ ) contra el tiempo. Dado que a los 21 minutos podemos estar completamente seguros de haber obtenido una estabilidad en el proceso de filtración las pruebas se delimitaron a este lapso, así pues se tomaron lecturas a: 1, 2, 3, 6, 9, 12, 15, 18 y 21 minutos; una vez plasmadas estas en las gráficas log-log (método gráfico) trazamos una línea que busque ser tangente a todos los puntos y la prolongamos hasta 480 min (8 horas) que es una jornada estandar de trabajo para un filtro prensa en esta aplicación (extrapolación), en el caso específico del filtro trampa el ciclo normal de trabajo es de 5 días por lo que la extrapolación fue a 7200 minutos.



CAPITULO III

PROCESO  
DE  
FILTRACION  
NATURAL

### III. PROCESO DE FILTRACION NATURAL

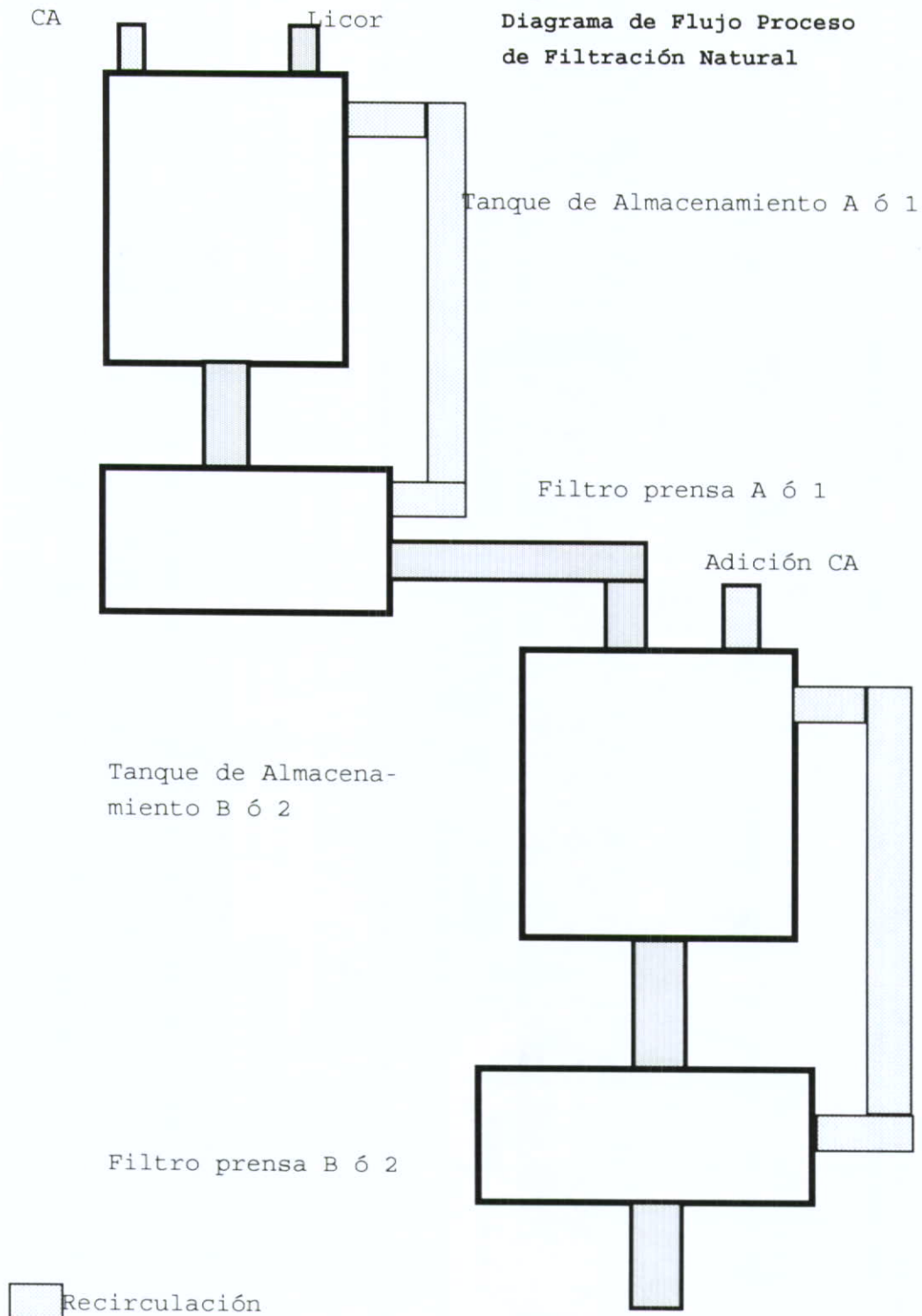
El proceso de Filtración Natural es con mucho el más utilizado en las Refinerías de Glucosa, esto debido en gran parte a su simplicidad y flexibilidad.

Si recordamos las secciones 6, 11 y 13, y 15 del diagrama de flujo de una Refinería de Glucosa presentado en el capítulo II, vemos que estas comprendían a filtros prensa blancos, negros y trampa y que cada uno de estos tiene un objetivo específico, los primeros retener sólidos, los segundos adsorber color y los terceros asegurar el color (calidad). El proceso de Filtración Natural es aplicable a todas estas secciones, éste consiste en el paso del licor a través del filtro prensa siempre en un mismo sentido y con recirculación en cada sección hasta lograr las especificaciones requeridas. En éste los filtros prensa negros trabajan como 2 pasos, esto es cada tanque de almacenamiento previo a estos se carga con una dosis igual de CA, una vez que el licor a completado su ciclo de filtración en el filtro 1 entonces pasa a cumplir con el correspondiente del filtro 2.

En la Figura 2 podemos apreciar este sistema de filtración en forma gráfica.

Figura 2

Diagrama de Flujo Proceso de Filtración Natural



A filtro prensa trampa

## CAPITULO IV

### OPTIMIZACION DEL FLUJO



#### IV. OPTIMIZACION DEL FLUJO EN UN PROCESO DE FILTRACION NATURAL

Entre las variables que más afectan a éste se cuentan: la temperatura y la presión de operación, el gasto, la dosificación de FA y CA, y los medios filtrantes empleados. Comenzaremos por analizar cada una por separado.

##### **Presión y Gasto**

Estos factores es muy conveniente que correspondan a un flujo laminar, esto para efectos de lograr una buena precapa, la cual nos permite tener una buena capacidad de retención y una buena protección contra el taponeo muy rápido o inmediato de las lonas y del papel filtro. Por otro lado, ésta tiene que ser suficiente para que el **licor** ejerza la suficiente presión contra la torta para mantenerla fija a los medios filtrantes y el flujo sea continuo y suficiente.

Basado en lo expuesto anteriormente, se recomienda trabajar con una presión media lineal de 0 a 4 kg/cm<sup>2</sup>, lo que nos viene dando 2 kg/cm<sup>2</sup>.

##### **Dosificación de FA**

Como podemos apreciar en la tabla 3 y su respectiva gráfica, a mayor dosificación mayor flujo, mas existe un límite a partir del cual ya no es redituable y de hecho uno más donde el flujo disminuye como consecuencia de un exceso de FA.

Analizando un poco más profundamente los datos contenidos en la tabla mencionada anteriormente, apreciamos que de 0 gr/l de FA a 1 gr/l logramos un incremento en el flujo de 90.38%; sin embargo, de 1 a 2 gr/l sólo logramos un 8.58 %. Este incremento si bien no es en sí despreciable en cuanto al factor que nos ocupa, si lo es en cuanto a costo y operación. Por lo tanto, la dosificación óptima, en términos conjuntos de: flujo, costo (50% menos), operación y facilidad de manejo, es 1 gr/l.

### **Dosificación de CA**

Si bien el objetivo del CA es muy distinto del de un FA, éste afecta directamente al flujo, pues en cuanto mayor es su presencia mayor es el taponeo de las lonas y la operación es más lenta. En la tabla 4 y su gráfica respectiva podemos apreciar este efecto claramente. En base a lo anterior podemos decir que en lo que respecta al flujo mientras menor sea la dosificación de CA mejor.

### **Temperatura**

En la tabla 5 y su gráfica se muestran los resultados comparativos de trabajar a 70 y 80 °C. Como se puede apreciar en éstas, se obtiene un fuerte incremento en el flujo, alrededor de 35%, al trabajar a esta última.

En lo que se refiere a este factor, es muy conveniente y redituable el trabajar a 80 °C; más habrá que analizar más adelante las implicaciones de esta temperatura en la calidad

del producto.

### **Medios filtrantes**

En el caso de las lonas y el papel filtro nos es muy lógico el hecho de que a menor micraje menor flujo, pero ¿Qué tanto disminuye éste?.

En cuanto a lo que al factor de flujo se refiere, simplemente nos abocamos a seleccionar la lona y el papel filtro que nos proporcionen un mejor resultado; así, optamos por el papel filtro de 12  $\mu$  y la lona de poliéster (ver tablas 6, 7 y gráficas correspondientes); más adelante cuando nos encontremos en la necesidad de combinar la calidad del producto con el factor mencionado nos veremos obligados a reevaluar esta decisión.

Tabla 3. Efecto de FA sobre el flujo total acumulado/área

Tiempo (min)	Flujo total acum./área (ml/0.010ft <sup>2</sup> )		
	serie 1	serie 2	serie 3
1	144	310	250
2	180	430	360
3	220	510	442
6	320	710	645
9	390	860	805
12	460	990	935
15	505	1,100	1,050
18	560	1,200	1,170
21	610	1,300	1,260
** 480	3,150	6,000	6,500
Flujo total acumulado/área promedio(Gal/hFt <sup>2</sup> )	10.40	19.81	21.46
Dosif. FA. (gr/l)	0.00	1.00	2.00

VARIABLE: dosificación de FA

CONSTANTES:  
 área: 0.010 Ft<sup>2</sup>  
 septum: lona de poliester  
 temperatura: 70°C  
 presión: 2.0 kg/cm<sup>2</sup>  
 dosificación de CA: 0.0 gr/l

(\*\*).- Datos obtenidos mediante extrapolación en la gráfica log-log  
 Filtros prensa blancos, ciclo estandar de trabajo 8 horas

Gráfica 3. Efecto del FA sobre el flujo total acumulado/área

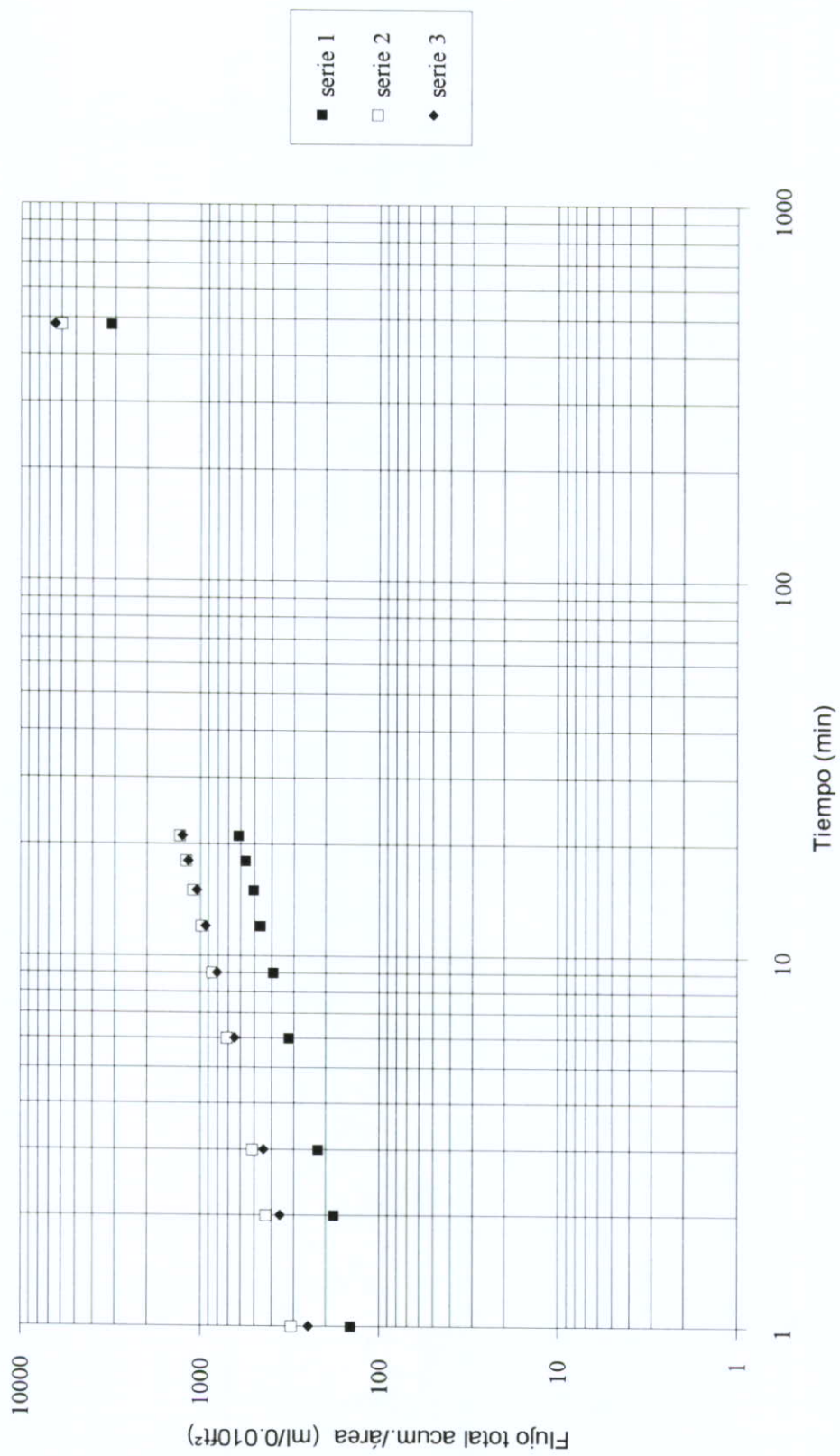




Tabla 4. Efecto del CA sobre el flujo total acumulado/área

Tiempo (min)	Flujo total acumulado/área (ml/0.010ft <sup>2</sup> )				
	serie 1	serie 2	serie 3	serie 4	serie 5
1	285	190	144	112	96
2	395	240	180	154	140
3	475	300	220	184	168
6	665	400	320	220	246
9	705	518	390	266	302
12	825	612	460	308	346
15	935	690	505	344	388
18	1,035	754	560	379	426
21	1,125	824	610	409	448
** 480	5,800	4,200	3,150	2,150	1,900
Flujo total acumulado/área promedio (gal/hft <sup>2</sup> )	19.15	13.87	10.40	7.10	6.27
Dosif. CA (gr/l)	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00

VARIABLE: dosificación de CA

CONSTANTES: área: 0.010 ft<sup>2</sup>  
 septum: lona de poliester  
 temperatura: 70 °C  
 presión: 2.0 kg/cm<sup>2</sup>  
 dosificación de FA: 0.0 gr/l

(\*\*).- Datos obtenidos mediante extrapolación en la gráfica log-log.  
 Filtros prensa negros, ciclo estandar de trabajo 8 horas

Gráfica 4. Efecto del CA sobre el flujo total acumulado/área, Flujo Natural

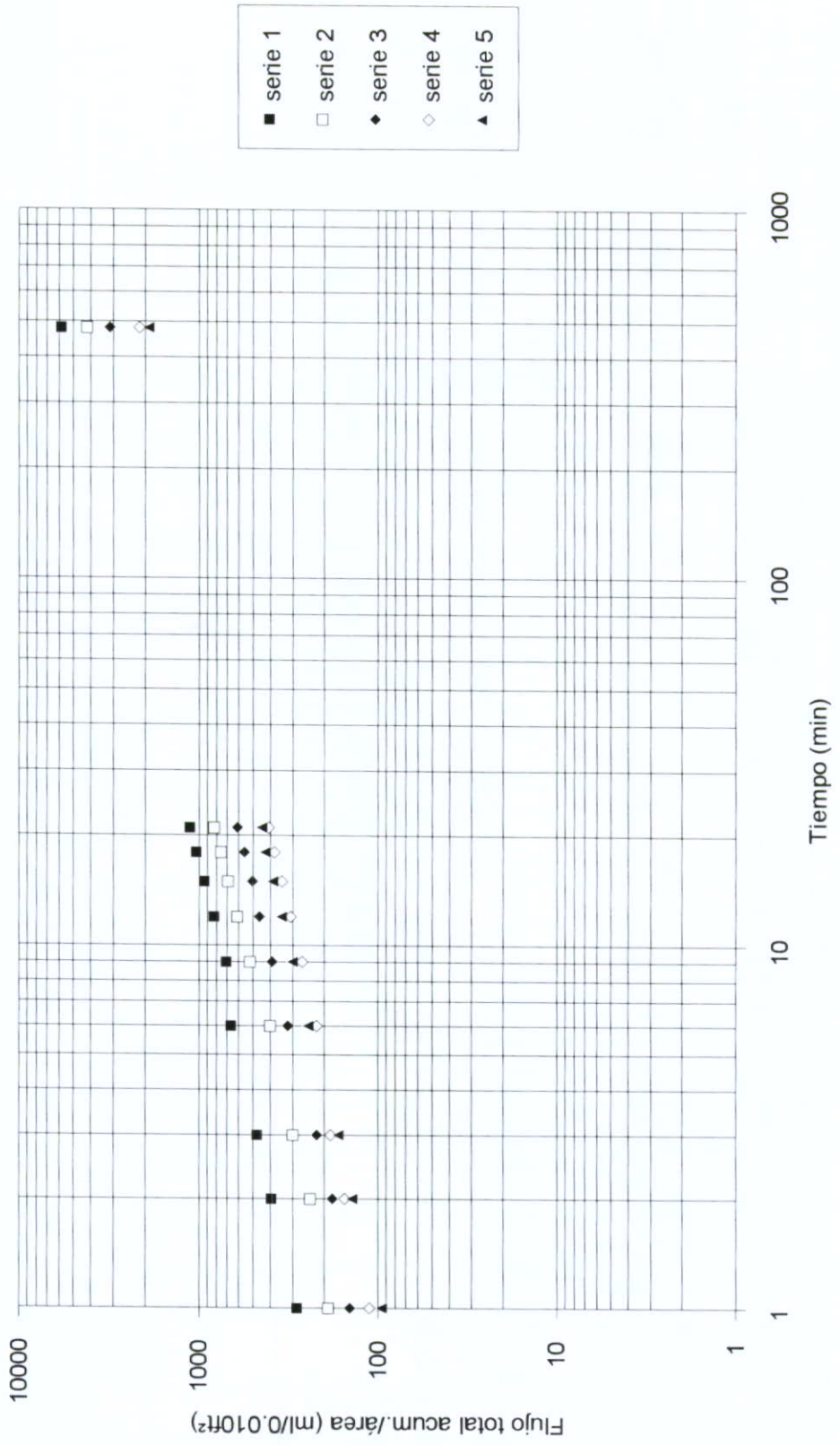


Tabla 5. Efecto de la Temperatura sobre el flujo total acumulado/área

Tiempo (min)	Flujo total acumulado/área (ml/0.010ft <sup>2</sup> )	
	serie 1	serie 2
1	146	198
2	214	282
3	264	348
6	380	504
9	470	638
12	560	768
15	632	840
18	696	910
21	752	1,000
**480	4,100	5,500
Flujo total acumulado/área promedio (gal/hft <sup>2</sup> )	13.54	18.16
Temperatura (°C)	70	80

VARIABLES: Temperatura

CONSTANTES: área: 0.010 Ft<sup>2</sup>  
 septum: lona de poliester  
 presión: 2.0 kg/cm<sup>2</sup>  
 dosificación de FA: 0.0 gr/l  
 dosificación de CA: 0.0 gr/l

(\*\*).- Datos obtenidos mediante extrapolación en la gráfica log-log.  
 Filtros prensa blancos y negros, ciclo estandar de producción 8 horas

Gráfico 5. Efecto de la Temperatura sobre el flujo total acumulado/área, Flujo Natural

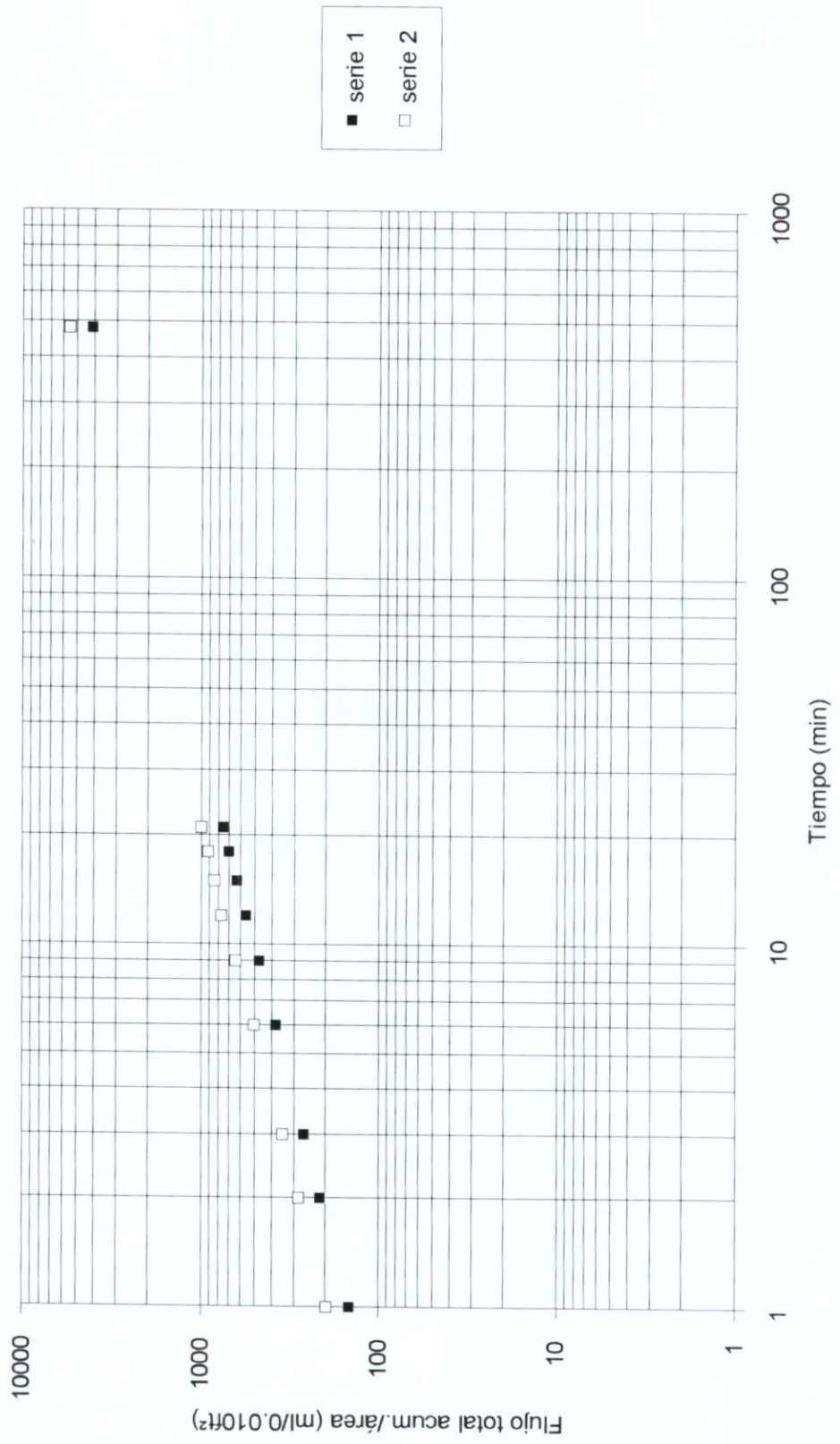


Tabla 6. Efecto del papel filtro sobre el flujo total acumulado/área

Tiempo (min)	Flujo total acumulado/área (ml/0.010ft <sup>2</sup> )	
	serie 1	serie 2
1	800	720
2	940	840
3	1,000	900
6	1,110	990
9	1,164	1,050
12	1,194	1,100
15	1,220	1,144
18	1,240	1,184
21	1,262	1,220
**7200	2,600	3,200
Flujo total acumulado/área promedio (gal/hft <sup>2</sup> )	8.59	10.57
Papel filtro ( $\mu$ )	4	12

VARIABLES: Papel filtro

CONSTANTES: área: 0.010 Ft<sup>2</sup>  
septum: lona de poliester  
presión: 2.0 kg/cm<sup>2</sup>  
dosificación de FA: 0.0 gr/l  
dosificación de CA: 0.0 gr/l

(\*\*).- Datos obtenidos mediante extrapolación en la gráfica log-log.  
Filtro prensa trampa, ciclo estandar de producción 5 días



Gráfica 6. Efecto del papel filtro sobre el flujo total acumulado/área

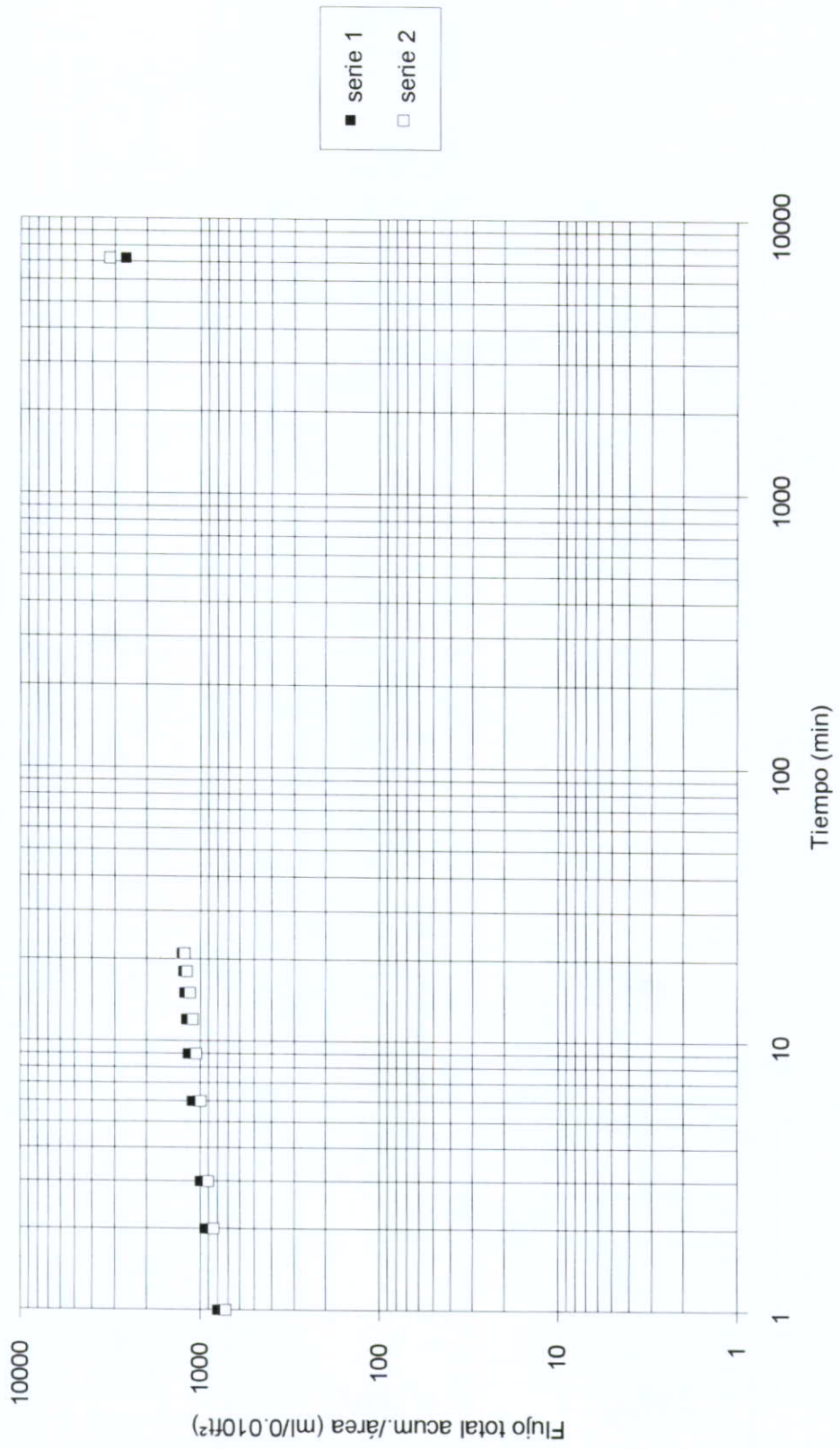


Tabla 7. Efecto de las lonas filtrantes sobre el flujo total acumulado/área

Tiempo (min)	Flujo total acumulado/área (ml/0.010ft <sup>2</sup> )	
	serie 1	serie 2
1	800	1160
2	940	1430
3	1000	1560
6	1110	1720
9	1164	1830
12	1194	1920
15	1220	1990
18	1240	2050
21	1262	2100
**7200	2600	5700
Flujo total acumulado/área promedio (gal/hft <sup>2</sup> )	8.59	18.82

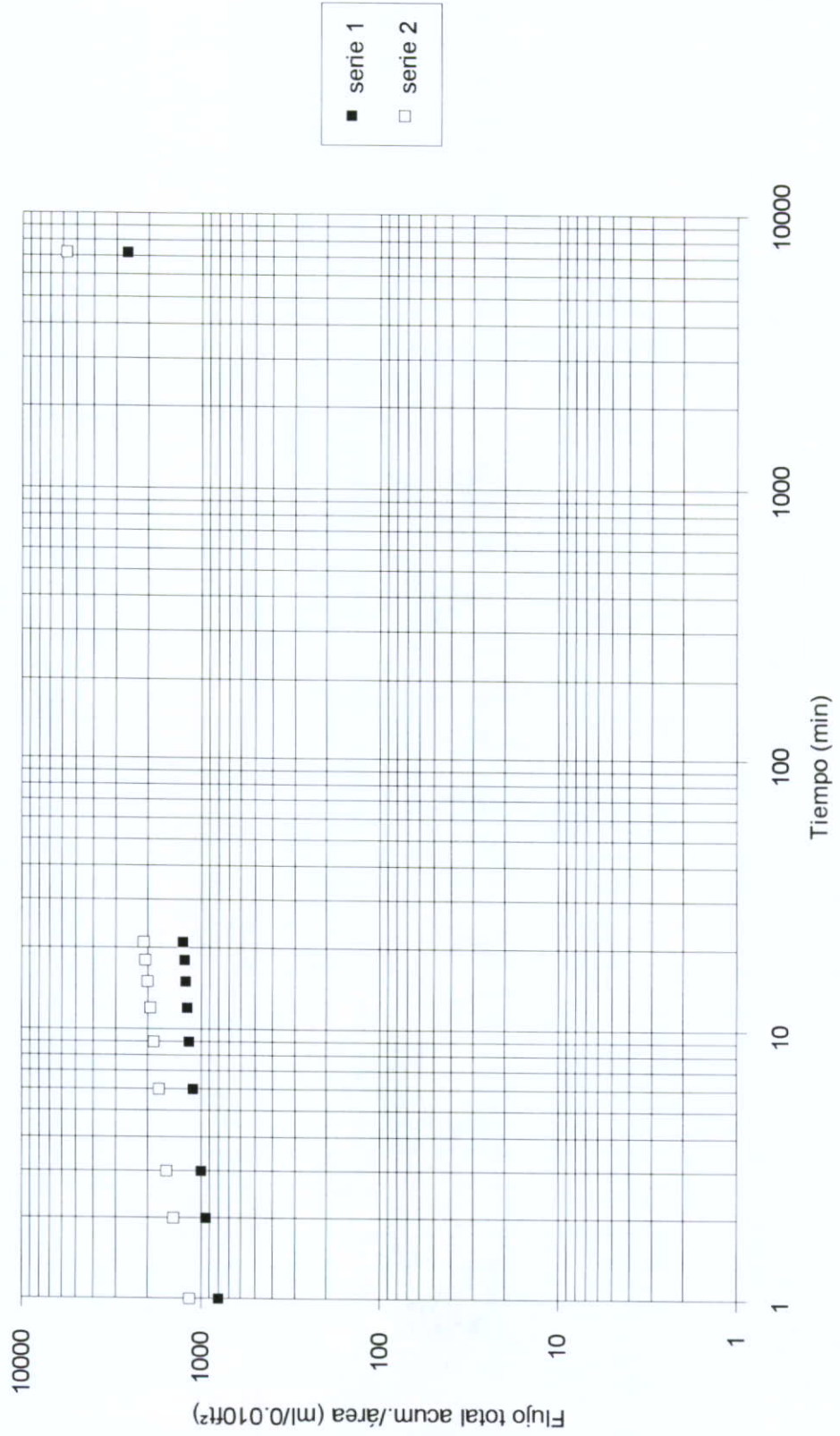
Lona Filtrante    Algodon                      Poliester

VARIABLES:                      *Lonas filtrantes*

CONSTANTES:                      área: 0.010 Ft<sup>2</sup>  
Papel filtro 4 μ  
presión: 2.0 kg/cm<sup>2</sup>  
dosificación de FA: 0.0 gr/l  
dosificación de CA: 0.0 gr/l

(\*\*).- Datos obtenidos mediante extrapolación en la gráfica log-log.  
Filtro prensa trampa, ciclo estandar de producción 5 días

Gráfica 7. Efecto de las lonas filtrantes sobre el flujo total acumulado/área



CAPITULO V

OPTIMIZACION DE LA CALIDAD

## V. OPTIMIZACION DE LA CALIDAD EN UN PROCESO DE FILTRACION NATURAL

Uno de los parámetros utilizados para medir la calidad en la glucosa es la claridad o color de ésta, para efectos del estudio que nos ocupa nos basaremos en éste y por lo tanto hablaremos de calidad-color como si fueran sinónimos.

Los factores o condiciones que influyen en ésta son: la temperatura de operación, la dosificación de CA, el tiempo de contacto del CA y los medios filtrantes utilizados. Al igual que hicimos con la optimización del flujo evaluaremos cada uno de éstos por separado.

### **Temperatura, Dosificación de CA y tiempo de contacto**

Para determinar el efecto de cada uno de estos factores y sus valores óptimos se llevaron a cabo diversas pruebas, los resultados de éstas están plasmados en las tablas 8, 9 Y 10 y sus respectivas gráficas. En éstas se presentan los colores (calidades) obtenidos con las diversas combinaciones de condiciones, en las tablas se indican además los porcentajes de remoción logrados.

De los resultados obtenidos podemos concluir que la calidad del producto aumenta a mayor dosificación de CA, mayor TC de éste y a mayor temperatura siempre y cuando no llegue a 80°C donde se presenta una disminución de ésta como resultado de que el **licor** comienza a quemarse.

Los resultados obtenidos a 60 °C son considerablemente



menores a los logrados a 70 °C, por lo que se opta por esta última. En cuanto a la dosificación de CA el incremento en la remoción de color logrado con 8 gr/l es realmente despreciable, si a esto le añadimos que nos cuesta 33% más (2 gr/l de CA más) esta última, no nos queda duda alguna sobre utilizar 6 gr/lt. Por último, en lo que respecta al TC a partir de los 30 minutos los avances son mínimos por lo que es el más recomendable.

### **Medios filtrantes**

En la tabla 11 y su gráfica respectiva observamos que la calidad (color) lograda al utilizar un papel filtro de 4  $\mu$  es mayor que la obtenida con uno de 12  $\mu$ , 30% más de retención de partículas sólidas (serie 1 vs serie 2). En cuanto a las lonas filtrantes la de poliéster brinda 7.14% más de transmitancia que la de algodón, misma tabla y gráfica (serie 1 vs serie 3).

### **Presión**

Esta realmente no ejerce influencia alguna sobre la calidad del producto, por lo que no se considera en las pruebas.

### **Dosificación de FA**

Si bien la función del FA es retener las partículas de sólidos contenidas por el **licor**, su efecto sobre el color de éste es despreciable con relación al resto de los factores que nos ocupan.

Tabla 8. Efecto del CA y su tiempo de contacto sobre la calidad @ 60 °C  
Flujo Natural

Dosificación CA	Color remanente					Promedio
	0 min TC	20 min TC	30 min TC	40 min TC	50 min TC	
2 gr/l	2.24	1.04	0.90	0.88	0.84	0.92
4 gr/l	2.24	0.60	0.52	0.48	0.46	0.52
6 gr/l	2.24	0.46	0.36	0.34	0.30	0.37
8 gr/l	2.24	0.30	0.34	0.32	0.28	0.31
Promedio	2.24	0.60	0.53	0.51	0.47	0.53

Dosificación CA	% de color remanente				Promedio
	20 min TC	30 min TC	40 min TC	50 min TC	
2 gr/l	46.43%	40.18%	39.29%	37.50%	40.85%
4 gr/l	26.79%	23.21%	21.43%	20.54%	22.99%
6 gr/l	20.54%	16.07%	15.18%	13.39%	16.29%
8 gr/l	13.39%	15.18%	14.29%	12.50%	13.84%
Promedio	26.79%	23.66%	22.54%	20.98%	23.49%

VARIABLES: Dosificación de CA  
Tiempo de contacto (TC)

CONSTANTES: área: 0.010 Ft<sup>2</sup>  
septum: lona de poliester  
presión: 2.0 kg/cm<sup>2</sup>  
temperatura: 60°C  
dosificación de FA: 0.0 gr/l

Gráfica 8. Efecto del CA y su TC sobre la calidad @ 60°C, Flujo Natural

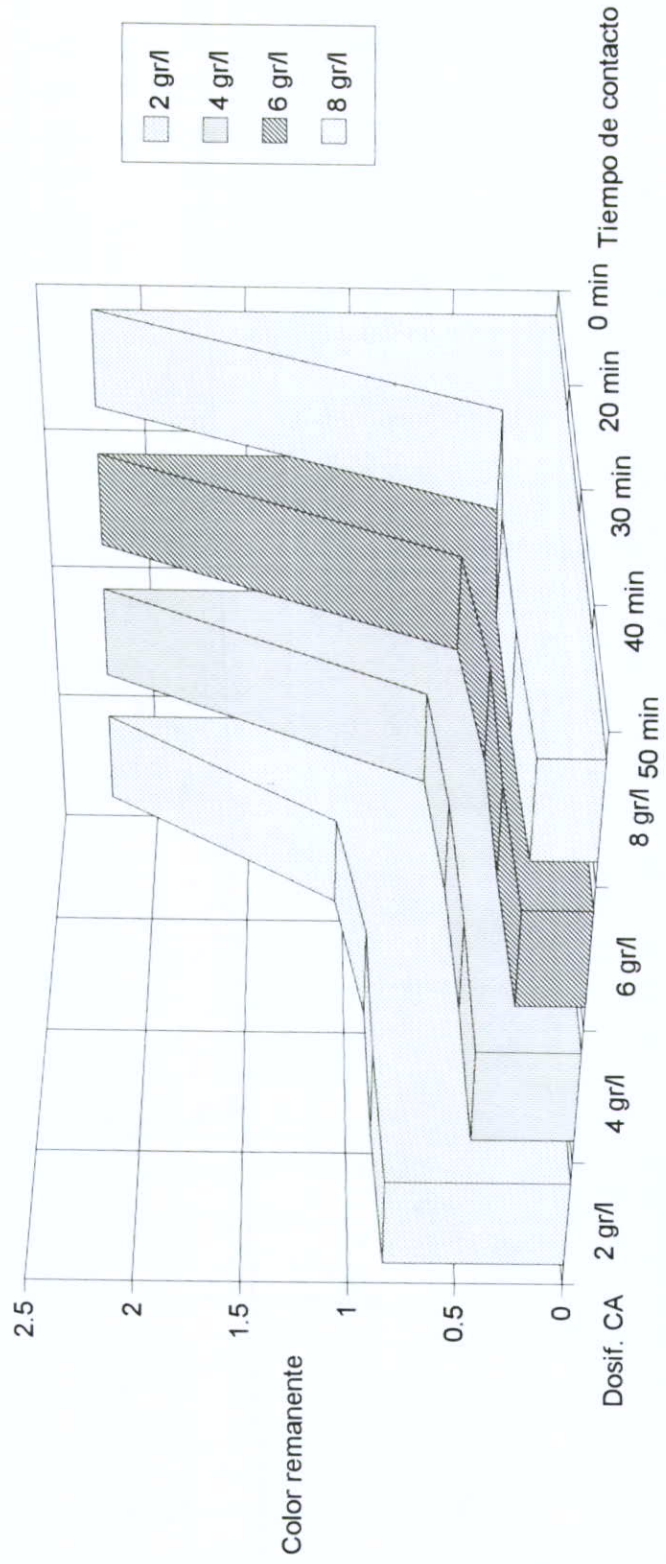


Tabla 9. Efecto del CA y su tiempo de contacto sobre la calidad @ 70°C  
Flujo Natural

Dosificación CA	Colores remanentes					Promedio
	0 min TC	20 min TC	30 min TC	40 min TC	50 min TC	
2 gr/l	2.24	0.86	0.84	0.70	0.68	0.77
4 gr/l	2.24	0.47	0.46	0.44	0.43	0.45
6 gr/l	2.24	0.40	0.34	0.30	0.28	0.33
8 gr/l	2.24	0.32	0.30	0.29	0.26	0.29
Promedio	2.24	0.51	0.49	0.43	0.41	0.46

Dosificación CA	% color remanente				Promedio
	20 min TC	30 min TC	40 min TC	50 min TC	
2 gr/l	38.39%	37.50%	31.25%	30.36%	34.38%
4 gr/l	20.98%	20.54%	19.64%	19.20%	20.09%
6 gr/l	17.86%	15.18%	13.39%	12.50%	14.73%
8 gr/l	14.29%	13.39%	12.95%	11.61%	13.06%
Promedio	22.88%	21.65%	19.31%	18.42%	20.56%

VARIABLES: Dosificación de CA  
Tiempo de contacto (TC)

CONSTANTES: área: 0.010 Ft<sup>2</sup>  
septum: lona de poliester  
presión: 2.0 kg/cm<sup>3</sup>  
temperatura: 70°C  
dosificación de FA: 0.0 gr/l

Gráfica 9. Efecto del CA y su TC sobre la calidad @ 70°C, Flujo Natural

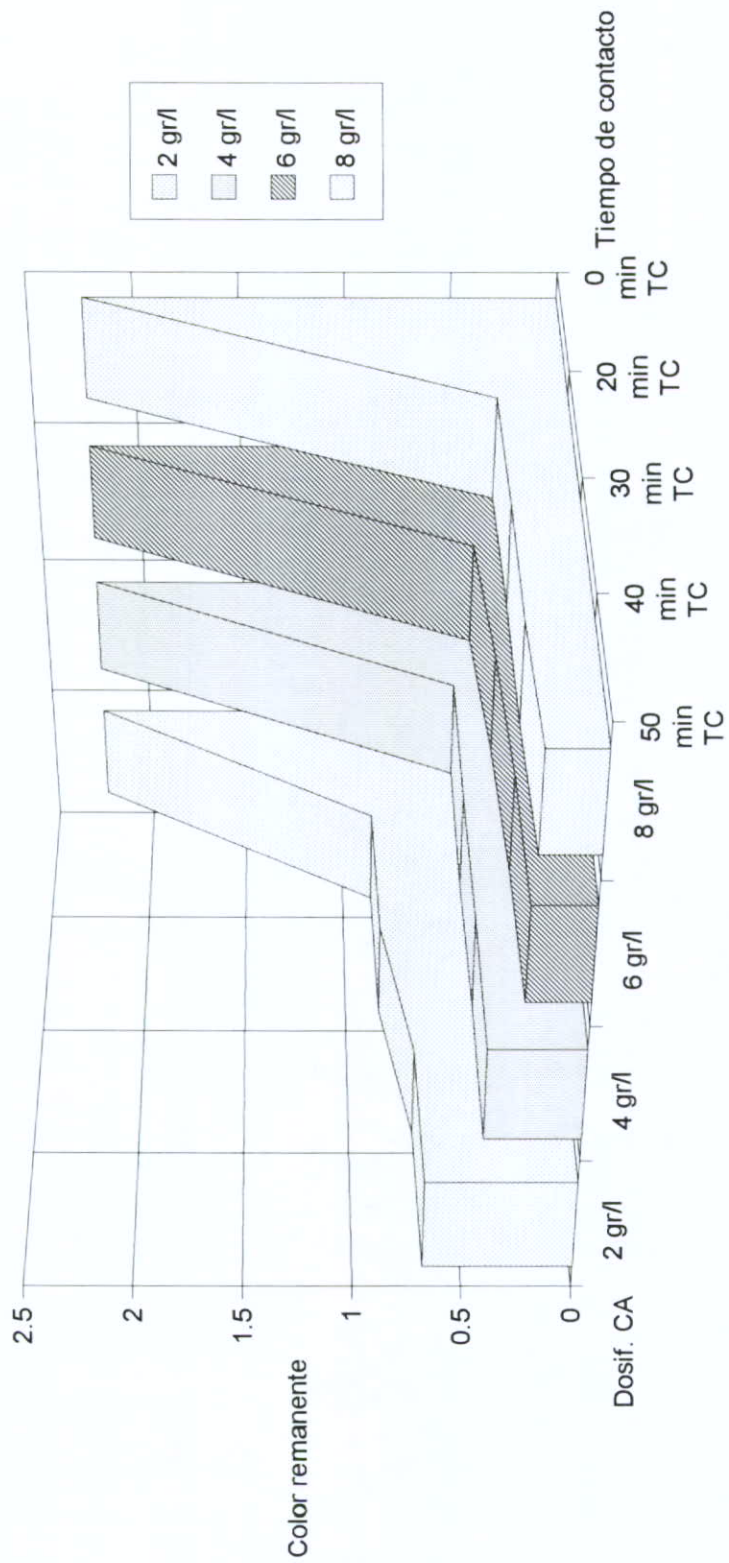




Tabla 10. Efecto del CA y su tiempo de contacto sobre la calidad @ 80°C

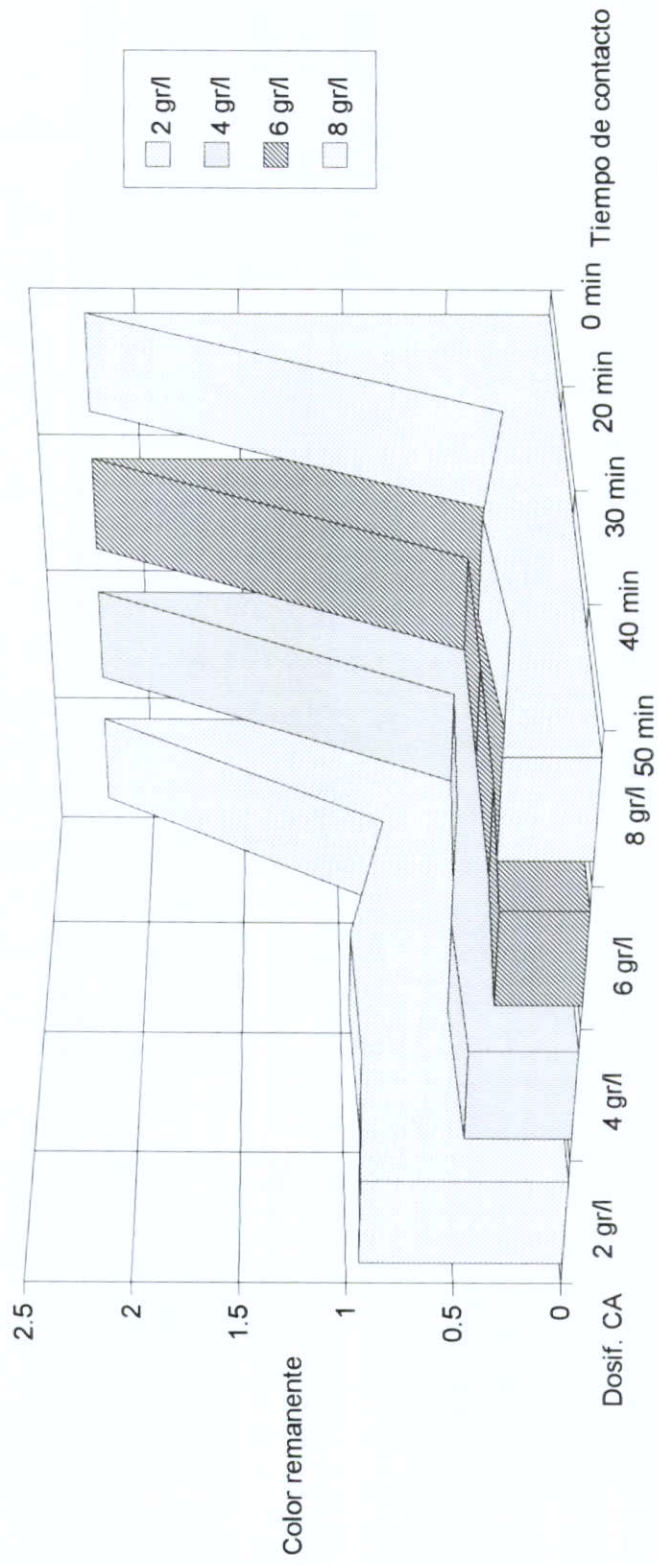
Dosificación CA	Color remanente					Promedio
	0 min TC	20 min TC	30 min TC	40 min TC	50 min TC	
2 gr/l	2.24	0.78	0.96	0.92	0.94	0.90
4 gr/l	2.24	0.44	0.46	0.52	0.48	0.48
6 gr/l	2.24	0.40	0.38	0.36	0.38	0.38
8 gr/l	2.24	0.27	0.40	0.32	0.40	0.35
Promedio	2.24	0.47	0.55	0.53	0.55	0.53

Dosificación CA	% color remanente				Promedio
	20 min TC	30 min TC	40 min TC	50 min TC	
2 gr/l	34.82%	42.86%	41.07%	41.96%	40.18%
4 gr/l	19.64%	20.54%	23.21%	21.43%	21.21%
6 gr/l	17.86%	16.96%	16.07%	16.96%	16.96%
8 gr/l	12.05%	17.86%	14.29%	17.86%	15.51%
Promedio	21.09%	24.55%	23.66%	24.55%	23.47%

VARIABLES: Dosificación de CA  
Tiempo de contacto (TC)

CONSTANTES: área: 0.010 Ft<sup>2</sup>  
septum: lona de poliester  
presión: 2.0 kg/cm<sup>2</sup>  
temperatura: 80°C  
dosificación de FA: 0.0 gr/l

Gráfica 10. Efecto del CA y su TC sobre la calidad @ 80°C, Flujo Natural



---

---

Tabla 11. Efecto del papel filtro y las lonas filtrantes sobre el color (calidad)

	serie 1	serie 2	serie 3
Color remanente	0.28	0.40	0.26

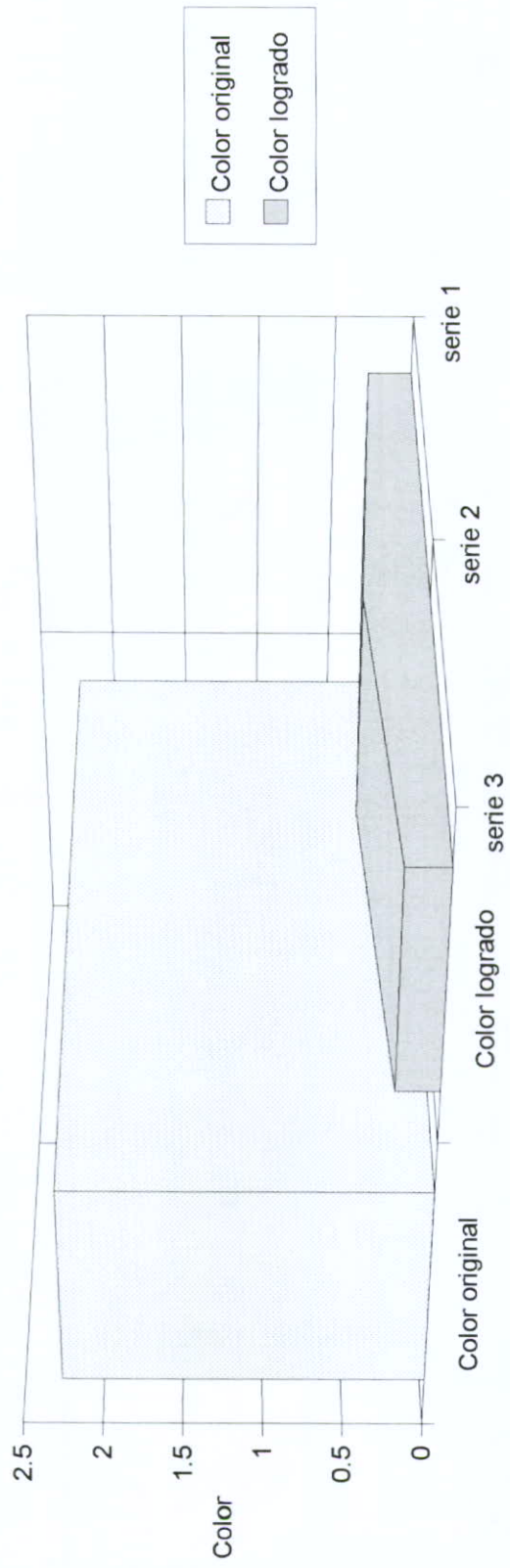
Serie 1: papel filtro de 4  $\mu$  y lona filtrante de algodón  
Serie 2: papel filtro de 12  $\mu$  y lona filtrante de algodón  
Serie 3: papel filtro de 4  $\mu$  y lona filtrante de poliéster

CONSTANTES: área 0.010 Ft<sup>2</sup>  
presión: 2.0 kg/cm<sup>2</sup>  
temperatura 70°C  
dosificación CA: 0 gr/l  
dosificación FA: 0 gr/l

---

---

Gráfica 11. Efecto del papel filtro y la lona filtrante sobre la calidad



Color logrado = Color remanente

CAPITULO VI

OPTIMIZACION DEL PROCESO DE FILTRACION



VI. OPTIMIZACION DEL PROCESO DE FILTRACION NATURAL EN GENERAL Y POR AREAS  
ESPECIFICAS

En los capítulos anteriores nos hemos abocado a determinar las condiciones óptimas del proceso de filtración en términos de flujo (cantidad) y color (calidad), en este buscaremos maximizar ambos al mismo tiempo, tomando en cuenta también el factor económico. A continuación presentamos en forma resumida, los resultados obtenidos en los capítulos anteriores:

Factor	Flujo	Color
Presión	2 Kg/cm <sup>2</sup>	no influye
Temperatura	80 °C	70 °C
Dosificación FA	1 gr/l	no influye
Dosificación CA	la menor posible	6 gr/l
TC CA	no influye	30 min
Papel filtro	12 μ	4 μ
Lona filtrante	poliester	poliester

Analizando los datos anteriores y buscando optimizar el proceso en términos de flujo y calidad, y teniendo en cuenta el aspecto económico llegamos a las siguientes conclusiones:

### Presión

Dado lo visto en los capítulos III y IV podemos decidirnos por una presión media lineal entre 0 kg/cm<sup>2</sup> y 4 kg/cm<sup>2</sup>, lo que nos viene dando 2 Kg/cm<sup>2</sup>, la cual nos permite unas adecuadas condiciones de flujo y gasto, y además es perfectamente viable con el equipo con se que se cuenta.

### Temperatura

Se determinó trabajar a 70 °C ya que a 80 °C se comienza a quemar la glucosa ocasionando un aumento de color; a esta temperatura, sin embargo, se logra un buen flujo promedio (13.54 gal/hft<sup>2</sup>) y una buena remoción promedio de color (79.44%), ver tablas y gráficas 5 y 9, capítulos IV y V respectivamente.

### Dosificación de FA

Se decide utilizar 1 gr/l de FA **Dicalite** grado 477, el cual cuenta con una capacidad de retención de 0.67  $\mu$ , un flujo relativo de 7.3 y una **permeabilidad** en agua de 1.02 darcies<sup>6</sup>. Esto nos representa un flujo de 19.81 gal/hft<sup>2</sup>; ésto es, un incremento del 90.48% sobre el resultado obtenido al no utilizar FA. Si bien los resultados obtenidos al utilizar 2 gr/l son mayores, ésto no es redituable, por lo que se desecha esta opción, tabla y gráfica 3 capítulo IV.

---

<sup>6</sup> Tomado del catalogo de Dicalite.

### Dosificación de CA

Se agregarán 6 gr/lt, con ésto se logra una adsorción de color promedio (calidad) de 85.27% y un flujo promedio de 10.40 gal/h ft<sup>2</sup>. Recordando lo visto en el capítulo V, no se opta por utilizar 8 gr/lt de CA por inferir ésto un 33% de incremento en los costos y una reducción en el flujo de 31.73%, (estos datos corresponden a una temperatura de operación de 70 °C ), ver tablas y gráficas 4 y 9 capítulos IV y V respectivamente.

### TC CA

Como mínimo se tendrán 30 minutos y como máximo 40. Con 30 minutos logramos una remoción de color promedio de 78.35% y con 40 una de 80.69% (estos datos corresponden a una temperatura de operación de 70 °C), ver tabla y gráfica IX capítulo V. En base al estudio realizado podemos concluir que si bien la adsorción de color por parte del CA va incrementándose con respecto al tiempo, existe un límite a partir del cual ésta no sólo deja de aumentar sino que comienza a disminuir; ésto es, el CA comienza a ceder color al **licor** como resultado de un tiempo de contacto excesivo (Ley de Van Deer Waals).

### Papel filtro

El uso de un papel filtro de 4  $\mu$  implica una reducción en el flujo promedio de 18.73% y un 30.00% de incremento en la

retención de partículas sólidas en suspensión, lo cual se traduce en un mejor color (calidad). Dado que el efecto de remoción de color, ésto como consecuencia de la retención de partículas sólidas que lleva a cabo, del papel filtro sobre el **licor** es mínimo contra el del CA descartamos la utilización de éste por su efecto negativo sobre el flujo, así pues se opta por usar el papel filtro de  $12 \mu$ , éste nos proporciona un flujo promedio de  $10.57 \text{ gal/h ft}^2$ , 23.05% más que el de  $4 \mu$ , ver tablas y gráficas 6 y 11 capítulos IV y V respectivamente.

#### **Lona filtrante**

Se utilizarán lonas de poliéster por representar éstas un 119.09% más de flujo sobre las de algodón y 7.14% más de retención de partículas sólidas sobre las mismas, esto en parte como consecuencia del mayor volumen filtrado, ver tablas y gráficas 7 y 11 capítulos IV y V respectivamente.

Así pues, las condiciones de operación para la optimización del proceso de filtración son las expuestas a continuación:



---

Presión media	2 kg/cm <sup>2</sup>	
Temperatura	70 °C	
Dosificación de FA	1 gr/l	<b>Dicalite 477</b>
Dosificación de CA	6 gr/l	<b>Clarimex 0.61 G</b>
TC CA	30 min	
Papel filtro	12 $\mu$	De celulosa
Lona filtrante	poliéster	

---

Ahora bien en el segundo capítulo de este estudio señalamos las áreas, dentro de la refinería, que abarcarían este estudio: filtros prensa blancos, negros y trampa. Ya hemos determinado las condiciones de operación adecuadas para optimizar nuestro proceso de filtración, pero aun nos resta señalar dónde y cómo se aplicarán éstas en la planta.

### **Filtros prensa blancos**

Como mencionamos en un principio su objetivo principal es la retención de las partículas sólidas suspendidas en la glucosa que han escapado a la centrífuga. Dado ésto sus condiciones de operación serán las presentadas en la tabla :



---

Presión media	2 kg/cm <sup>2</sup>
Temperatura	70 ° C
Dosificación de FA	1 gr/l <b>Dicalite</b> 477
Dosificación de CA	---
TC CA	---
Papel filtro	12 $\mu$ De celulosa
Lona filtrante	Poliéster

---

### Filtros prensa negros

El objeto de estos es la decoloración de la glucosa, dado esto deben operar bajo las condiciones mostradas en la tabla :

---

Presión media	2 kg/cm <sup>2</sup>
Temperatura	70 ° C
Dosificación de FA	1 gr/l <b>Dicalite</b> 477
Dosificación de CA	6 gr/l <b>Clarimex</b> 0.61G
TC CA	30-40 minutos
Papel filtro	12 $\mu$ De celulosa
Lona filtrante	Poliéster

---

**Filtro check o trampa**

Este como mencionamos se ocupa de la retención de las partículas sólidas restantes en la glucosa, principalmente finos de CA; por lo que tenemos las siguiente especificaciones, mostradas en la tabla :

---

Presión media	2 kg/cm <sup>2</sup>
Temperatura	70 ° C
Dosificación de FA	---
Dosificación de CA	---
TC CA	---
Papel filtro	4 $\mu$ De celulosa **
Lona filtrante	Poliéster

\*\* En este caso se utiliza un papel filtro de 4  $\mu$  por el hecho de que los finos de CA tienen un tamaño mínimo aproximado de 5  $\mu$ .

---

## CAPITULO VII

FILTRACION A CONTRACORRIENTE EN DOS PASOS  
UNA OPCION PARA LA OPTIMIZACION DE LA CALIDAD Y  
LA REDUCCION DE COSTOS

VII. FILTRACION A CONTRACORRIENTE EN DOS PASOS, UNA OPCION PARA LA  
OPTIMIZACION DE LA CALIDAD Y LA REDUCCION DE COSTOS

En el transcurso de esta investigación nos hemos avocado a optimizar el proceso de filtración de una refinería de glucosa, con un arreglo o proceso convencional, éste en adelante lo denominaremos como "flujo natural". Realmente éste es el más utilizado en esta industria, pero existen muchos otros.

En el presente capítulo evaluaremos uno de éstos otros tantos arreglos distintos que existen, éste es conocido como "proceso de filtración a contracorriente en dos pasos".

Decidimos evaluar éste por considerar, hipotéticamente, que nos proporcionará mejores resultados en términos de calidad, con un menor costo de operación y con buenos logros en términos de flujo total acumulado.

El diagrama de flujo de éste, Figura 3, es considerablemente simple. El **licor** (sustancia a filtrar) circula en sentido natural pasando por el filtro-prensa negro A ó primer paso y seguidamente por el B ó segundo paso. En el segundo filtro (B) se usa CA virgen (nuevo) mientras que la torta obtenida de éste se utiliza en el filtro A, más una pequeña cantidad de CA virgen (**make up**). En la Figura 3 se puede apreciar gráficamente este proceso. Las diferencias de éste con el estudiado anteriormente son, como se puede apreciar, sólo en términos de utilización del CA y FA, está en cuanto dosificación y lugar de aplicación.

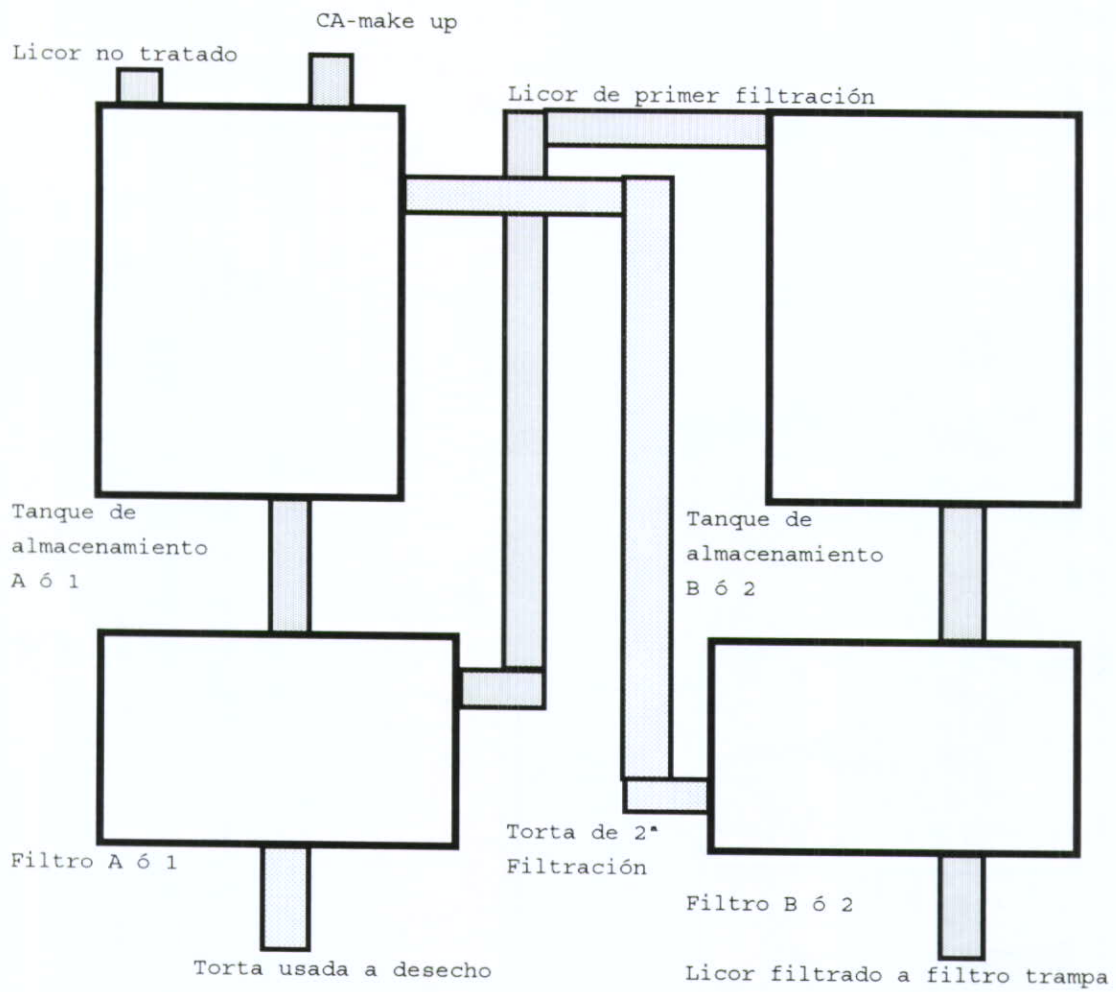


Figura 3

Diagrama de Flujo Sistema de Filtración  
a Contracorriente en Dos Pasos



En la tabla 12 y la gráfica 12-13 podemos apreciar el efecto de la aplicación de la torta del filtro B (segunda filtración) en el filtro A, con un **make up** de 1 gr/l sin la **permeabilidad** que proporciona el uso de FA.

En la tabla siguiente (13) y la gráfica mencionada anteriormente, podemos observar a su vez el efecto de la adición de 6 gr/l de CA virgen en el filtro B, con la adición de FA (1 gr/l).

De lo expuesto anteriormente concluimos que el hecho de agregar 1 gr/l de FA en la segunda filtración nos proporciona un incremento de flujo sustancial muy costeable en ambos pasos. En el primer paso 213.59 % más y en el segundo 243.90 %.

Para la determinación de la cantidad óptima de **make up** a utilizar en el filtro A ó primer paso utilizaremos el método de las isotermas diseñado por DARCO (Atlas Chemical Industries, Inc).<sup>7</sup>

Para la elaboración de las isotermas requeridas para certificar los resultados de adsorción que anteceden, se trabajó en dos fechas diferentes, en cada ocasión se llevaron a cabo las pruebas con un lote de 50 muestras, desde luego

---

<sup>7</sup> Este método fue tomado de "A SYMPOSIUM ON ACTIVATED CARBON" (Un Symposium de Carbón Activado), escrito y presidido por: Tom Rinchart, Dr. George Scheffler, Walter Helbing y Dr. Joseph Truemper, en su tercera reimpresión, Agosto de 1972. Este fue patrocinado por Atlas Chemical Industries.

partiendo en cada ocasión de una sola muestra madre.

Se trabajó exclusivamente a 70°C y con tiempos de contacto de 20, 30, 40 y 50 min.

En cuanto al procedimiento de obtención de los resultados fue el siguiente: primero, se realizaron pruebas con dosificaciones de 2, 4, 6 y gr/lit de CA de torta de segunda sin **make-up** a los distintos TC; una vez obtenidos estos resultados se procedió a graficarlos para posteriormente determinar la dosificación óptima teórica de **make-up** y la combinación más apropiada. La dosificación óptima de **make-up** se determinó mediante la confrontación de los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio y los resultados teóricos obtenidos en las gráficas de isotermas, mencionadas anteriormente, mediante la aplicación de los siguientes criterios:

- A) porcentaje mayor de remoción de color con 6 gr/l;
- B) dosificación menor de **make-up** promedio correspondiente a 7%, 5% y 2% de color remanente.

De lo anterior se desprenden los siguientes resultados:

1. gráfica 14 (TC 20 min).- se logra un 82.2% de remoción de color con 6 gr/l de CA y una dosificación promedio de **make-up** de 1.5 gr/l de CA.
2. gráfica 15 (TC 30 min).- se tiene un 82% de color retenido con 6 gr/l de CA y una dosificación promedio de **make-up** de 1.1 gr/l de CA.

3. gráfica 16 (TC 40 min).- se obtiene un 87% de remoción de color con 6 gr/l de CA y una dosificación promedio de **make-up** de 1.28 gr/l de CA.

4. gráfica 17 (TC 50 min).- se logra un 82% de remoción de color con 6 gr/l de CA y una dosificación promedio de **make-up** de 1.16 gr/l de CA.

Los resultados de las pruebas mencionadas anteriormente están plasmados en la tabla 18 y su respectiva gráfica. De éstas concluimos que la dosificación óptima de **make-up** a utilizar es de 1 gr/l, con ésta logramos una remoción de color del 75% en el primer paso y una de 90.17% en el segundo paso.

Basados en los resultados anteriores, concluimos que es muy recomendable la utilización de este sistema bajo las siguientes condiciones de operación:

---

Temperatura de operación	70 °C
Tiempo de contacto	30 min
Dosif. CA 2° paso (filtro B)	6 gr/l <b>Clarimex</b> 0.61 G
Dosif. FA 2° paso (filtro B)	1 gr/l <b>Dicalite</b> 477
Dosif. CA 1 <sup>er</sup> paso (filtro A)	Torta filtro B más 1 gr/l de CA ( <b>make up</b> )

---

Tabla 12. Análisis del efecto del CA en un sistema de flujo a contra-corriente en dos pasos, sin uso de FA

Tiempo (min)	Flujo total acum./área (ml/0.010ft <sup>2</sup> )	
	Primer paso	Segundo paso
1	160	224
2	226	324
3	282	404
6	420	584
9	536	720
12	624	844
15	712	956
18	792	1,060
21	870	1,150
** 480	5,150	6,150
Flujo total acum./área promedio (gal/hft <sup>2</sup> )	17.01	20.31
Color	0.60	0.16
Remoción de color	67.74%	91.39%
Dosif. CA (gr/l)	1.00	6.00
Dosif. FA (gr/l)	0.00	0.00
Torta 2 <sup>a</sup> filtración	si	no
CONSTANTES:	área: 0.010 ft <sup>2</sup> septum: lona de poliester temperatura: 70 °C presión: 2.0 kg/cm <sup>2</sup>	

(\*\*).- Datos obtenidos mediante extrapolación en la gráfica log-log.  
Filtros prensa negros, ciclo estandar de producción 8 horas



Tabla 13. Análisis del efecto del CA en un sistema de flujo a contra-corriente en dos pasos, con uso de FA

Tiempo (min)	Flujo total acum./área (ml/0.010ft <sup>2</sup> )	
	Primer paso	Segundo paso
1	180	220
2	290	360
3	370	470
6	600	740
9	780	970
12	930	1,190
15	1,100	1,390
18	1,210	1,574
21	1,350	1,750
** 480	11,000	15,000
Flujo total acum./área promedio (gal/hft <sup>2</sup> )	36.32	49.53
Color	0.60	0.16
Remoción de color	67.74%	91.39%
Dosif. CA (gr/l)	1.00	6.00
Dosif. FA (gr/l)	0.00	1.00
Torta 2 <sup>a</sup> filtración	si	no
CONSTANTES:	área: 0.010 ft <sup>2</sup> septum: lona de poliester temperatura: 70 °C presión: 2.0 kg/cm <sup>2</sup>	

(\*\*).- Datos obtenidos mediante extrapolación en la gráfica log-log.  
Filtros prensa negros, ciclo estandar de producción 8 horas



Gráfica 12-13. Efecto del FA sobre el flujo total acumulado/área en un sistema de flujo a contracorriente en dos pasos

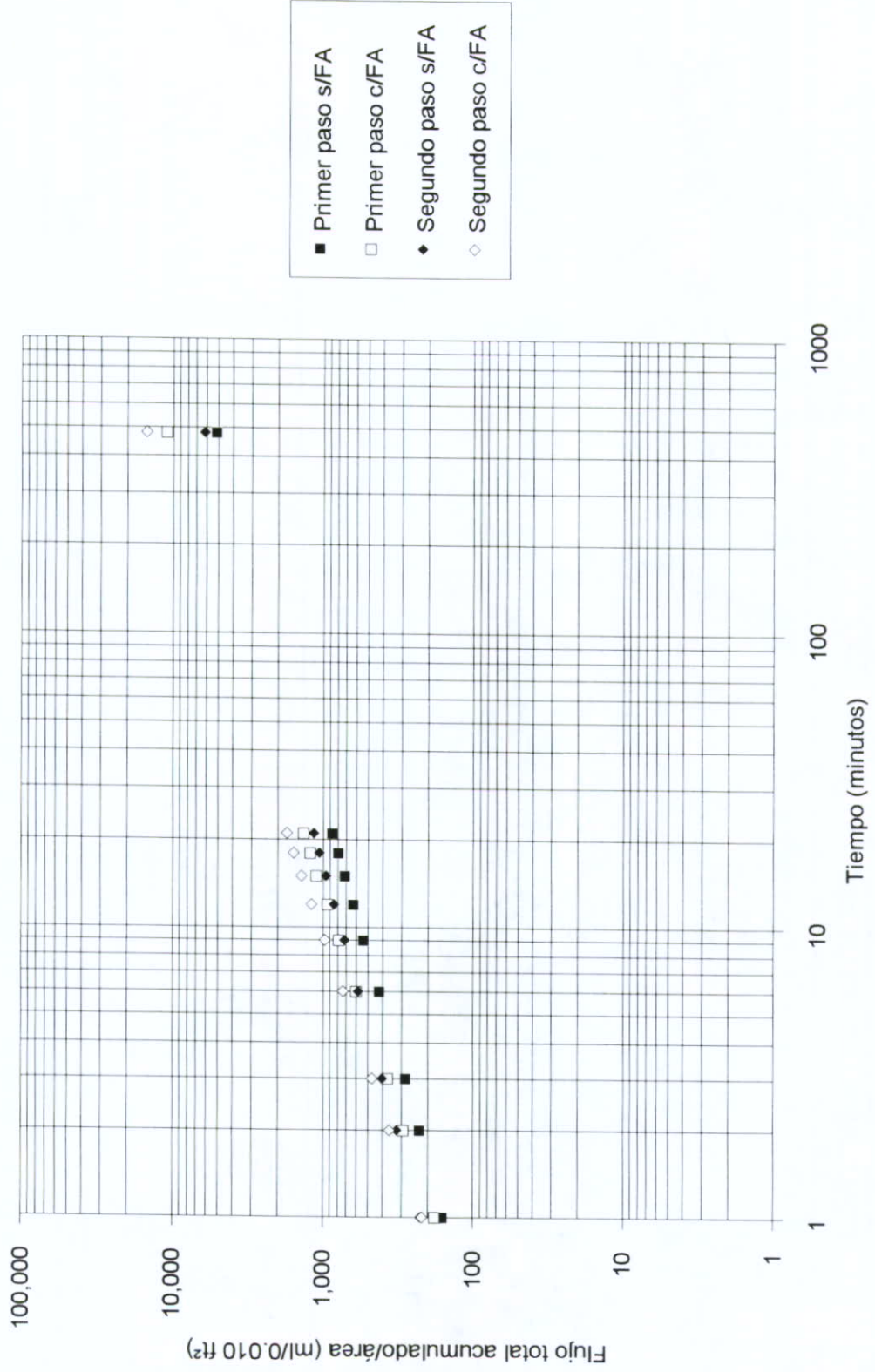


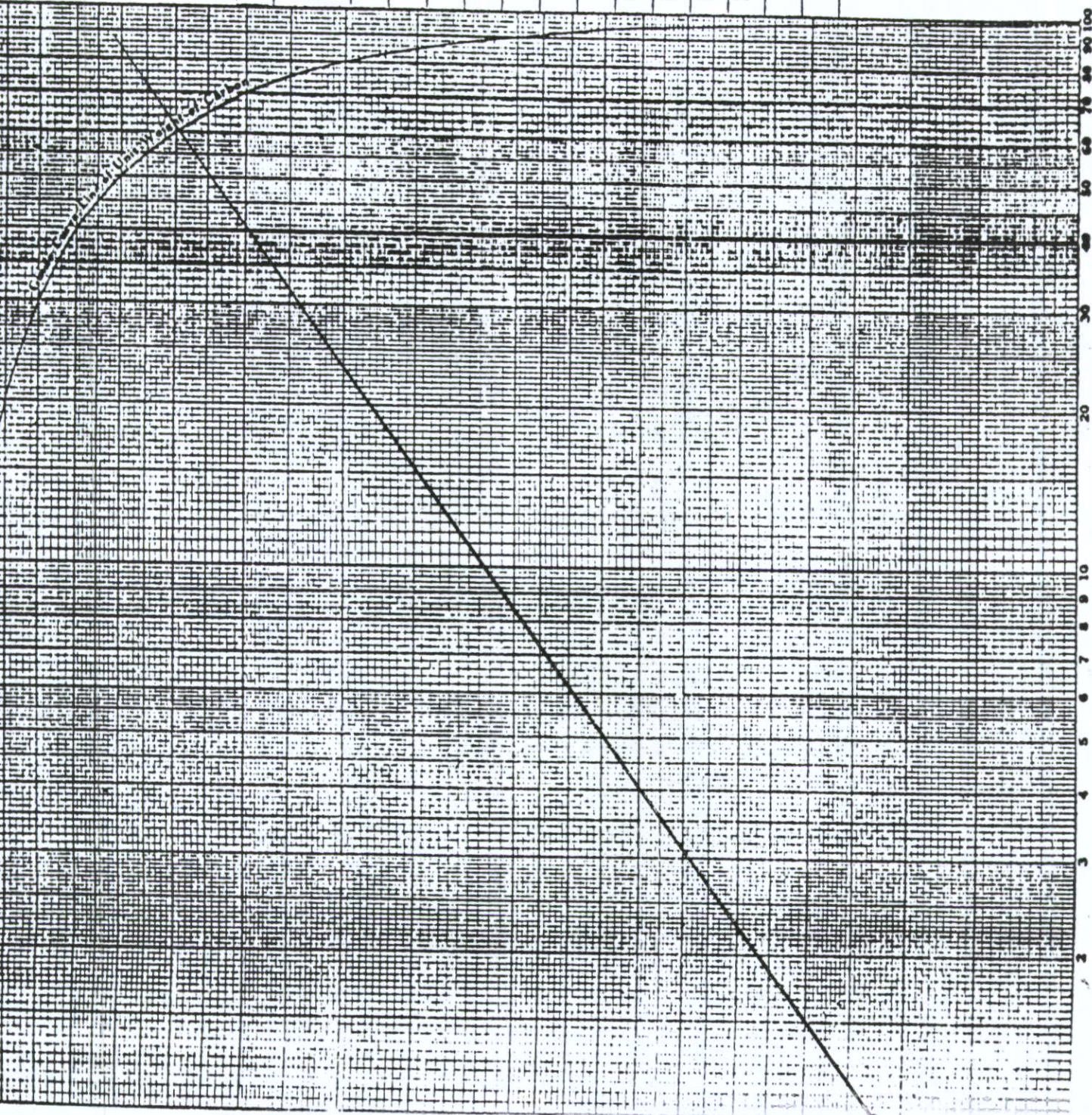


Tabla 14. Isoterma a 70°C y 20 min TC

Test Carbon			
No.	Color or Odor Remaining	"C" % of Original Color or Odor	"M" Carbon Dosage Used
1	224	100.00%	0 gr/l
2	86	38.40	2 gr/l
3	46	20.50	4 gr/l
4	40	17.80	6 gr/l
5	32	14.30	8 gr/l

Standard Carbon	
%	SLOPE ISOTHERM gr/l M-U
7	0.72
5	0.72
2	0.72
PROM. 1.5 gr/l	





70°C 30' TC

**Test Carbon**

No.	Color or Odor Remaining	"C" % of Original Color or Odor	"M" Carbon Dosage Used
1	224	100	0
2	84	38	2
3	52	23	4
4	40	18	6
5	30	13	8

**Standard Carbon**

%	SLOPE ISOTHERM	gr/l M-U
7	0.96	1.38
5	0.96	1.16
2	0.96	0.78

TABLA 15 ISOTERMA A  
70°C Y 30 MIN. T.C.

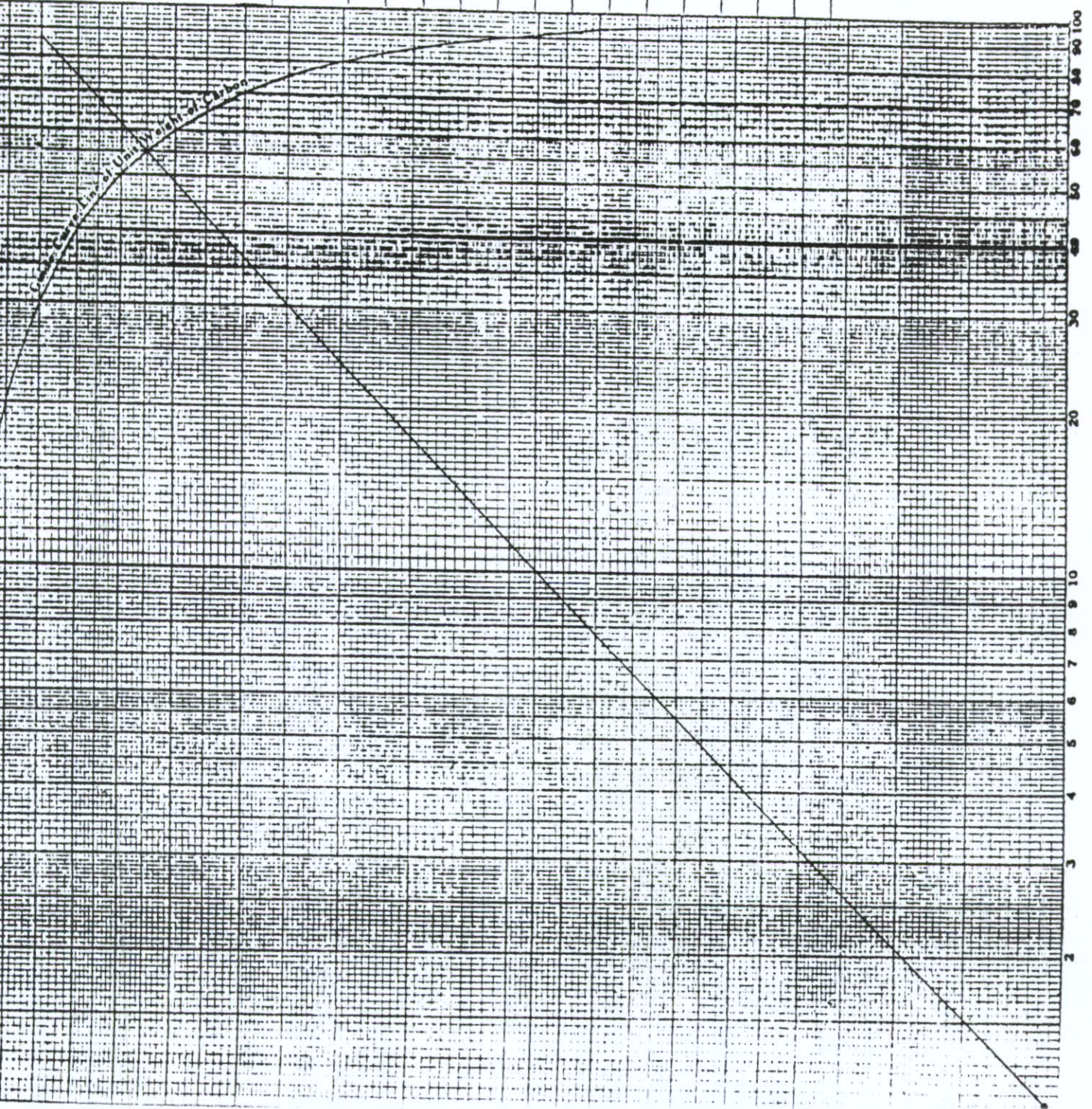




TABLA 16 ISOTERMA A  
70°C Y 40' T.C.

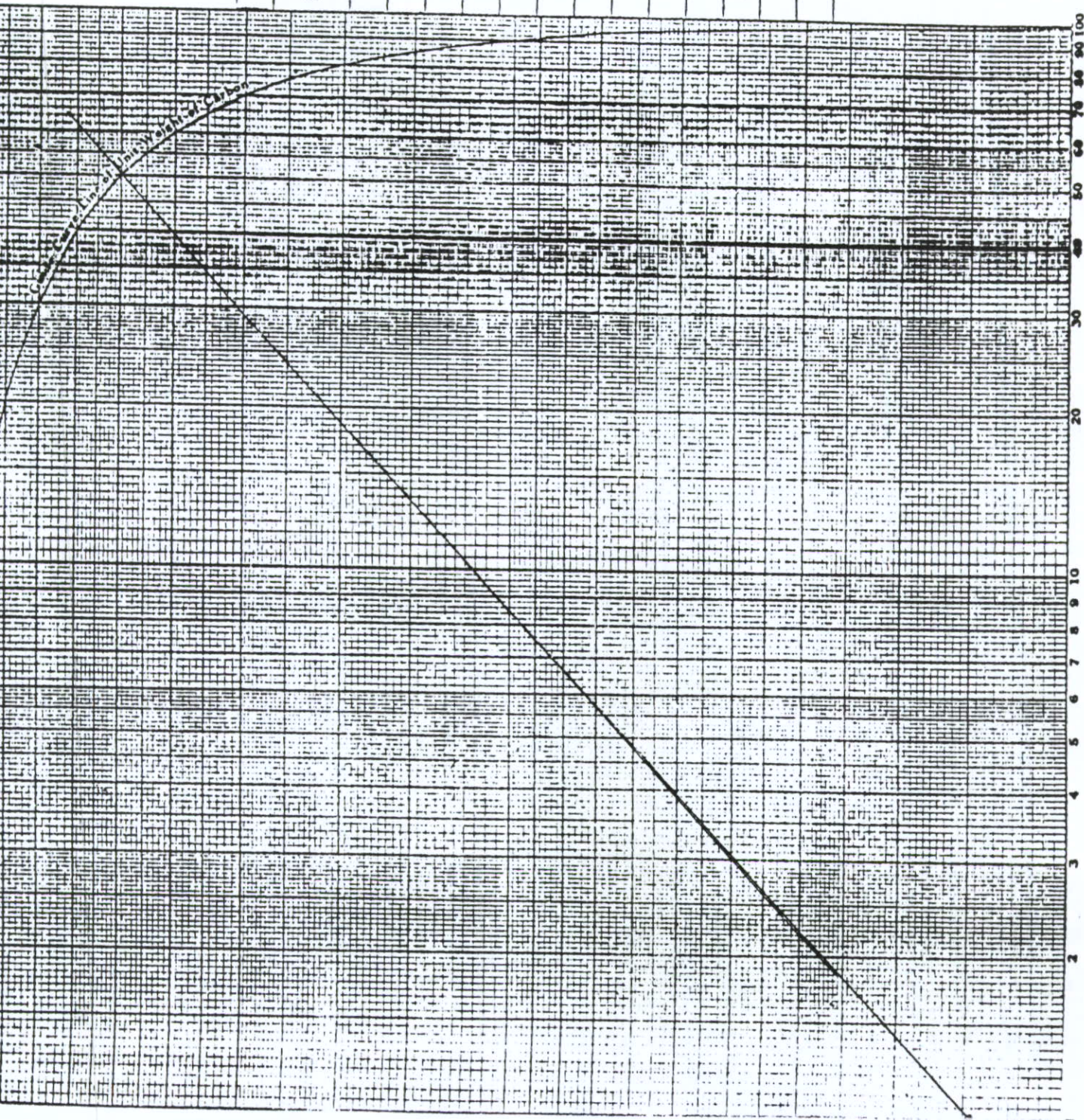
70°C 40' TC

**Test Carbon**

No.	Color or Odor Remaining	"C" % of Original Color or Odor	"M" Carbon Dosage Used
1	224	100	0
2	70	31	2
3	44	20	4
4	28	13	6
5	32	14	8

**Standard Carbon**

%	SLOPE ISOTERM	gr/l M-U
7	0.86	1.56
5	0.86	1.38
2	0.86	0.90





70°C 50' TC

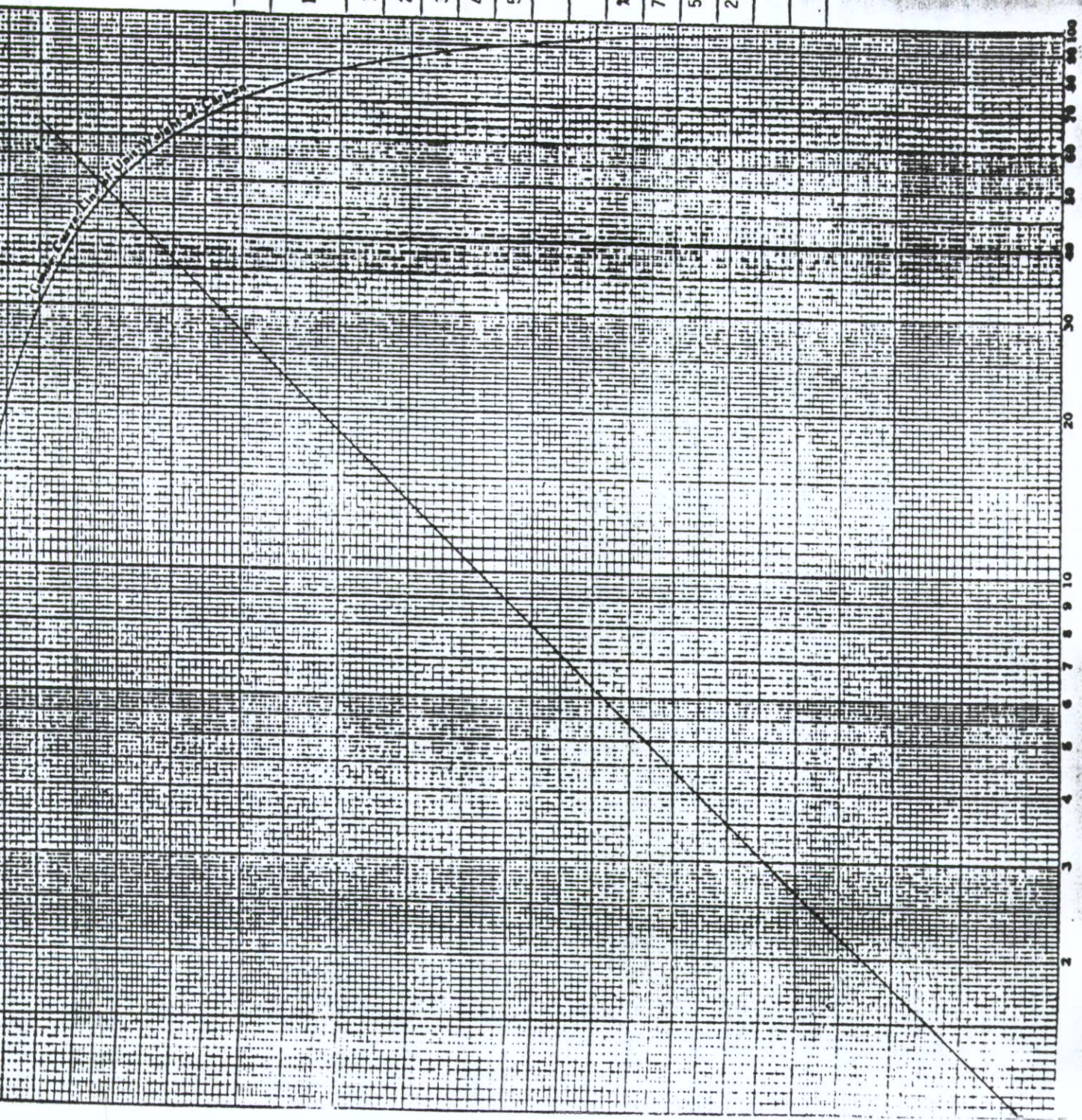
**Test Carbon**

No.	Color or Odor Remaining	"C" % of Original Color or Odor	"M" Carbon Dosage Used
1	224	100	0
2	68	30	2
3	46	21	4
4	40	18	6
5	34	15	8

**Standard Carbon**

%	SLOPE ISOTHERM gr/l M-U
7	1.0
5	1.20
2	1.0
	1.16 gr/l

TABLA 17 ISOTERMA A  
70°C Y 50 MIN. T.C.





---

---

Tabla 18. Decoloración lograda con distintas dosificaciones de make up

Dosif. make up (gr/l)	Primer paso		Segundo paso	
	Color remanente	% Remoción	Color remanente	% Remoción
0.00	0.81	64.00%	0.35	84.00%
0.50	0.67	70.00%	0.27	88.00%
1.00	0.56	75.00%	0.22	90.00%
2.00	0.69	69.00%	0.29	87.00%
3.00	0.73	67.00%	0.31	86.00%

---

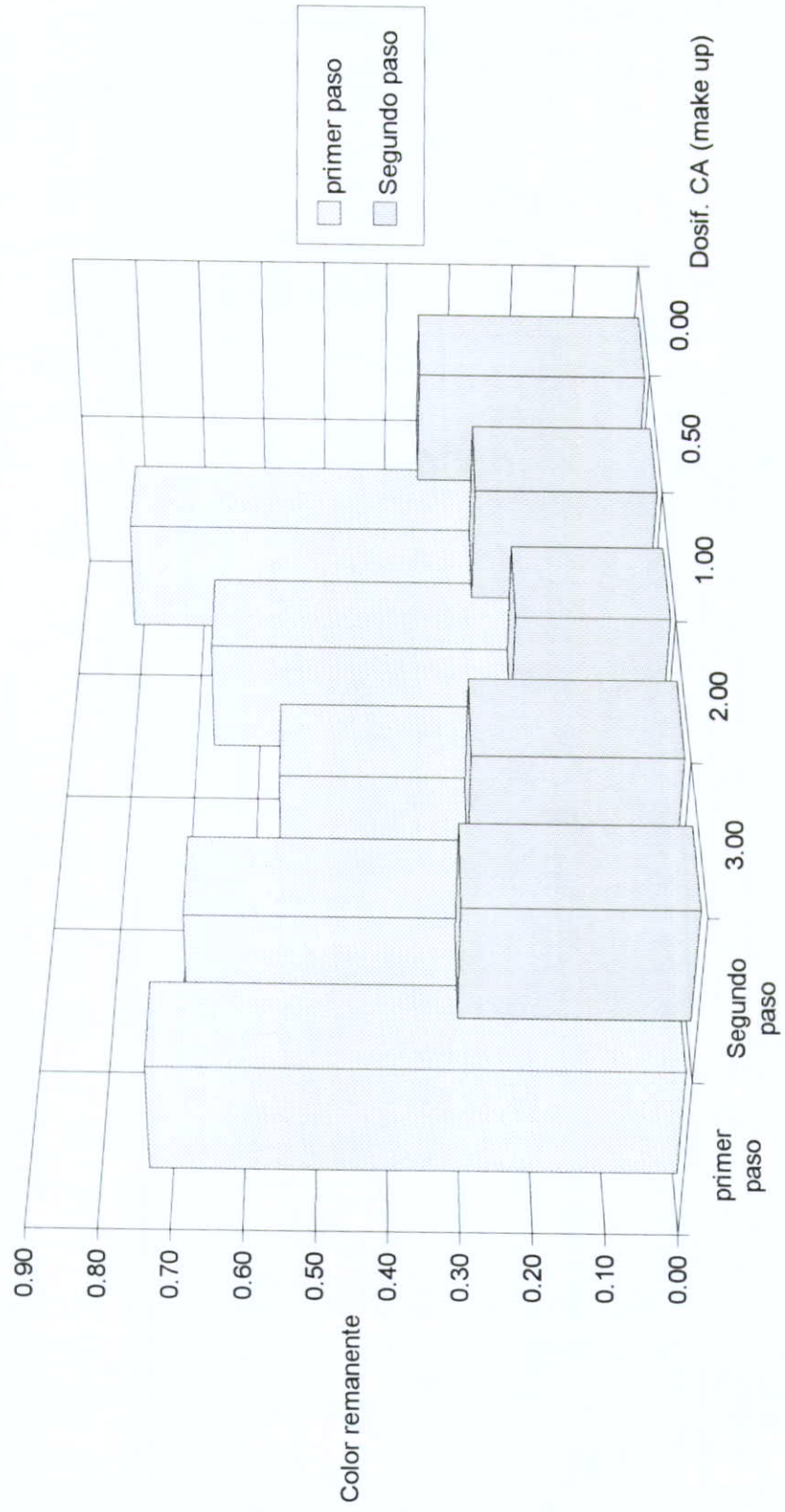
---

Condiciones: color original: 2.24  
temperatura: 70°C  
primer paso: torta de segunda filtración más make up  
segundo paso: 6 gr/l CA virgén

---

---

Gráfica 18. Colores obtenidos con distintas dosificaciones de make up, sistema de flujo a contracorriente en dos pasos





### CONCLUSIONES

Las conclusiones a las que se ha llegado en la presente investigación son las siguientes:

1. Las condiciones óptimas de operación para un proceso de filtración natural para cada una de las distintas secciones estudiadas en los capítulos III, IV, V y VI son las siguientes:

Condición	F.P. blancos	F.P. negros	F.P. trampa
Presión media	2 kg/cm <sup>2</sup>	2 kg/cm <sup>2</sup>	2 kg/cm <sup>2</sup>
Temperatura	70 °C	70 °C	70 °C
Dosif. FA	1 gr/l	1 gr/l	-----
Dosif. CA	-----	6 gr/l	-----
TC CA	-----	30-40 min	-----
Papel filtro	12 μ	12 μ	4 μ
Lona filtrante	Poliéster	Poliéster	Poliéster

Ahora bien, los resultados obtenidos en términos de calidad (color) están representados en la gráfica 19, en ésta podemos apreciar claramente que nos queda un 13% de color remanente. El flujo logrado a lo largo del proceso es de 18.82 gal/hft<sup>2</sup>, tabla 7 (sección de filtro trampa).

2. Las condiciones óptimas de operación para un sistema de



filtración a contracorriente, determinadas en el capítulo VII, son las que se señalan a continuación:

Condición	F.P. negro I	F.P. negro II
	primer paso	segundo paso
	1ª fil.	2ª fil.
Presión media	2 kg/cm <sup>2</sup>	2 kg/cm <sup>2</sup>
Temperatura	70 °C	70 °C
Dosif. FA	-----	1 gr/l
Dosif. CA	1 gr/l make-up + torta 2ª fil.	6 gr/l
TC CA	30-40 min	30-40 min
Papel filtro	12 μ	12 μ
Lona filtrante	Poliéster	Poliéster

Ahora bien, los resultados obtenidos en términos de calidad (color) se presentan en la gráfica 20, en la cual podemos observar que nos queda solo un 8% de color remanente. El flujo logrado a lo largo del proceso es de 18.82 gal/hft<sup>2</sup> como señalamos en el punto anterior. Cabe señalar que realmente el flujo correspondiente a la sección de filtros prensa negros de este proceso es superior al obtenido con el proceso de filtración natural, pero dado que estamos evaluando la salida de producto terminado la batuta la da el filtro check.

3. En base a lo anterior concluimos que es muy recomendable el adoptar el sistema de flujo a contracorriente en dos pasos por los siguientes motivos:

a) Brinda un 38.46% más de remoción de color, ésto es un producto con mejor calidad.

b) Aumenta el flujo de la sección de filtros prensa negros.

c) Se reaprovecha el CA desechado en la segunda filtración o segundo paso.

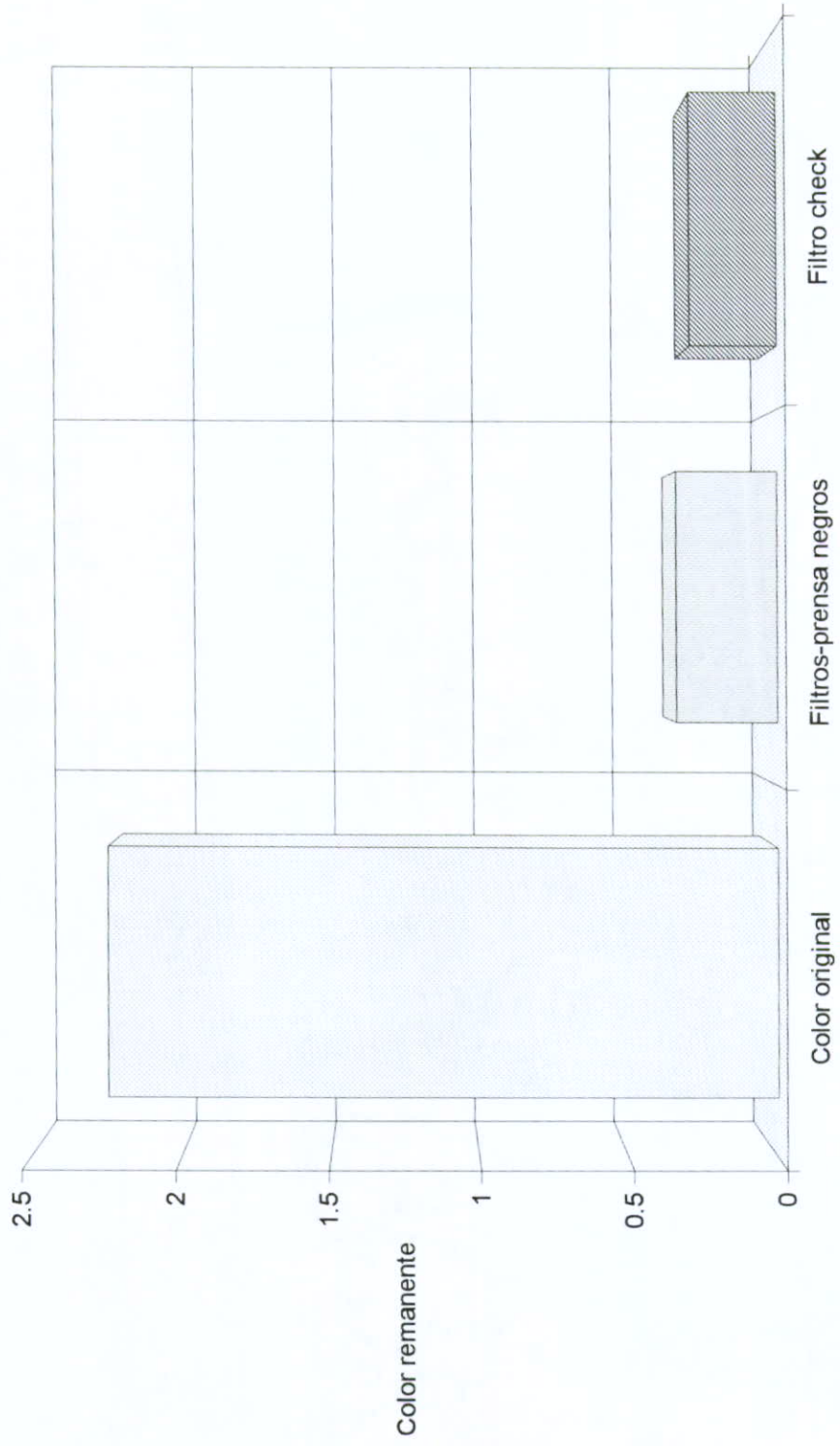
4. Por otro lado, el sistema de Filtración a contracorriente en dos pasos tiene una desventaja contra el de filtración natural.

a) Se aumenta el consumo de CA en 1 gr/l, ésto es un 16.67%, lo que representa un incremento en los costos de operación no muy cuantioso, pero al fin y al cabo un incremento. Este incremento se debe al hecho de que en el sistema a contracorriente se utilizan 6 gr/l de CA en el filtro B o segundo paso y 1 gr/l más de **make-up** en el primer paso o filtro A, mientras que en el proceso de filtración natural solamente se utilizan 6 gr/l de CA en ambos filtros.

Sería interesante evaluar ambos procesos en planta para conocer el efecto de los mismos sobre los tiempos muertos por limpieza, posiblemente el sistema a contracorriente nos brinde ciclos estandar de producción mayores que el natural, lo que podría compensar, posiblemente, el gramo extra de CA por litro de licor.

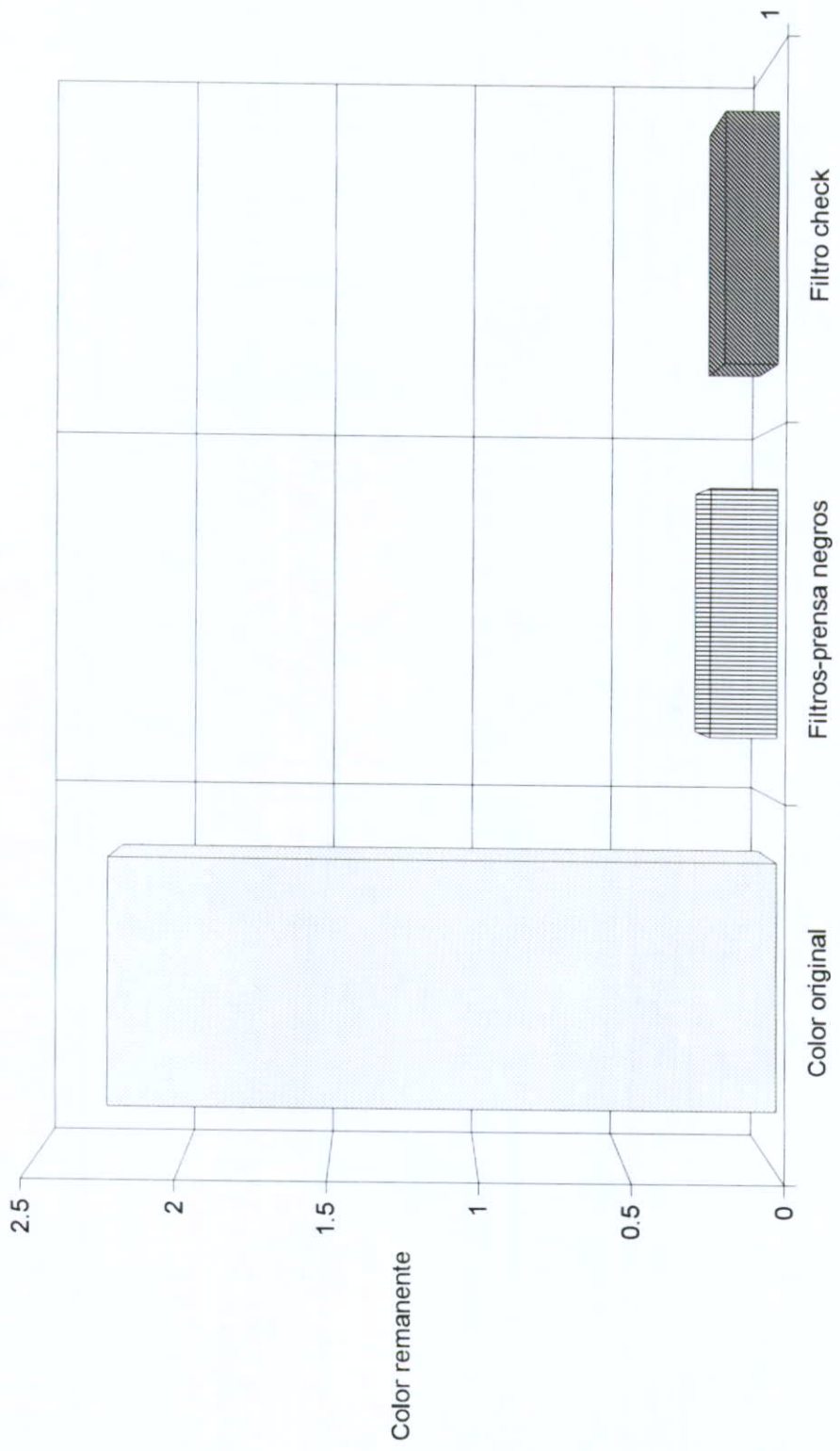
5. En ninguna parte de la presente investigación se han mencionado datos acerca de la situación real que operaba en la planta estudiada, esto por cuestiones de ética, sin embargo me permitiré indicar que en el tiempo en que se llevo a cabo este estudio, el consumo de CA promedio que se tenía era de 9 gr/l de licor filtrado (según estadísticas) y se contaba con un proceso de Filtración Natural; dado esto podemos hablar de haber logrado, en el presente trabajo, asentar las bases para una reducción del 33.33% en el consumo de CA (la planta consume 20 toneladas mensuales aprox., siendo el costo del kilo de CA N\$8.33 aprox. tenemos un ahorro teórico de N\$166,666.67 mensuales) que representa una disminución considerable en los costos de operación.

Gráfica 19. Remoción de color a lo largo del proceso de filtración natural (común)





Gráfica 20. Remoción de color a lo largo del sistema de flujo a contracorriente en dos pasos





## Indice de abreviaturas

CA.- Carbón Activado

FA.- Filtroayuda

PF.- Papel filtro

T.- Temperatura

TC.- Tiempo de contacto

## Indice de Tablas

+ Tabla 1.- Propiedades Típicas de los Carbones Activados en Polvo Clarimex.....	32
+ Tabla 2.- Propiedades Típicas de los Carbones Granulares Clarimex.....	33
+ Tabla 3.- Efecto del FA sobre el Flujo Total Acumulado por Area, Flujo Natural.....	49
+ Tabla 4.- Efecto del CA sobre el Flujo Total Acumulado por Area, Flujo Natural.....	51
+ Tabla 5.- Efecto de la T sobre el Flujo Total Acumulado por Area, Flujo Natural.....	53
+ Tabla 6.- Efecto del Papel Filtro sobre el Flujo Total Acumulado por Area.....	55
+ Tabla 7.- Efecto de las Lonas Filtrantes sobre el Flujo Total Acumulado por Area.....	57
+ Tabla 8.- Efecto del CA y su TC sobre la Calidad @ 60°C Flujo Natural.....	62
+ Tabla 9.- Efecto del CA y su TC sobre la Calidad @ 70°C Flujo Natural.....	64
+ Tabla 10.- Efecto del CA y su TC sobre la Calidad @ 80°C Flujo Natural.....	66
+ Tabla 11.- Efecto del Papel Filtro y las Lonas Filtrantes sobre la Calidad.....	68



## Indice de Tablas

+ Tabla 12.- Efecto del CA en un Sistema de Filtración a Contracorriente de dos pasos, sin uso de FA, sobre el Flujo Total Acumulado por Area.....	84
+ Tabla 13.- Efecto del CA en un Sistema de Filtración a Contracorriente de dos pasos, con uso de FA, sobre el Flujo Total Acumulado por Area.....	85
+ Tabla 14.- Isoterma a 70°C y 20 min TC.....	87
+ Tabla 15.- Isoterma a 70°C y 30 min TC.....	88
+ Tabla 16.- Isoterma a 70°C y 40 min TC.....	89
+ Tabla 17.- Isoterma a 70°C y 50 min TC.....	90
+ Tabla 18.- Decoloración Lograda con Distintas Dosificaciones de <b>make-up</b> .....	91

## Indice de Gráficas

+ Gráfica 1.- Remoción de Partículas en FA Marca Dicalite.	23
+ Gráfica 3.- Efecto del FA sobre el Flujo Total Acumulado por Area, Flujo Natural.....	50
+ Gráfica 4.- Efecto del CA sobre el Flujo Total Acumulado por Area, Flujo Natural.....	52
+ Gráfica 5.- Efecto de la T sobre el Flujo Total Acumulado por Area, Flujo Natural.....	54
+ Gráfica 6.- Efecto del Papel Filtro sobre el Flujo Total Acumulado por Area.....	56
+ Gráfica 7.- Efecto de las Lonas Filtrantes sobre el Flujo Total Acumulado por Area.....	58
+ Gráfica 8.- Efecto del CA y su TC sobre la Calidad @ 60°C Flujo Natural.....	63
+ Gráfica 9.- Efecto del CA y su TC sobre la Calidad @ 70°C Flujo Natural.....	65
+ Gráfica 10.- Efecto del CA y su TC sobre la Calidad @ 80°C Flujo Natural.....	67
+ Gráfica 11.- Efecto del Papel Filtro y las Lonas Filtrantes sobre la Calidad.....	69
+ Gráfica 12-23.- Efecto del FA sobre el Flujo Total Acumulado por Area en un Sistema de Filtración a Contracorriente en dos pasos.....	86
+ Gráfica 18.- Decoloración Lograda con Distintas Dosificaciones de <b>make-up</b> .....	92

## BIBLIOGRAFIA

- \* Operaciones Básicas de la Ingeniería Química  
George Granger Brown  
Editorial Marin, S.A.
  
- \* Manual del Ingeniero Químico  
John H. Perry  
UTEHA  
1974 México páginas 1503-1548
  
- \* Chemical Engineering Series  
Mc Cabe and Smith  
Mc Graw Hill  
1976 U.S.A. páginas 923-952
  
- \* Introducción a la Ingeniería Química  
Badger y Banchemo  
Editorial Mc Graw Hill  
1977 México capítulo 12
  
- \* Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias  
Christie J. Geankoplis  
Editorial CECSA  
1982 México capítulo 11

## BIBLIOGRAFIA

- \* Enciclopedia Monitor  
Salvat Editores de México  
Varios tomos
  
- \* Diccionario Salvat  
Salvat Editores de México  
Varios tomos
  
- \* Folleto técnico de Dicalite de México
  
- \* Folleto técnico de Clarimex de México
  
- \* A Symposium on Activated Carbon  
Tom Rinchart, Dr. George Scheffler, Walter Helbing y Dr.  
Joseph Truemper.  
Atlas Chemical Industries



## GLOSARIO

\* Coloidal(es): cuerpo que no cristaliza o que cristaliza con gran dificultad y que estando en disolución se difunde con extraordinaria lentitud.

\* Compresibilidad: propiedad de los cuerpos que les permite disminuir mucho y fácilmente su volumen por la acción de la presión.

\* Diatomita: sedimento silíceo pulvurento y blanquecino, formado por acumulación de frústulas de diatomeas.

\* Granulometría: método analítico para determinar el grado de finura de las partículas de los sólidos granulares o pulvurentos.

\* Licor: en lenguaje coloquial es toda sustancia objeto de un proceso de filtración.

\* Make-up: término técnico utilizado para designar el CA de refresco agregado en la primera etapa de un Sistema de Filtración a Contracorriente. Este tiene como objetivo el revitalizar la capacidad de adsorción.

## GLOSARIO

- \* Material inerte: aquel que no ejerce acción ni efecto alguno sobre su ambiente.
- \* Percolación: movimiento lento de las aguas a través de un material granuloso ya saturado.
- \* Perlita: roca plutónica de estructura vítrea, de composición ácida; numerosas concreciones en pequeñas esferillas formadas de capas concéntricas.
- \* Permeabilidad: propiedad de dejar pasar el agua u otros líquidos a través de la masa.
- \* pH: valor del radical Hidrógeno en una solución.
- \* Precipitación: operación química que determina la separación, relativamente rápida, de un cuerpo en fase sólida, del líquido en que se halla disuelto, depositándose en forma de polvo amorfo o cristalino.
- \* Precipitado: cuerpo separado en una operación de precipitación.

## GLOSARIO

\* Sargas: tela de ligamiento simple, cuyo tejido forma unas líneas diagonales constituidas por puntos de ligadura que se juntan por ángulo, escalonándose sin interrupción.

\* Trama: conjunto de hilos que con la urdimbre forman la tela.

\* Urdimbres: conjunto de hilos que se colocan en el telar paralelamente unos a otros para formar una tela.

## Indice de Gráficas

- + Gráfica 19.- Remoción de Color a lo Largo del Proceso de Filtración Natural (común).....98
- + Gráfica 20.- Remoción de Color a lo Largo del Sistema de Flujo a Contracorriente en Dos Pasos.....99



