

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE QUIMICA

FILTRACION CONTINUA AL VACIO DE RESIDUOS  
DE LA DESTILACION DEL LIMON

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO  
P R E S E N T A

FELIPE TELLEZ RODRIGUEZ

MEXICO, D. F.

1961



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

PRESIDENTE Ing. Luis Soto Villa

V O C A L Ing. Angel De Lope Calero

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE  
SEGUN EL TEMA. SECRETARIO Ing. Cutberto Ramirez

1er. SUPLENTE Ing. Enrique Alarcon Robles

2do. SUPLENTE Ing. German Gleason Alvide

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA: MEXICO, D. F.

NOMBRE COMPLETO Y FIRMA DEL SUSTENTANTE: FELIPE TELLES RODRIGUEZ

NOMBRE COMPLETO Y FIRMA DEL ASESOR DEL TEMA: ING. CUTBERTO RAMIREZ

A MIS PADRES CON TODO MI CARIÑO.

A MIS QUERIDOS HERMANOS.

A MIS MAESTROS.

## C A P I T U L O .

- I INTRODUCCION.
- II GENERALIDADES.
- III TEORIA DE LA FILTRACION.
- IV LA EXPERIMENTACION COMO BASE DE DISEÑO.
- V EL FILTRO CONTINUO DE PRECAPA.
- VI RECOPIACION DE DATOS EXPERIMENTALES.
- VII ESTUDIO ECONOMICO.
- VIII CONCLUSIONES.
- IX BIBLIOGRAFIA.

## INTRODUCCION

De los procesos actuales para la fabricación de ácido cítrico, uno de los más importantes en el país es indudablemente el que parte del jugo del limón. Es to es debido básicamente a la capacidad de producción en ciertas zonas de la República Mexicana. Este hecho ha proporcionado un tema para desarrollar el presente trabajo, mediante el cual trato de demostrar que el uso de la filtración continua al vacío en el proceso antes mencionado de obtención de ácido cítrico, es de primordial importancia tanto para mejorar la calidad del producto terminado, como para reducir económicamente el proceso de fabricación.

En términos generales el proceso de obtención del ácido cítrico a partir del jugo de limón es como sigue: el ácido cítrico es precipitado como citrato de calcio, al hacer reaccionar el jugo de limón con hidróxido de calcio, se lava el precipitado y se trata con ácido sulfúrico para obtener el ácido cítrico en solución, junto con sulfato de calcio en suspensión, esta mezcla se filtra, y para una mayor recuperación de ácido cítrico se hace indispensable someter a un lavado el sulfato de calcio. Posteriormente la solución filtrada se somete a evaporación para permitir la cristalización del ácido cítrico; o bien previa clarificación con carbón activado se puede secar por pulverización.

Es fácil comprender que después de someter por un largo período al producto usado para la obtención del aceite esencial de limón a temperatura relativamente elevada y siendo este producto simplemente el limón semi-molido se desprenderán productos gomosos y mucilaginosos, lo cual dará al producto un aspecto de naturaleza viscosa dando por resultado un material de aspecto obscuro y de difícil manejo en cualquier sistema de filtración que se aplique principalmente el sistema de filtración a presión. Por el hecho de estar presentes en el material a filtrar partículas mucilaginosas se provoca un efecto de bloqueo casi inmediato en los medios filtrantes de los filtros prensa, ocasionándose un bajo rendimiento en los mismos además de reducidos ciclos de operación. Añádase

a esto que las impurezas normalmente presentes en los limones al ser cosechados ocasionan un sedimento que es necesario eliminar antes de la filtración del producto que sirve como materia prima en la elaboración de ácido cítrico, esta eliminación es efectuada a base de sedimentación natural al ser descargadas las torres destiladoras.

Uno de los principales productos de las plantas beneficiadoras de jugo de limón es el aceite esencial y en la mayoría de ellas el principal sistema de extracción usado es la destilación; lo que dá por resultado que se disponga de suficiente material y el cual es aproximadamente rico en un 5% en ácido cítrico. Adicionalmente la eliminación de estos desechos representa un fuerte problema; lo mencionado anteriormente da una idea del por que es importante el máximo aprovechamiento de estos residuos.

En los procesos existentes actualmente estos desechos son decantados en forma natural dos o más ocasiones lo que provoca una pérdida notable de solución que puede ser aprovechada, esto es debido a que no es posible obtener lodos en cada decantación con más de 30 o 40% de sólidos. Se estima que se pierde de un 20 a 30% de la solución de desecho de las plantas destiladoras, dicho producto puede ser aprovechado si se utiliza el equipo apropiado. Después de decantado este material es filtrado en filtros prensa y la naturaleza del mismo ocasiona que el medio filtrante se obstruya casi instantaneamente obteniéndose eficiencias de filtración muy bajas con tiempos muy largos de operación con las inherentes pérdidas económicas debido a la operación del equipo en forma deficiente y las pérdidas de material que se provoca.

El presente trabajo trata de demostrar que el uso de la filtración continua al vacío en esta etapa del proceso es de consideración para obtener además de un producto que mejora las siguientes operaciones en el proceso, un aprovechamiento casi completo del material de desecho de las plantas destiladoras y por ende una reducción en los costos totales de producción.

## GENERALIDADES.

## FILTRACION.

La filtración puede ser definida como la separación de partículas de un líquido o fluido por el paso de este al través de un medio filtrante, en el cual los sólidos se depositan. Las necesidades industriales de filtración varían entre simple separaciones hasta separaciones complejas. Puede considerarse que el fluido puede ser líquido o gaseoso; el material sólido podrá ser granuloso o fino, rígido o plástico, redondo o alargado, separado individualmente o agregado. La mezcla de partículas y fluido puede presentar una concentración elevada o muy baja, puede también presentar temperaturas muy diferentes y la operación de filtración puede efectuarse a presión o a vacío. Al considerar el producto valuable, puede aumentar la complejidad del problema de la filtración, existen casos en que el fluido sea el que tiene valor, en otros los sólidos y algunos casos - ambos. Existen problemas en los cuales la separación de las fases deben ser virtualmente completa y algunos en que solo se desea separación parcial. Lo anterior ha dado por resultado que se desarrollen un sin número de tipos de equipos de filtración de los cuales discutiremos los más comunes.

## EQUIPOS PARA FILTRACION DE SOLIDOS - LIQUIDOS.

Puede hacerse una división muy general en cuatro grupos de acuerdo con el servicio que puede prestar un equipo de filtración: Cribas, Clarificadores, Filtros de Torta y Filtro - espesadores.

Una criba es usualmente tan solo una malla de metal colocada en la sección transversal de un canal para eliminar o retener herumbe o polvo de un líquido corriente, esta criba puede ser substituída por una limpia cuando llega a taparse. El clarificador también elimina pequeñas cantidades de sólidos pero se obtiene una solución más limpia generalmente los sólidos son eliminados y no tienen ningún valor. El medio filtrante de un clarificador es tela, papel o un cartucho con discos metálicos.



Los filtros de torta son equipos que separan grandes cantidades de sólidos de un líquido. En estos equipos los sólidos pueden ser lavados y en la mayoría de los casos se pretende eliminar la mayor cantidad de líquido residual posible de los sólidos antes de la descarga de éstos.

En un filtro-espesador se obtiene una separación parcial de una mezcla ligera de sólidos y líquidos, descargando alguna cantidad de líquido claro y a su vez un líquido espesado que contiene mayor cantidad de sólidos.

Si consideramos que un líquido fluye al través de un medio filtrante debido a una diferencia de presiones al través del medio. Esto nos permite formar otra clasificación basándonos en aquellos equipos que operan con una presión arriba de la atmosférica sobre el lado del medio filtrante en que fluye el líquido y aquellos que operan con presión atmosférica en el lado mencionado del medio filtrante y vacío en el lado opuesto.

La presión mayor de la atmosférica puede ser obtenida por la fuerza de la gravedad actuando sobre una columna de líquidos, por medio de una bomba o por fuerza centrífuga. En un filtro que opera por medio de la gravedad el medio filtrante no debe ser más fino de un tamiz de malla ancha o una cama de arena de partículas gruesas. Lo que ocasiona que el uso de estos filtros estén restringidos en las aplicaciones industriales.

La mayor parte de los filtros industriales son de presión o de vacío siendo a su vez continuos o discontinuos dependiendo de las necesidades de descargar los sólidos filtrados continuamente o intermitentemente. Durante la mayor parte del ciclo de operación de un filtro discontinuo el flujo de líquido es continuo pero debe ser interrumpido periódicamente para permitir la descarga de los sólidos acumulados. En un filtro continuo la descarga de los sólidos y líquidos es interrumpido en todo el período en el cual el filtro está en operación.

A continuación se da una tabla de los filtros típicos que tienen mayor aplicación en la industria.

## Método de Operación

## Filtros de Presión

Discontinuos

Continuos

## Filtros de vacío

Discontinuos

Continuos

## Tipo de Filtro.

marco y placas

hojas

cartucho

Rotatorios de tambor

filtro - espesador

de precapa

de banda

de arena

hojas

filtro - espesador

rotatorios de tambor

de banda

de discos

de alimentación superior

de precapa

de bateas

## TEORIA DE LA FILTRACION

Es interesante el estudio de la teoría de la filtración tanto como para la mejor comprensión de problemas, así como para la interpretación correcta de los datos que se obtienen en cualquier experimentación y que sirven como base para el diseño del equipo de filtración apropiado a cada material; adicionalmente el criterio técnico adquirido se puede aplicar en el caso de cualquier variación que presente un problema dado.

La filtración ha sido definida como la operación que consiste en separar los sólidos de una suspensión haciéndolos pasar por un medio poroso, el cual los retiene, este medio poroso se supone atravesado por pequeños tubos capilares en los cuales el flujo del líquido al atravesarlos podrá ser de tipo laminar o turbulento y puede considerarse que sigue la "Ley de Poiseuille", según:

$$\Delta p_1 = \frac{32 \mu UL}{g D^2} \dots\dots\dots (1)$$

en donde:

- P<sub>1</sub> Pérdida de presión
- $\mu$  Viscosidad
- U Velocidad lineal del líquido en los capilares
- L Longitud de los capilares e igual al espesor del medio filtrante.
- g Aceleración de la gravedad
- D Diámetro de los capilares.

Adicionalmente:

$$U = \frac{dV_c}{d\theta} = \frac{1}{\pi D^2/4} \frac{dV_c}{d\theta} \quad \text{----- (2)}$$

Corresponde a la velocidad de flujo en un conducto.

Substituyendo (2) en (1)

$$\frac{dV_c}{d\theta} = \frac{P_1 g D^4 \pi}{128 \mu L} \quad \text{----- (3)}$$

Considerando  $K$  capilares por unidad de área y  $A$  área del medio filtrante:

$$KA \frac{dV_c}{d\theta} = \frac{dV}{d\theta} = KA \frac{P_1 g D^4 \pi}{128 \mu L} \quad \text{.. (4)} \quad \frac{dV}{Ad\theta} = \frac{K_g D^4 \pi}{128} \frac{\Delta P_1}{\mu L} \quad \text{-- (4.a)}$$

En esta ecuación se puede considerar que  $P$  representa el potencial para hacer fluir el líquido y el miembro  $\frac{K_g D^4 \pi}{128}$  la conductancia, siendo la inversa la resistencia  $r$  de donde se puede expresar:

$$\frac{dV}{Ad\theta} = \frac{P_1}{r \mu L} \quad \text{----- (5)}$$

De hecho  $\mu$  y  $L$  intervienen en la resistencia pero es importante expresarlas aparte. Por analogía con (5) el flujo en el medio filtrante se considera proporcional a la caída de presión correspondiente e inversa a la resistencia específica  $\rho$ , así se tiene:

$$\frac{dV}{Ad\theta} = \frac{\Delta P_2}{\mu \rho} \quad \text{----- (6)}$$

Despejando  $\Delta P$  de (5) y (6)

$$\Delta P_1 = \mu r L \frac{dv}{A d\theta} \text{ ----- (5a)}$$

$$\Delta P_2 = \rho \frac{dv}{A d\theta} L \text{ ----- (6a)}$$

La suma de las caídas de presión en la torta y en el medio filtrante es igual a la caída total de presión por consiguiente sumando (5a) y (6a) obtenemos:

$$\Delta P_1 + \Delta P_2 = \Delta P = \frac{dv}{A d\theta} (r \mu L + \rho L) \text{ ----- (7)}$$

Si  $v$  es igual a volumen de sólidos depositados por unidad de volumen y el volumen total de la torta es igual a  $LA$  se tiene:

$$LA = vV \text{ ----- (8)}$$

De donde:

$$L = v \frac{V}{A} \text{ ----- (8a)}$$

Sustituyendo en (7)

$$P = \left( r v \frac{V}{A} + \rho \right) \frac{dv}{A d\theta} \text{ (9)}$$

En la práctica  $\Delta P$  representa una diferencia de presiones que en la mayoría de los casos es la que existe entre la aplicada al fluido y la atmosférica o sea el equivalente a la presión manométrica  $P$  por lo que (9) puede escribirse:

$$P = \mu \left( r v \frac{v}{A} + \rho \right) \frac{dv}{A d\theta} \dots \dots \dots (9a).$$

Integrando al flujo constante obtenemos:

$$\int dv = \frac{\frac{PA}{v}}{\mu \left( r v \frac{v}{A} + \rho \right)} \int d\theta$$

Equivalente a:

$$v = \frac{PA}{\mu \left( r v \frac{v}{A} + \rho \right)} \theta \dots \dots \dots (10)$$

$$\frac{\theta}{\frac{v}{A}} = \frac{r v \mu}{P} \frac{v}{A} \frac{\mu \rho}{P} \dots \dots \dots (10a).$$

Integrando (9a) a presión constante:

$$P \int d\theta = \mu r v \frac{v}{A} \frac{dv}{A} + \mu \rho \frac{dv}{A}$$

De donde:

$$P\theta = \frac{2P}{rv} \left( \frac{v}{A} \right)^2 + \mu \rho \frac{v}{A} \dots \dots \dots (11)$$

O sea:

$$\frac{\theta}{v} = \frac{\mu r v}{2P} \frac{v}{A} + \frac{\mu \rho}{P} \dots \dots \dots (11a)$$

Se considera que  $r$  es resistencia constante para todas las tortas cuyo espesor crece proporcionalmente a toda la cantidad de sólidos depositados por unidad de área filtrante, estas tortas se llaman incompresibles. Sin embargo este tipo de tortas en realidad no existen, la mayoría de ellas tienen una estructura más compacta cuanto más cerca del medio filtrante está la porción considerada; esto es debido a que al obstruirse los capilares las partículas más alejadas del lado del medio filtrante, soportan una presión de valor cercano a la presión ejercida sobre el fluido. Este efecto se corrige suponiendo que  $r$  es función de  $P$  lo cual nos da la ecuación:

$$r = \alpha P^s \text{ ----- (12)}$$

En donde  $\alpha$  es una constante y depende del tamaño de las partículas que forman la torta,  $s$  es coeficiente de compresibilidad y el cual puede tener un valor teórico desde 0 para tortas no compresibles hasta 1 para las compresibles. En realidad  $s$  tiene valores que varían de 0.1 a 0.85.

La ecuación (12) es aplicable en la mayoría de los cálculos de ingeniería y principalmente se considera presiones moderadas.

La resistencia del medio filtrante puede ser expresada por la siguiente ecuación:

$$R = R' m$$

$R'$  Depende del mismo medio filtrante.

$m$  Coeficiente de obstrucción.

En la gran mayoría de los casos la resistencia de la torta es tan grande que se desprecia el segundo término de la ecuación (11a).

Quedando:

$$\frac{Q}{V} = \frac{\mu r v}{2P} + \frac{V}{A} \text{ ..... (13)}$$

Al observar la ecuación (11a) puede ser determinado que corresponde a una ecuación de segundo grado en  $\frac{V}{A}$

Si se hace una prueba a determinada presión y se grafica  $\frac{\theta}{V/A}$  contra  $\frac{V}{A}$  se obtendrá una recta cuya pendiente es  $\frac{rV}{2P}$  y su ordenada al origen  $\frac{rV}{P}$  y así por medio de esta recta se puede valorar el cambio de cualquier variante - excepto la presión que hace variar a  $r$ . Para conocer esta variación se efectúan pruebas a distintas presiones obteniéndose rectas con distintas pendientes y diferentes ordenadas al origen.

Si se suponen que en dichas pruebas los valores obtenidos son  $C_1$  y  $C_2$  respectivamente, para cada prueba se obtiene:

$$C_1 = \frac{rV + rV}{2P} \quad C_2 = \frac{rV}{P}$$

de donde:

$$r = \frac{2P}{rV} C_1 = \frac{P}{rV} C_2$$

Ahora bien:

$$r = \rho S \quad \rho = \rho'_{pm}$$

Tomando logaritmos suponemos:

$$\log r = s \log P + \log \alpha$$

$$\log \rho = m \log P = \log \rho'$$

Las dos expresiones anteriores representan rectas cuyas pendientes son  $s$  y  $m$  y sus ordenadas al origen:  $\log \alpha$  y  $\log \rho'$ . Estas rectas se obtienen graficando  $\log r$  vs.  $\log P$ .

Las variables que influyen en la filtración tienen gran importancia ya que al controlarlas se controla el proceso. Estas variables son:

Presión

Coefficiente de compresibilidad.

Concentración de sólidos.



viscosidad.

Con respecto a la presión su incremento favorece el proceso cuando se trata de tortas poco compresibles, cuando no se tiende a uno y también el numerador de la ecuación (IIa) lo cual significa que para las tortas compresibles el flujo filtrado es independiente de la presión.

El coeficiente de compresibilidad y la presión, están íntimamente ligadas, dicho coeficiente puede ser modificado al agregar filtro ayudas, los cuales hacen más porosa la torta.

La importancia de la concentración de sólidos es notable porque controla la capacidad entre otras cosas.

La viscosidad es un factor decisivo en la capacidad la cual puede ser variada generalmente con la temperatura.

## LA EXPERIMENTACION COMO BASE DE DISEÑO.

Hasta la fecha no ha sido desarrollada una teoría general apropiada para el diseño de un filtro aplicable a una operación dada, por lo que se hace necesario el uso de pruebas de Laboratorio para obtener datos que puedan ser interpretados o extra polados en su caso cuando se trata de un filtro para operar en escala industrial.

Es lógico suponer la secuencia en la cual pueden ser efectuadas estas pruebas, adicionalmente pueden ser desarrolladas con el criterio adecuado en cuanto a los fundamentos básicos, y las variables que puedan afectar la operación de un filtro dado. De lo anterior se puede asegurar que cuando las pruebas son conscientemente efectuadas se pueden obtener suficientes datos informativos los cuales determinarán el tipo de filtro que deberá ser aplicado; asimismo podrán determinarse condiciones óptimas de operación.

De lo mencionado anteriormente se deduce que cualquier factor que pueda afectar la operación del filtro tendrá importancia y un ejemplo claro lo da la selección de un medio filtrante la cual será de fundamental importancia. La mayoría de los medios filtrantes existentes pueden ser eliminados de una manera sencilla haciendo tan sólo una serie de pruebas, no considerando otros factores que deberán ser estudiados de acuerdo con las condiciones particulares de operación y así la selección final podrá hacerse por medio de pruebas de Laboratorio para determinar la velocidad de filtración, así como también la duración de la propia tela.

En una operación de filtración deberá ser considerado para efectos de incremento de la velocidad de filtración o al menos para obtener la más alta eficiencia posible en operación, la evaluación de los siguientes factores:

1).- Vida de la tela para obtener una disminución de tiempos muertos de operación, por cambio de la misma.

- 2).- Velocidades de filtración.
- 3).- Eficiencia de lavado, en su caso para determinar pureza del producto.
- 4).- Contenido de humedad de la torta para reducción del costo de secado en caso necesario.
- 5).- Claridad del filtrado para evitar una segunda filtración para abri-llantado.

Debido a que la filtración al vacío ha sido considerada más bien como un arte que como una ciencia, un aprovechamiento sistemático del estudio de todos los factores que pueden afectar la operación de un filtro de vacío dará por resultado una mejor selección final del filtro para el servicio requerido.

Se puede asegurar que no existe sustituto de pruebas efectuadas en el laboratorio como base para el diseño de procesos donde se usen filtros de vacío.

Existen muchas variables que deberán ser investigadas al considerar un proceso de filtración y con frecuencia es extremadamente difícil identificar cuáles de estas son las más importantes siendo generalmente, posible hasta que se obtiene una idea general del proceso que se está estudiando.

Para la interpretación apropiada de los resultados de las pruebas efectuadas deberá determinarse en el problema que se está estudiando: cuando éste requiere filtración al vacío, filtración a presión, o cualquier otro tipo de filtración, la posibilidad de efectuar filtración continua o intermitente, la importancia en el proceso de los sólidos o el líquido y las necesidades generales del proceso antes y después de la operación de filtrado.

Los siguientes puntos deberán ser considerados básicamente en el desarrollo de las pruebas de Laboratorio.

- a).- Composición de la mezcla o relación de sólidos a líquido.
- b).- Cantidad de sólidos y líquido que deberá ser manejados.

- c).- Granulometría de los sólidos y sus características físicas.
  - d).- Temperatura de filtración.
  - e).- pH a la cual se va a efectuar la filtración.
  - f).- Producto que tiene valor en cuanto a sólidos o líquidos.
  - g).- Contenido de humedad requerida en la torta.
  - h).- Temperatura límite en el caso que se requiera secar los sólidos.
  - i).- Si se requiera lavar la torta deberá considerarse:
    - 1).- Cuanto lavado puede ser efectuado.
    - 2).- Líquido que puede ser usado para el lavado.
    - 3).- Volatilidad del líquido lavador.
    - 4).- Temperatura apropiada de lavado.
  - j).- Del filtrado deberá ser considerado:
    - 1).- Claridad requerida.
    - 2).- Uso que se le va a dar al filtrado.
    - 3).- Posibilidad de mezclar el líquido del lavado con el filtrado.
    - 4).- Densidad del filtrado.
  - k).- De los sólidos deberá considerarse:
    - 1).- Tipo de torta que puede formarse.
    - 2).- Si la torta se descarga continua y completa del medio filtrante.
    - 3).- Mecanismo de descarga para la torta que puede ser aplicada.
    - 4).- Tendencia de la torta a reventarse, vacío requerido y capacidad de la bomba de vacío.
- La selección del medio filtrante depende de:
- 1).- Claridad requerida en el filtrado.
  - 2).- pH y características físicas y químicas de la mezcla a filtrar.
  - 3).- Características de la mezcla a filtrar en cuanto a compresibi-

lidad de los sólidos.

- 4).- Temperatura de la mezcla.
- 5).- Granulometría y suspensión de los sólidos.
- 6).- Tendencia a la obstrucción del medio filtrante.
- 7).- Vida del medio filtrante.

Las siguientes características deberán ser determinadas en la mezcla:

- 1).- Gravedad específica de los sólidos.
- 2).- Gravedad específica del líquido.
- 3).- Efecto de la temperatura sobre la mezcla.
- 4).- Viscosidad del líquido.
- 5).- Tamaño y distribución de partículas.
- 6).- Densidad.

La siguiente consideración general puede ser útil para predecir en que categoría puede ser clasificado el problema que se presente de filtración:

La filtración a presión puede ser usada para mezclas que requieren presiones considerables arriba de la atmosférica para producir altas velocidades de filtración, mezclas que se trabajan a temperaturas suficientemente altas y las pérdidas debido a evaporación o bien en donde el lavado excesivo y prolongado de los sólidos sea necesario. Los filtros al vacío de precapa o filtros de arena se emplearán en mezclas que contengan pequeñas cantidades de sólidos. Se tienen mezclas que contengan sólidos de relativa facilidad filtrable y que adicionalmente puedan ser filtrados a baja temperatura o al menos por debajo del punto de evaporación del líquido presente o sea necesario lavar la torta, entonces podrán ser afectados los filtros continuos de tambor. Deberá de tomarse en consideración la posibilidad de usar ayudafiltro o el uso de coagulante con previo balance económico para confirmar su utilidad.

En realidad la base fundamental para la selección del tipo de filtro, es principalmente económica, considerándose en primer término el costo inicial-

y posteriormente el costo de operación y mantenimiento. Considerándose todo lo mencionado anteriormente existen un sinnúmero de mezclas que pueden ser filtradas ventajosamente en los filtros de vacío más comunes los cuales son:

Filtros al vacío, de tambor, de discos, de alimentación superior, de ba--  
teas y de precapa.

Una vez que por las pruebas preliminares ha sido determinado el tipo de filtro que puede ser utilizado en un problema de filtración dado, adquiere gran importancia la determinación del tipo del medio filtrante a utilizar. Desafortunadamente no existe ninguna clasificación completa que ayude a determinar el tipo de medio filtrante para cualquier serie de datos obtenidos en el estudio del problema de filtración presente.

Ha sido efectuada una considerable cantidad de trabajo para tratar de clasificar el medio filtrante, para permitir al investigador a predecir cuando menos dentro de qué categoría podría considerarse un problema dado. Con pequeñas excepciones, los filtros continuos de vacío operan con telas tejidas de los distintos materiales existentes, tanto metálicos como no metálicos.

El medio filtrante deberá ser seleccionado en la base de la particularidad de la capacidad de retención de sólidos conjuntamente con la característica de permitir el flujo de los líquidos. Deberá determinarse a su vez qué grado de bloqueamiento sufre el tejido debido a los sólidos así como también el ataque que pueda sufrir debido a las características químicas de la mezcla.

Otra característica importante a determinar es la facilidad que presenta la tela para desprendimiento de la torta.

Existen indudablemente una infinidad de materiales de los cuales pueden ser manufacturados los medios filtrantes lo que hace imposible presentarlos todos en una forma concisa pero se puede mencionar los siguientes como los más fáciles de usar debido a sus características físicas y químicas:

El algodón que es sin duda el material más comunmente usado debido prin-

principalmente a su bajo costo, desafortunadamente es atacado por los ácidos y las bases y adicionalmente es un material con facilidad para el desarrollo de hongos y bacterias, no obstante un balance económico podrá ser hecho para determinar -- su uso.

El uso de metales para la construcción de medios filtrantes, tales como -- acero inoxidable, nonel, níquel, aluminio, bronce, cobre, latón y otras aleaciones metálicas es también muy normal. Los materiales mencionados anteriormente -- son usados en condiciones específicas de corrosión y de altas temperaturas de -- operación.

Las telas hechas a partir de lana se aplican para materiales en los cua-- les se presentan soluciones ácidas principalmente ácido clorhídrico.

En la actualidad han adquirido gran importancia los materiales sintéticos por la gran gama de características que presentan y cada día se incrementa más -- su uso, los que en la actualidad son más importantes los siguientes: nylon por-- su resistencia a álcalis y ácidos débiles, vinilo con resistencia a ácidos y álcalis fuertes, orlon con resistencia a ácidos fuertes principalmente sulfúrico, -- saran con resistencia a la mayoría de los productos químicos.

Después de un examen de la mezcla y de la selección tentativa del medio -- filtrante, es conveniente investigar ciertos objetivos para estimar el tipo de -- filtro que podrá ser usado. Es importante conocer las características del tamaño de partículas para determinar su porosidad ya que encontrar partículas de tamaño uniforme es imposible generalmente en cualquier problema de filtración.

Es importante la investigación del asentamiento de las partículas ya que -- la misma puede dar una idea de cuál filtro puede ser aplicado a un problema da-- do.

La velocidad de asentamiento de una partícula en un fluido sigue la ley -- de "Stokes", la desviación a esta ley en este caso es de tal magnitud que dicha -- ley no puede ser aplicada completamente. Esta ley es notablemente afectada debi -- do a que los sólidos son más compactos con respecto al tiempo y debido a esto --

la velocidad de asentamiento en el punto final es notablemente afectada.

La desviación de la ley de "Stokes" es aplicable tan sólo a sólidos en -- asentamiento libre, lo que en la práctica real no se tiene, en este caso es un -- sistema donde las partículas están íntimamente en contacto unas con otras provocándose una velocidad de asentamiento lenta durante la compresión final así como también en la sedimentación.

Existen diversos métodos para la determinación de velocidades de asentamiento.

Una determinación simple y con la necesaria exactitud para el caso que -- nos ocupa consiste en colocar una probeta graduada con una muestra del problema -- bien mezclada y dejarla asentar determinado el tiempo y avance de los sólidos. Estos datos llevados a una gráfica darán una curva la cual podrá ser interpretada fácilmente.

Deberá considerarse que la velocidad de filtración aumenta frecuentemente con el incremento de la concentración de los sólidos por consiguiente es importante el estudio de la presedimentación.

Con pocas excepciones el incremento de los sólidos en la solución da por resultado un incremento en la capacidad de un filtro dado. A menos que sea necesario mantener una concentración definida será importante determinar la máximo -- concentración de los mismos con que puede operarse. Asimismo al experimentar -- con materiales para determinar su filtrabilidad deberá ser considerado que la -- mezcla deberá ser manejada por medio de bombas lo cual limita también la concentración de sólidos.

Para pocos materiales puede ser determinada la existencia de una concen -- tración crítica de sólidos en la que al excederse la velocidad de filtración de -- crece, es dudoso que este efecto se deba a las características de la mezcla y -- que probablemente la causa sea la inhabilidad del equipo para manejar una mezcla espesa.



La adición de compuestos químicos tales como filtroayudas pueden ser usados ampliamente para incrementar la velocidad de filtración, en la mayoría de -- los casos ajustes en el pH pueden causar el mismo efecto pero este es limitado -- por el proceso.

Deberá ser considerado que las bombas usadas para manejar los materiales -- siempre causen una degradación respecto a la conformación física de los sólidos, por lo cual deberá estudiarse el lugar más adecuado de la adición de dichos fil-- troayudas.

Los resultados de las pruebas de sedimentación deberán ser valorados con-- siderando la posible estratificación y, o, clasificación de los sólidos.

La velocidad de filtración significa un valor que es usualmente expresado en volumen por unidad de área, por unidad de tiempo; en unidades de peso por uni-- dad de área, por unidad de tiempo.

Se ha definido el ciclo como el tiempo requerido para una revolución com-- pleta del disco o del tambor de un filtro de vacío en este tiempo se considera -- tiempo de formación y tiempo de secado. Una de las determinaciones más importan-- tes es la relación de velocidad de filtración contra el ciclo en la investiga -- ción de las características de filtración de los materiales, la gráfica I ilus -- tra el efecto del tiempo del ciclo contra la velocidad de filtración de materia-- les con diferentes concentraciones de sólidos y a igual temperatura. De las cur-- vas se deduce a medida que el tiempo del ciclo decrece las velocidades de filtra-- ción aumentan. Los resultados de estas pruebas pueden ser valuados visualmente-- por la determinación del espesor mínimo de la torta a la cual esta puede ser -- ser desprendida del medio filtrante.

Al efectuar las pruebas de laboratorio se deberá tener cuidado para simu-- lar lo más apropiadamente posible la operación de un filtro contínuo. La primera porción del ciclo corresponde a la formación de la torta, equivalente a la sumer-- gencia del tambor o disco en el tanque, la segunda porción corresponde al lavado en el caso de requerirse y secado de la torta y la tercera porción corresponde --

a la descarga de la misma.

El método para calcular la velocidad de filtración es bastante simple. Cuando el producto valioso son los sólidos la torta una vez obtenida se pasa en estado húmedo y en estado seco y la siguiente fórmula dará el resultado de la -- velocidad de filtración:

$$\frac{\text{Peso torta seca} \times \text{No. de ciclos/tiempo}}{\text{Area de la hoja de pruebas}} = \text{Velocidad de filtración}$$

Lo mismo se aplica cuando el producto valioso es el líquido sustituyendo el peso de la torta seca por el volumen de filtrado obtenido.

Se usa generalmente un factor para compensar la filtración en los lados -- de la hoja de pruebas en donde realmente se produce una mayor capacidad. Este -- factor puede variar usualmente entre .6 aproximadamente para tortas muy gruesas -- o para pequeños áreas de filtrado en las pruebas, a .8 ó .9 para tortas delgadas -- o grandes áreas de filtración. La determinación de este factor es realmente -- experimental, aunque se pueden enumerar otras razones como las de tener márgenes -- de seguridad para la operación industrial de un proceso, o debido a que la des -- carga de la torta no es perfecta, igualmente que haya bloqueo parcial del medio -- filtrante o cualquier variación que pueda presentarse de las características de -- la mezcla alimentada al filtro.

Otro efecto que es también importante conocer es la variación de la velo -- cidad de filtración con la temperatura y el principal efecto del incremento de -- la temperatura en la generalidad de los compuestos es la disminución de la vis -- cosidad dando este por resultado un aumento en la capacidad de filtración. En -- este caso deberá ser considerado las características físicas del medio filtrante -- con respecto a la variación de la temperatura ya que este factor podría crear -- un límite en el uso ya sea en el tipo del material o de la temperatura de opera -- ción.

Otro efecto a considerar es el bloqueo del medio filtrante causado gene --

ralmente por el taponamiento de los intersticios del tejido de la tela, debido a las partículas finas, otra causa podría ser la impropia selección del medio filtrante, precipitados lamosos o cristalización en el caso de soluciones saturadas.

La determinación del aire requerido es de gran importancia ya que en la filtración al vacío el consumo más alto de corriente eléctrica corresponde al motor de la bomba. Debido a que la torta tiende a agrietarse en algunos casos una cantidad de aire considerable pasa a través de ellas por lo que el consumo de vacío aumenta.

La cantidad de aire puede ser medido convenientemente en el mismo equipo de laboratorio conectando un medidor de aire entre la bomba de vacío y el recipiente receptor de filtrado.

El lavado de la torta es importante cuando se requiere recuperar un alto porcentaje del producto que tiene valor por desplazamiento, actúa el líquido lavador pudiéndose también por este medio reducir impurezas en la torta,

Un balance económico final definirá si el uso del lavado es apropiado principalmente cuando se trata de productos que deberán ser concentrados posteriormente.

## EQUIPO USADO EN EXPERIMENTACION

Posiblemente el equipo más simple para el desarrollo de la experimentación sea el ilustrado en la figura 1, considerándose la hoja para soporte del medio filtrante, como el componente más importante, esta puede ser construída en forma circular o cuadrada y es diseñada para simular el drenado superficial en un filtro de vacío normal. Esta hoja tiene un área conocida generalmente de  $1/10$  de pie cuadrado, se fija en el medio filtrante por medio de una abrazadera y se conecta a un matraz de filtración de tamaño apropiado, donde se recibe el filtrado. A dicho matraz se le conecta vacío teniendo cuidado de conectar un vacuometro en un punto intermedio para conocer el vacío a que se trabaja. A este equipo se le pueden hacer varias modificaciones, como por ejemplo la adición de otro matraz para el caso necesario de separar la solución de filtrado en dos porciones correspondientes a una con mayor cantidad de sólidos en suspensión que la otra, la instalación de una válvula intermedia entre los dos matraces hace posible dicha separación. Este equipo es completado por una bomba de vacío, un agitador mecánico y un vaso grande que puede contener la muestra a probar, debe ser de suficiente capacidad para que la hoja de pruebas pueda ser introducida.

La experiencia ha demostrado que con este equipo se pueden simular las condiciones de operación de un filtro de vacío de cualquier tipo, con la suficiente exactitud para efectos de diseño. Este equipo puede también simular las condiciones de operación de un filtro de precapa, al adicionar a la hoja de pruebas un arillo para fijar el medio filtrante o soporte y con una caja de amplitud necesaria para soportar una precapa de una o dos pulgadas de espesor.

## EL FILTRO CONTINUO DE PRECAPA

De hecho la filtración ha sido aceptada desde hace muchos años como una operación unitaria y básicamente en el presente debido a necesidades de elevadas capacidades de filtración con bajos costos de operación el uso de la filtración-continua al vacío ha sido aceptada por reunir un sinnúmero de características -- que la hace aplicable en numerosos procesos. Los filtros de vacío cuya única diferencia de los filtros de presión es el uso del vacío para crear la diferencia de presiones; ofrecen por este sistema un medio simple y de bajo costo de separación de compuestos con fases sólidos-líquidos, con características contínuas.

En cualquier proceso es de consideración el incremento de capacidad, bajo costo de mantenimiento y operación y recuperación de producto valioso. El uso -- de filtros de vacío permiten operaciones contínuas en bases automáticas o semi-automáticas, eliminándose consiguientemente el alto costo normal de operación en procesos intermitentes. Con la constante investigación de nuevos productos, nuevos procesos de investigación y la demanda del incremento de producción en las plantas existentes, la filtración continua al vacío adquiere gran importancia.

Indudablemente el caso que se ocupa este trabajo es la aplicación ideal -- para este tipo de equipo ya que llena las características mencionadas anteriormente: se desea principalmente el máximo aprovechamiento de la materia prima, lo que en condiciones actuales de operación no es posible, ya que en las decantaciones iniciales que se efectúan hay una pérdida considerable de producto aprovechable, estas decantaciones son efectuadas para eliminar los sólidos más pesados y voluminosos de la mezcla. Secundariamente deberá considerarse la mayor capacidad requerida ya que las plantas destiladoras trabajan a su máxima capacidad solamente una tercera parte del año presentándose problemas de almacenamiento de material de desecho.

Dado lo mencionado anteriormente, es importante considerar una información más amplia de lo que es un filtro de precapa contínuo. La fig. 2, ilustra --

el arreglo general y funcionamiento de un filtro de este tipo. Mecánicamente -- es un filtro de tambor estandar que opera al vacío, con el principio de la formación de una precapa sobre el tambor, dicha precapa es formada de cualquier -- Filtroayuda, generalmente tierra diatomacia, con este material es posible formar una precapa hasta de seis pulgadas de espesor en toda la circunferencia del tambor pero generalmente en la práctica sólo se usan de tres a cuatro pulgadas. Este filtro dispone de una cuchilla colocada a toda la longitud del tambor del -- filtro, la que se encarga de eliminar los sólidos que se fijan a la superficie -- de la precapa; como es imposible eliminar tan sólo los sólidos que se desean filtrar, es necesario eliminar también algo de los sólidos que forman la precapa -- por varias razones, la principal sería que algunos de los sólidos, probablemente los más finos, ocluirían los poros de la precapa, provocando una disminución --- en la velocidad de filtración, las otras razones serían principalmente de tipo -- mecánico. La cuchilla es fijada a un sistema mecánico y automático de avance contra la superficie de la precapa, ocasionando la disminución de la misma en un -- tiempo dado. La carrera de avance es diseñada para ser variada entre los rangos -- de seis diezmilésimas de pulgada a seis milésimas de pulgada por minuto, esto -- da la posibilidad de eliminar el espesor requerido a cualquier revolución del -- tambor de filtro.

Uno de los factores que fijan la velocidad de filtración en estos equipos es desde luego los materiales que forman la precapa. Las características de filtrabilidad de los mismos es debido a su naturaleza microporosa, por lo que los hace el medio filtrante ideal para ser aprovechados en el filtro de precapa.

En el mercado se encuentran numerosos tipos de estos filtroayudas, pero -- quizá el más ampliamente usado sea el conocido como tierra diatomacia, que como se sabe no es más que el conjunto de restos fosilizados de plantas microscópicas unicelulares o colonias de algas. Este producto se encuentra en depósitos geológicos y una vez sometido a tratamiento de -- inamiento se conoce comercialmente -- como Diatomita.

Un análisis tipo de este producto es:

SiO <sub>2</sub> -----	92.3 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -----	1.1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -----	2.0
CaO -----	0.9
MgO -----	0.4
-----	3.4 Pérdida por calcinación.

Existen varios grados de Diatomita; el uso de un tipo dado depende del -- grado de claridad y pureza del filtrado deseado, velocidad de flujo, vacío de -- operación y tamaño o consistencia de partículas que se desean eliminar. La ven -- taja del uso de este producto, es que químicamente es inerte, siendo la acción -- filtrante exclusivamente mecánica, no provocándose por consiguiente ninguna va -- riación en las características del filtrado.

#### COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA QUE SE DESEA FILTRAR:

La mezcla por filtrar presenta un aspecto semiviscoso, de color pardo -- oscuro conteniendo material musilagoso, semillas, trozos de cáscaras, inclusi -- ve se encuentra material arenoso, posiblemente recolectado en las piletas de al -- macenamiento y sedimentación. El contenido de ácido cítrico recuperable es del -- rango del 5 % del peso total de la mezcla. Análisis completos de los componen -- tes del limón han sido efectuados por varios autores, con resultados más o me -- nos semejantes; a continuación se da uno de ellos:

Acido cítrico -----	5.77 %
Supercitrato de potasio -----	0.96 %
Supercitrato de calcio -----	0.88 %
Hierro -----	0.11 %

Glucosa -----	2.45 %
Gomas, musilagos, etc. -----	0.68 %
Silice, fosfatos y sales diversa; -----	0.06 %
Agua -----	89.09 %

Se efectuaron determinaciones para conocer la cantidad de sólidos en suspensión que deberían ser retenidos por filtración; estos variaron de seis a ocho por ciento en peso de los componentes de la mezcla, lográndose reducir este valor de tres a cuatro y medio por ciento por el uso de una malla abierta, en el caso del primer proveedor llamado "A". En el caso del segundo proveedor llamado "B" se dispusieron de muestras con más bajo contenido de sólidos en suspensión, debido principalmente al problema de muestreo por el tipo de instalaciones que se disponían en ese lugar; lo anterior se ilustra en la tabla general de resultados.

Estas características de composición de la mezcla comprueba una vez más la aplicación apropiada para un filtro de precapa.



## RECOPILACION DE DATOS EXPERIMENTALES

La tabla No. 1 presenta todos los datos y resultados comprendidos de las pruebas llevadas a cabo. Se dispusieron de dos proveedores de materia prima de los cuales se obtuvieron diversas muestras con diferentes características, algunas presentaron distintas propiedades principalmente las referentes a concentración de sólidos en suspensión, así como también la viscosidad. De la tabla mencionada se deduce que las primeras pruebas fueron tentativas para investigar el tipo de filtro que podía utilizarse, se usaron a la vez distintos tipos de medios filtrantes de mallas diferentes determinándose de que los medios de mallas muy abiertas la calidad del filtrado con respecto a ausencia de sólidos en suspensión era muy pobre y en medios de malla cerrada la velocidad de filtración eran de rangos muy bajos al grado de no poderse tomar en consideración. La adición de filtroayudas no dió resultado notable alguno igualmente que el lavado entre ciclos del medio filtrante. De lo anterior y de un análisis a simple vista del tipo de mezcla que se disponía se concluyó que para la solución de este problema la aplicación de un filtro continuo al vacío tipo precapa sería lo ideal.

Esto dió por resultado que la experimentación se basara en el uso de un filtro del tipo mencionado. Sobre esa base se procedió a hacer las pruebas considerando muestras de material que pódian ser representativas de los proveedores. Se determinó las variaciones en cuanto a velocidad de filtración en el estado original de las muestras o bien con cambios como una pretamisada o adiciones de distintos filtroayudas y floculantes. Entre los floculantes se uso como tal el sulfato de calcio que se obtiene como subproducto en la misma planta tal como se ve en el proceso al reaccionar la suspensión de citrato de calcio con ácido sulfúrico, aunque la cantidad que se obtiene de este material que no es suficiente para satisfacer la demanda del proceso. Los resultados fueron contradictorios en algunos casos de adición de yeso pues en algunos resultados se notaron fuertes incrementos en la velocidad de filtración y en otros no mostraron ningun-

na variación del contenido de los sólidos en la muestra, aún en el caso de que fueron del mismo proveedor. Se investigó que no existía ningún resultado o bien no eran de consideración cuando la relación de sólidos de yeso a sólidos de la muestra no era lo suficientemente alto; fue demostrado con las pruebas en las cuales dicha relación se varió y lo cual se ilustra en la siguiente tabla y en la gráfica No. 2.

% de sólidos	Pruebas números	contenido de sólidos	Velocidad de filtración	Velocidad de filtración con adición de yeso
			lts/hr/ft <sup>2</sup>	lts/hr/ft <sup>2</sup>
8.0	4-5	muy alto	19	25.5
6.5	9-12	alto	27	31.5
6.0	15-17	medio	37.5	102.0
4.0	24-26	bajo	30.5	50.0

La presencia de material sólido y grande tales como cáscaras y semillas obviamente creará un problema de acumulación debido a la sedimentación en el tanque, por lo que se preparó una muestra en la cual este material fue eliminado por un taniz de aproximadamente 28 mallas. Los resultados en cuanto a velocidad de filtración obtenida con la muestra así tratada fueron notablemente superiores, se repitieron las pruebas con dos muestras más dándose los resultados en la siguiente tabla:

Pruebas Números	Contenido total de sólidos.	% de sólidos eliminados.	Velocidad de filtración en muestra sin - tamizar.	Velocidad de filtración en muestra tamizada.
24 - 28	Bajo	11.5	LTS/Hrxft <sup>2</sup> 30.5	LTS/Hrx ft <sup>2</sup> 113.0
15 - 18	Medio	50.0	37.5	52.5
4 - 20	Alto	62.5	19.0	37.5

El efecto de la temperatura en la velocidad de filtración no fué muy notable, aunque en términos generales aquella aumentó sensiblemente con el incremento de esta; aunque no es un factor que pueda considerarse para diseño, sin embargo - debido al efecto que puede haber de precipitación de algunos sólidos cuando la mezcla esté fría se recomienda mantener la temperatura usada durante el proceso posterior al filtrado.

El uso de floculantes ayuda notablemente en un gran número de casos, sin embargo se probaron entre otros los del tipo de polímeros de acrilamida (separán) de los cuales sólo uno dió resultados ligeramente satisfactorios pero no lo suficiente como para una justificación económica el usarlo; se probó también incrementar la velocidad de filtración por la adición de filtroayuda encontrándose negativo todo intento de mejorar las características por este medio.

Teóricamente cuando la resistencia al flujo del medio filtrante es pequeño o desdenable, el graficar el papel loglog la velocidad de filtración contra el ciclo se obtiene una línea recta con una inclinación de -0.5 indicando la relación.

$$\frac{V}{A} = K (\theta)^{1/2} \quad \text{o sea} \quad \frac{V}{A \theta} = K (\theta)^{-1/2}$$

En donde  $\theta$  es el tiempo de filtrado y  $\frac{V}{A}$  es el volúmen acumulado por área unitaria.

Cuando la inclinación de la recta es menor de -0.5 se determina teórica

mente la resistencia del medio filtrante es un factor importante en la velocidad de filtración.

La gráfica No. 3 se construyó para conocer este efecto encontrándose que la inclinación es menos 0.6 considerándose que la velocidad de filtración es casi -- inafectada por el espesor de la precapa esto es confirmada en las pruebas números 28 y 29. Donde el espesor de la precapa se varió de una pulgada a media pulgada -- incrementándose la velocidad de filtración menos de un 10% , se notará que la velocidad de filtración aumentó de 1217 lts./hora metro cuadrado a 1337 lts./hora metro cuadrado. Este efecto seña más bajo con muestras cuyas velocidades de filtración sean bajas similarmente los espesores de la precapa tendrán un efecto proporcional.

Como se notará en la gráfica No. 3 las inclinaciones en las rectas generalmente son mayores que -0.5, lo cual indica una torta no ideal que decrece en permeabilidad al aumentar de espesor. Esto es una de las razones por la cual se dificulta el uso de filtros prensa y es razón para explicarse porque es imposible hacer una torta gruesa. Es importante notar que aún agregando yeso el efecto existe por consiguiente debe concluirse que una torta gruesa no podría ser obtenida aún usando mucho más de la cantidad de yeso que se tiene en la planta.

Analizando los datos contenidos en la tabla No. 1 es difícil determinar un valor de diseño, debido a la variabilidad composición de la mezcla. Sin embargo -- aparentemente en la mayoría de los casos las muestras después de tamizadas presentan mejores características de filtración, adicionándose a esto la necesidad de -- eliminar los sólidos grandes tales como cáscaras y semillas, da como base que se tome para diseño las muestras tamizadas. Considerando también que el yeso que se obtiene en la planta como subproducto ayuda a incrementar dichas características y que corresponden a un 5% en volúmen la cantidad que puede ser usada.

Tomando en cuenta lo anterior se puede seleccionar de la tabla una velocidad de filtración de 587 lts./hora/metro cuadrado y observando que el promedio

de tres pruebas de diferentes muestras es de 815 lts./hora/metro cuadrado y tomando un factor de diseño de 25% tenemos una velocidad de filtración de 652 lts/hora/m<sup>2</sup> cuadrado, sin embargo debido a que algunos resultados son más bajos que este se podrá considerar que tomando un promedio de 541 lts./hora/pie cuadrado - será un valor de diseño el cual abarcará cualquiera de las variaciones que puede haber en la mezcla.

## ESTUDIO ECONOMICO.

Es sabido que el costo de operación de un filtro prensa es notablemente menor cuando se trata de filtrar volúmenes pequeños como sería este caso, ya que las cantidades de residuos que podrían obtenerse de las plantas destiladoras en las zonas limoneras del país no sobrepasa por mucho la cantidad de 50,000 lts. - por día ( ocho horas de operación de las plantas destiladoras). Sin embargo debido a que en este caso se puede filtrar la cantidad total de Residuos en un filtro continuo, es posible justificar su uso, aunque el costo de operación pueda ser mayor. Lo anterior se demuestra con los siguientes cálculos y suponiendo un caso similar al expuesto anteriormente según:

Se requieren filtrar 50,000 lts. de residuos obtenidos durante ocho horas en las plantas destiladoras existentes en una zona limonera del país.

El 30% de estos residuos no pueden ser filtrados en filtros prensa debido a que es necesario efectuar dos o tres decantaciones para obtener una mezcla trable.

La velocidad de filtración de estos residuos en filtro prensa es de 117 - lts./Hr. xmt<sup>2</sup> según se investigó.

Se supone el costo de mano de obra por operario de 35.00 \$/día y de la corriente eléctrica de 0.30 \$/whr.

El precio del filtro ayuda requerido es de 1.70 \$/Kg.

Costo de operación de los filtros prensa:

$$\frac{50,000 \times 0.6}{8 \times 117} = 32 \text{ mt}^2 \text{ de area requerida.}$$

Por facilidad de operación podrían considerarse cuatro filtros de ocho - mt<sup>2</sup> cada uno, los cuales tendrán un costo aproximado de ciento sesenta mil pesos siendo de acero inoxidable 304 e instalados incluyendo accesorios.

Si suponemos diez años para depreciar el equipo obtenemos:

$$\frac{160,000.00}{35,000/1.2 \times 30 \times 120 \times 0.8} = \underline{2.00 \text{ S/ton. de filtrado.}}$$

4 operarios 140.00

4 bombas 2Hp cada una, tendrán un costo por consumo de corriente

$$3 \times 0.746 \times 8 \times 0.30 = 14.30$$

Estimando mantenimiento. 10.00 S/día.

$$\frac{140.00 + 14.30 + 10.00}{35,000/1.2 \times 1/100 \times 0.8} = \underline{7.25 \text{ S/ton. de filtrado.}}$$

costo total ..... 9.25 S/ton. de filtrado.

Costo de operación del filtro de vacío.

Velocidad de filtración en este filtro: 541 lts./Hr. x mt<sup>2</sup>

$$\frac{50,000}{8 \times 541} = 11.5 \text{ mt}^2 \text{ area requerida.}$$

El costo aproximado de este filtro construido en acero inoxidable incluido y con accesorios sería 600,000.00 pesos. Si consideramos el mismo lapso para depreciación:

$$\frac{600,000.00}{50,000/1.2 \times 30 \times 120 \times 0.8} = \underline{5.00 \text{ S/ton. de filtrado.}}$$

Un operario 35.00

Bombas de vacío y filtrado 16 Hp.

$$16 \times 0.746 \times 8 \times 0.30 = 28.90$$

Estimando mantenimiento 20.00

$$\frac{35.00 + 28.90 + 20.00}{50,000/1.2 \times 1/1000 \times 0.8} = \underline{2.60 \text{ S/ton. de filtrado.}}$$

Consumo de filtroayuda considerando:

Avance de la cuchilla 0.0762 mm. por cada revolución del tambor velocidad del

tambor: 2 minutos por revolución.

Filtroayuda requerido por unidad de area: 5.05 Kg./mt<sup>2</sup> x cm. de espesor costo de

filtroayuda : 1.70 \$/Kg.

$$8 \times 60/2 \times 0.0762 \times 5.05 \times 11.5 \times 1/10 \times 1.70 = 180.00 \text{ \$/día.}$$

$$\frac{180.00}{50,00/1.2 \times 1/1000 \times 0.8} = \underline{5.40 \text{ \$/ton. de filtrado.}}$$

$$\text{Costo total} \dots \dots \dots = \underline{13.00 \text{ \$/ton. de filtrado.}}$$

El siguiente cuadro ilustra la conveniencia de instalar el filtro de precapa --  
continuo de vacío.

	FILTRO PRENSA.	FILTRO DE VACIO.
Toneladas de filtrado obtenido por temporada.	10,500	12,000
Costo del filtrado obtenido por temporada: pesos.	97,125	156,000
Toneladas de ácido cítrico en el filtrado obtenido.	545	660
Valor del ácido cítrico obtenido: pesos.	4,905,000	5,940,000

El contenido de ácido cítrico en los residuos es de aproximadamente 5% y su --  
precio al mercado de 9,000.00 \$/ Tonelada.



## CONCLUSIONES.

Se puede derivar del análisis general del presente trabajo que un filtro continuo al vacío del tipo de precapa puede filtrar eficientemente los residuos obtenidos en las plantas destiladoras del jugo de limón tal como se obtienen en las mismas, es decir sin decantación previa, si lo necesario solamente remover las partículas grandes las cuales se acumularían en el tanque del filtro.

Se ha determinado que se logra obtener una mejor claridad y los sólidos - pueden ser descargados en forma de torta con un contenido general bastante bajo.

Se puede esperar una velocidad promedio de filtración de 20 a 35 litros/hora/pie cuadrado de acuerdo con las características del material principalmente debido al contenido de sólidos.

Con la adición de yeso que es un subproducto del proceso se ha determinado que se puede lograr hasta un 150% de incremento.

Sin embargo se logrará mejores resultados cuando es mayor la cantidad de sólidos residuales en la mezcla.

Se nota claramente que la velocidad de filtración puede incrementarse hasta 435 ó 535 lts./hora/mt. cuadrado cuando la mezcla es pretamizada determina en una malla abierta sólo para remover las partículas de mayor tamaño tales como cáscaras y semillas.

La adición de yeso efectuada en la mezcla pretamizada determina un incremento mayor en la velocidad de filtración la cual varía de 613 a 1337 lts./hora/mt<sup>2</sup>. cuadrado.

De lo anterior se puede deducir que la filtración de la mezcla en un filtro de precapa continuo al vacío es lo más adecuado y que una velocidad de filtración apropiada de diseño considerando todas las variaciones posibles, de 50 lts./hora/pie cuadrado puede ser bastante conservadora considerando inclusive - el factor de seguridad para operar eficientemente en cualquier condición.

La recuperación total del ácido cítrico en el proceso aumenta al apli-

car este equipo de filtración de un 50% que actualmente se obtiene hasta un 85 o 90% lo cual determina indudablemente una operación más eficiente desde el punto de vista económico para la planta.

Las necesidades de vacío para el buen funcionamiento del filtro fueron determinadas con un medidor de flujo, indicando un resultado de 1.2 mts. cúbicos - por minuto por cada metro cuadrado de área de filtración requerida; a un nivel de vacío de 460 mm. de Hg. Esto quiere decir que 4 veces el área requerida será el volumen de aire que la bomba de vacío tendrá que manejar.

Se efectuó un estudio económico tomando como base las necesidades que podrían existir en alguna de las zonas limoneras del país, encontrándose que aunque el costo de operación es 2.75 \$/tonelada de filtrado obtenido, menor cuando se usa filtro prensa; el análisis final señala un saldo favorable ya que sería posible recuperar la inversión efectuada en el caso considerado, en solo cuatro meses debido a que es posible filtrar casi completamente los residuos, involucrándose mayor recuperación de ácido cítrico el cual tiene un valor apreciable en el mercado.

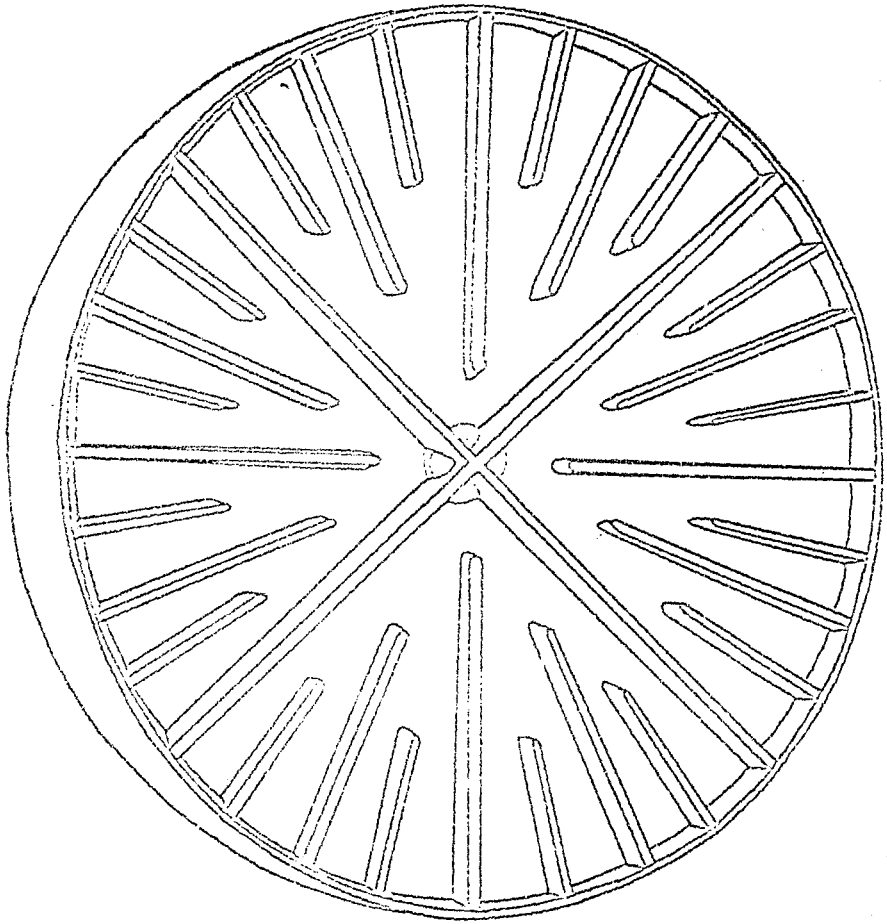
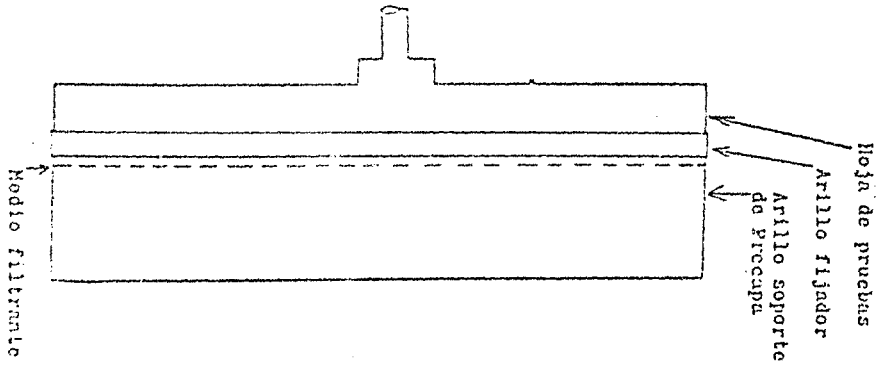


FIGURA 1



— FIG. 2

- (1) y (2) posición inicial  
y final de la cuchilla
- (3) raspado de la torta
- (4) precapa del filtro
- (5) medio filtrante

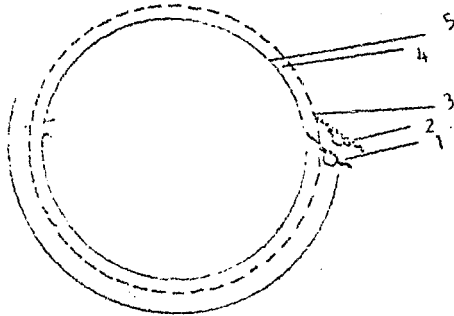
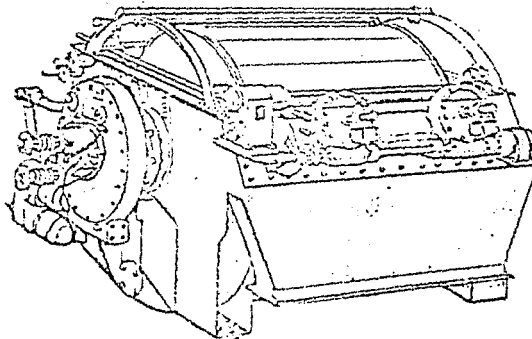


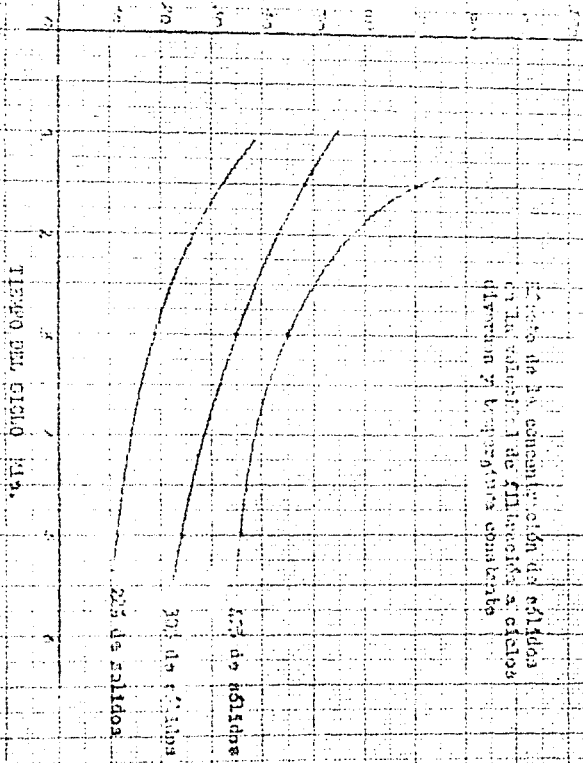
DIAGRAMA DE OPERACION DE UN FILTRO DE PRECAPA



VISTA GENERAL DE UN FILTRO DE PRECAPA

VELOCIDAD DE FILTRACION

Los sólidos  $\text{mgos/lit} \times \text{lit}^2$



GRAFICA I

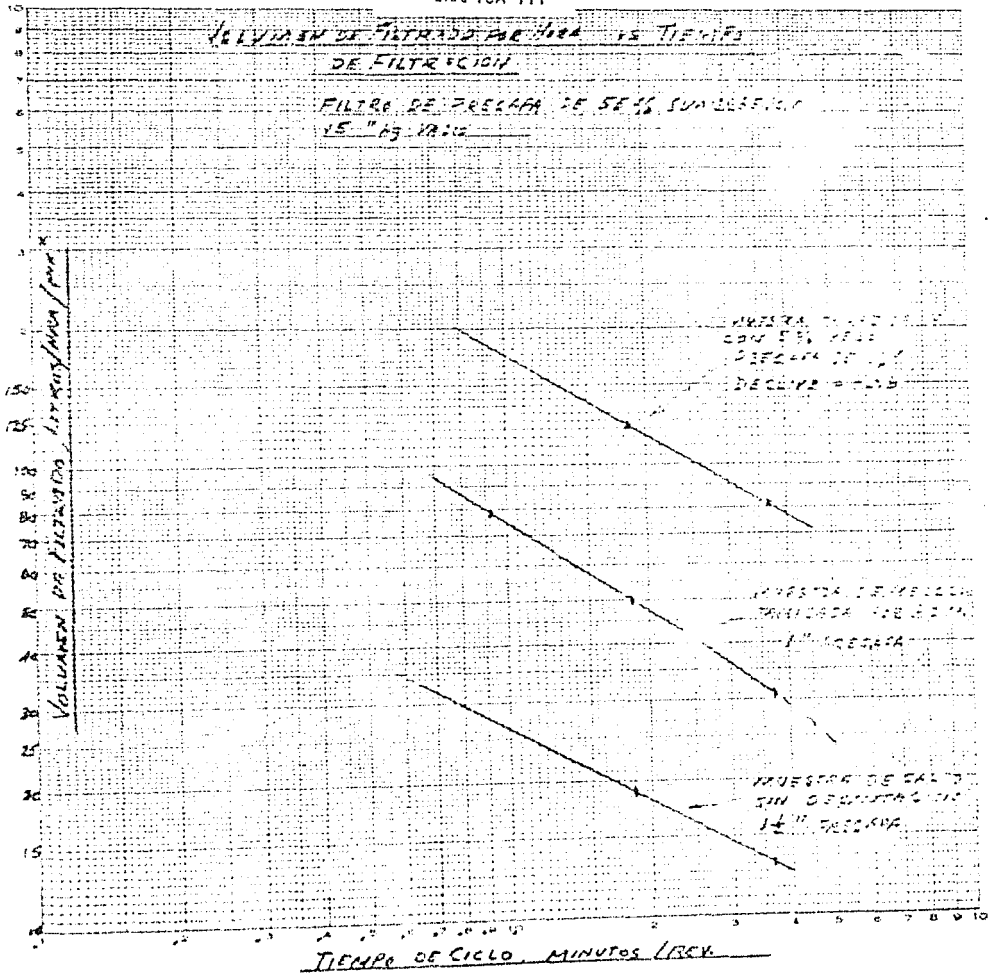
Gráfico de la concentración de sólidos en la velocidad de filtración a ciclo de tiempo y concentración constante



GRAFICA III

VOLUMEN DE FILTRADO POR HORA VS TIEMPO DE FILTRACION

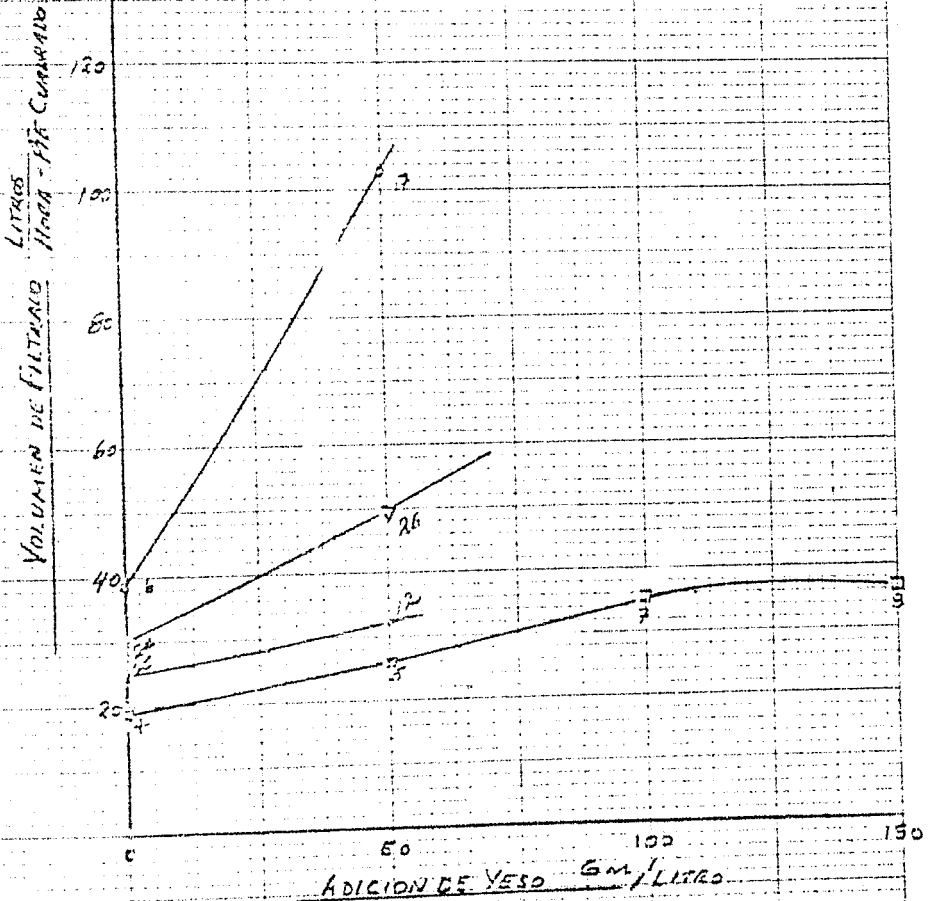
FILTRO DE PRECALFA DE 50% SUD 255.100 VS 1/2" PRECALFA



GRAFICA II

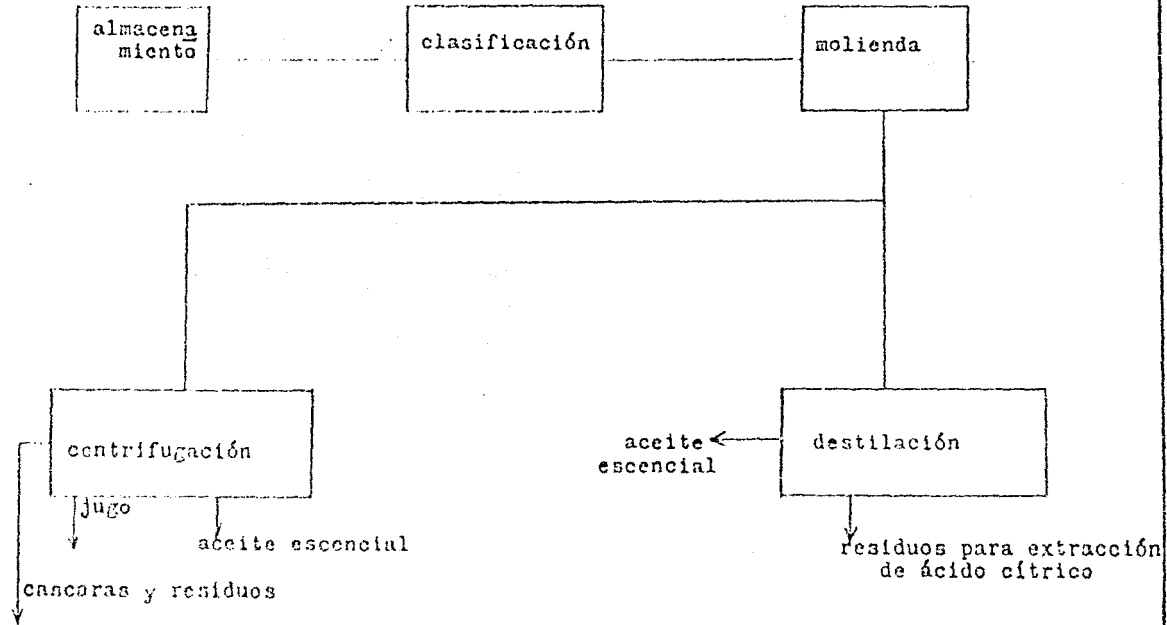
EFFECTO DE LA ADICION DE YESO EN EL  
VOLUMEN FILTRADO POR HORA

FILTRO DE PRECIPITA :  $1 - 1\frac{1}{4}''$  DE ESPESOR  
 CICLO : 11.8 M/R  
 VACIO : 15 IN. Hg

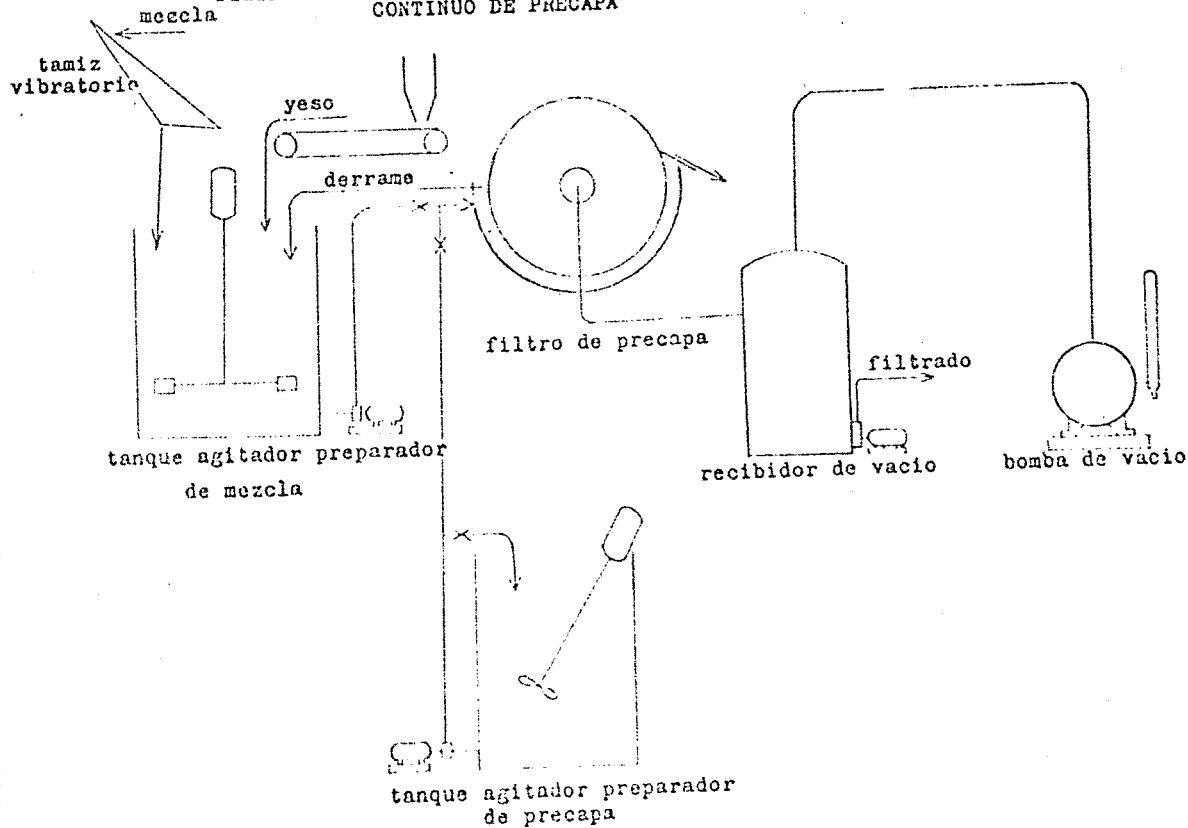




PROCESO DEL BENEFICIO DEL JUGO DE LIMON EN LAS PLANTAS  
DESTILADORAS



FILTRACION DE RESIDUOS DE LA DESTILACION DEL LIMON EN FILTRO CONTINUO DE PRECAPA



## B I B L I O G R A P H I A.

Braverman Josph. CITRUCS PRODUCTS, Interscience Publishers N.Y., 1949.

Gunter Ernest. THE ESSENTIAL OILS, D. Van Nostrand Company Inc., 1865.

John H. Perry. CHEMICAL ENGINEERS HAND BOOK, Mc Graw Hill., 1950.

Mc. Cabe and Smith. UNIT OPERATIONS OF CHEMICAL ENGINEERING, Mc Graw Hill  
Company 1961.

Hill, N Richard and Kaiser M Marvin.: PRACTICAL EVALUATION OF PILOT  
PLANT FILTRATION DATA, The Eimco Corporation, 3-9, 1957.